

SAFEZONEX : ALAT PELACAK UNTUK ANAK BERKEBUTUHAN KHUSUS BERBASIS GEOFENCING DENGAN INTEGRASI INTERNET OF THINGS

**Muhammad Iqbal¹⁾, Muhammad F. Ardianto¹⁾, Hasbi N. Prasetyo Wisudawan¹⁾,
Alvin Sahroni¹⁾**

1) Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

E-mail: hasbi.wisudawan@uii.ac.id

Abstrak

Anak-anak dengan Autism Spectrum Disorder (ASD) memiliki risiko tinggi untuk tersesat atau berpindah tanpa pengawasan karena keterbatasan dalam komunikasi, interaksi sosial, serta pemahaman terhadap keselamatan. Hal ini menimbulkan kekhawatiran besar bagi orang tua, terutama ketika anak berada di luar jangkauan langsung. Dalam penelitian ini dikembangkan perangkat pelacak bernama SafeZoneX, sebuah solusi berbasis teknologi Internet of Things (IoT) dan Global Positioning System (GPS) yang ditujukan khusus untuk anak dengan autisme. Perangkat ini dilengkapi dengan fitur pelacakan lokasi secara real-time, geofencing, dan tombol darurat (emergency button). Penelitian dilakukan melalui studi literatur, survei pengguna, perancangan sistem, serta pengujian performa. SafeZoneX tersedia dalam tiga varian (Pro, Standard, dan Lite), dan hasil evaluasi menunjukkan bahwa varian Standard merupakan pilihan paling seimbang dalam hal fitur, kenyamanan, dan harga. Evaluasi sistem mencakup akurasi pelacakan GPS, keandalan geofencing, daya tahan baterai, serta tingkat kenyamanan pengguna. Hasil akhir menunjukkan bahwa SafeZoneX berpotensi menjadi solusi efektif dan terjangkau dalam meningkatkan keselamatan anak autis dalam aktivitas sehari-hari.

Kata Kunci: Autis, GPS, Internet of Things, Geofencing.

Pendahuluan

Kehilangan anak-anak, terutama mereka yang memiliki kebutuhan khusus seperti autisme, merupakan salah satu masalah yang sangat mengkhawatirkan bagi orang tua dan masyarakat. Anak-anak dengan Autism Spectrum Disorder (ASD) menghadapi tantangan signifikan dalam berkomunikasi, berinteraksi sosial, dan memahami konsep keselamatan, sehingga membuat mereka lebih rentan terhadap situasi berbahaya, seperti tersesat atau terpisah dari pengasuh. Tantangan ini diperparah oleh keterbatasan dalam memahami dan menggunakan bahasa secara kontekstual, termasuk pola komunikasi yang repetitif seperti echolalia, serta kesulitan dalam pengolahan semantik dan pragmatik. Akibatnya, anak-anak autisme sering menghadapi hambatan dalam menjaga keselamatan diri di lingkungan sosial [1].

Gangguan *neurodevelopmental* yang dialami oleh anak-anak dengan autisme juga mempengaruhi perkembangan kognitif, sosial, dan akademik mereka. Penelitian menunjukkan bahwa sekitar 75% anak dengan ASD mengalami keterbatasan bahasa saat memasuki usia sekolah, sementara hanya 25% yang memiliki kemampuan bahasa normal atau di atas rata-rata. Tantangan ini menuntut perhatian khusus, tidak hanya dari keluarga tetapi juga dari masyarakat dan dunia pendidikan, untuk memastikan anak-anak autisme dapat hidup dengan aman dan nyaman di lingkungan mereka [2, 3].

Kemajuan teknologi, khususnya di bidang *Internet of Things* (IoT), perangkat *wearable*, dan pelacakan GPS, memberikan peluang besar untuk menciptakan solusi yang efektif dalam memantau dan melindungi anak-anak autis. Sistem *monitoring* berbasis teknologi ini memungkinkan pemantauan lokasi secara *real-time*, dilengkapi dengan fitur *geofencing* untuk memberikan peringatan otomatis jika anak keluar dari zona aman yang telah ditentukan [4, 5]. *Geofencing* secara praktis adalah teknologi yang memungkinkan pembuatan batasan *virtual* di sekitar lokasi geografis tertentu. Sistem ini menggunakan data GPS untuk mendeteksi apakah perangkat masuk atau keluar dari zona aman yang telah ditentukan. Notifikasi otomatis akan dikirimkan kepada pengguna jika perangkat melanggar batas zona tersebut. Fitur ini sangat penting untuk menjaga keamanan anak, terutama bagi mereka yang memiliki gangguan perkembangan seperti autisme [6-9].

Berdasarkan fitur dan teknologi tersebut, penelitian ini ingin memecahkan beberapa permasalahan yaitu antara lain : 1) bagaimana merancang perangkat IoT dengan menerapkan konsep *geofencing* dengan biaya yang terjangkau dan 2) bagaimana tingkat akurasi dari penerapan sistem tersebut sebagai alat pelacak untuk mencegah kasus kehilangan anak sesuai dengan deskripsi yang telah disebutkan diatas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat merancang suatu perangkat pengaman lokasi anak menggunakan konsep GPS dan geofencing dengan biaya terjangkau yang memiliki akurasi yang baik untuk meminimalisir kesalahan dalam pelacakan.

Metode dan Perancangan Sistem

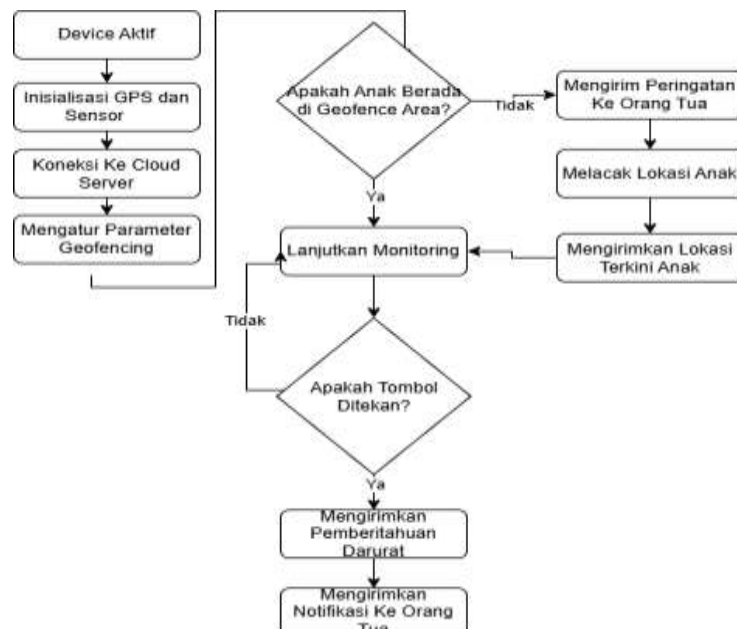
Studi Literatur dan Observasi Lapangan

Langkah awal dilakukan dengan melakukan studi literatur terhadap perangkat pelacakan anak yang telah ada di pasaran beserta kelebihan, dan kekurangannya. Selain itu, observasi dan wawancara dilakukan terhadap orang tua anak dengan autisme untuk mengidentifikasi kebutuhan spesifik dan tantangan yang dihadapi dalam pemantauan anak. Adapun faktor survei yang dilakukan yaitu mencakup beberapa hal penting yaitu antara lain:

- Kebutuhan *tracking system*,
- Fitur yang dibutuhkan
- Harga, dan
- Perhatian khusus kekhawatiran penggunaan alat pelacak.

Perancangan Sistem

Secara umum, perangkat pelacakan yang dikembangkan diberi nama *SafeZoneX*. Rancang bangun perangkat keras menggunakan komponen utama seperti modul GPS *Neo-6M*, mikrokontroler *ESP32 C3*, dan modul GSM *SIM800L*. Perangkat lunak berupa *web dashboard* dibangun menggunakan *framework Flask Python*, yang menerima data lokasi dari perangkat melalui protokol HTTP dan menyimpannya di *database SQLite*. Sistem juga mendukung visualisasi zona aman (*geofencing*) serta *notifikasi real-time*. Gambar 1 menunjukkan rancangan sistem dan cara kerja *SafeZoneX*. Adapun cara kerja sistem *SafeZoneX* berdasarkan gambar 1 yaitu:



Gambar 1. Perancangan dan cara kerja sistem

- a) Alat diaktifkan, dan akan melakukan inisialisasi yang kemudian akan terkoneksi dengan *cloud server*

- b) Dari sisi *user* yaitu orang tua, akan melakukan konfigurasi *geofencing*, yaitu radius jarak anak dikatakan aman dari lokasi tempat beraktivitas yang telah ditentukan sebelumnya
- c) Sistem kemudian akan melakukan *update* lokasi dengan mengirimkan hasil pembacaan GPS yang dibawa oleh anak autis melalui ESP32 yang telah terkoneksi dengan internet melalui modul GSM SIM800L.
- d) Pada alat yang dipakai oleh anak memiliki fitur *panic button* yaitu suatu tombol atau fitur untuk men *trigger* alat memberikan sinyal kepada orang tua bahwa anak dalam kondisi bahaya/darurat yang juga akan memberikan sinyal untuk orang sekitar.

Pengujian dan Evaluasi

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem *SafeZoneX* berdasarkan beberapa parameter utama. Pertama, pengujian akurasi GPS dilakukan dengan membandingkan koordinat yang dikirimkan perangkat terhadap lokasi aktual di Google Maps menggunakan rumus *haversine* sesuai dengan persamaan 1. Berdasarkan rumus *haversine* untuk menentukan jarak, kemudian dilakukan perhitungan selisih antara koordinat yang dihasilkan oleh *SafeZoneX* dan pengukuran terstandar menggunakan *Google Maps*.

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

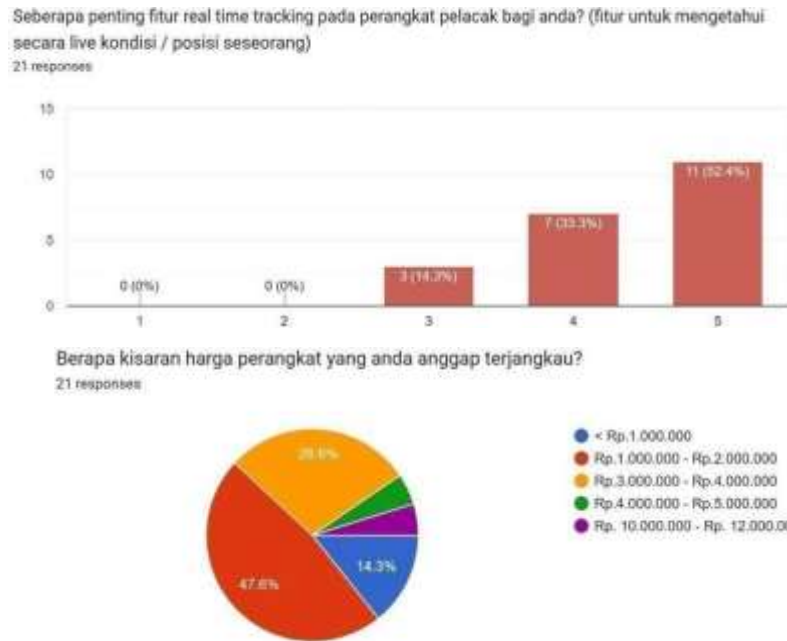
Selanjutnya, keandalan sistem *geofencing* diuji dengan mensimulasikan pergerakan perangkat melintasi batas zona aman guna mengukur ketepatan sistem dalam memberikan notifikasi. Pengujian daya tahan baterai dilakukan dengan mencatat durasi operasional perangkat sejak kondisi baterai penuh hingga habis dalam penggunaan aktif. Aspek kenyamanan pengguna dinilai melalui survei kepada orang tua setelah penggunaan perangkat, sedangkan efisiensi produksi dievaluasi dengan membandingkan estimasi anggaran dan biaya aktual dari perakitan prototipe. Untuk pengujian ketepatan dalam memberi notifikasi, kami menggunakan persamaan 2.

$$\begin{aligned} \text{Precision} &= \frac{TP}{TP + FP} \\ \text{Recall} &= \frac{TP}{TP + FN} \\ \text{F1 Score} &= \frac{2 \cdot \text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \end{aligned} \quad (2)$$

TP (*True Positive*) : Notifikasi benar saat keluar/masuk zona, FP (*False Positive*) : Notifikasi salah saat keluar/masuk zona, FN (*False Negative*) : Tidak ada notifikasi saat keluar dari zona.

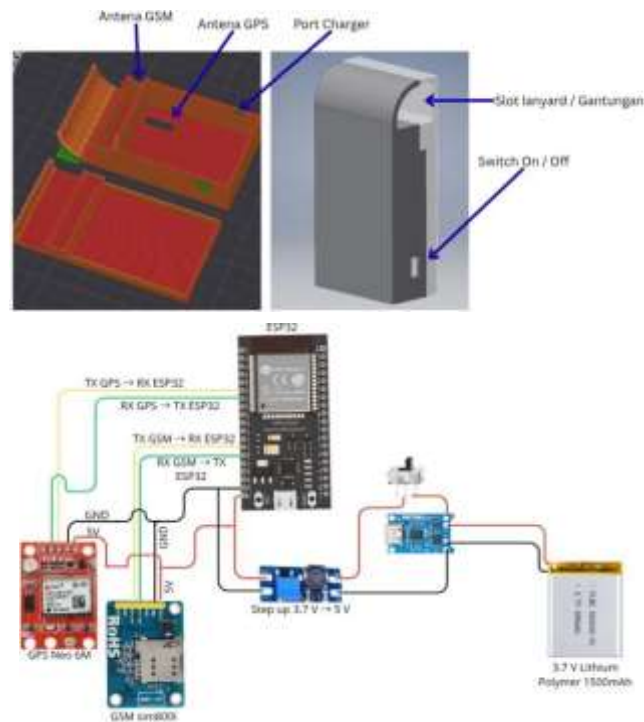
Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil dari observasi kebutuhan masyarakat, terutama orang tua dan orang tua yang memiliki anak berkebutuhan khusus, maka kami mendapatkan bahwa > 80% menunjukkan kebutuhan yang ditawarkan oleh sistem ini (Gambar 2). Kebutuhan yang dimaksud adalah *tracking system* untuk menghindari kehilangan anak, fitur *panic button* untuk memberikan sinyal kepada orang tua jika terjadi suatu ancaman atau bahaya terhadap anak, dan alat yang tidak butuh dipakai langsung oleh si anak dikarenakan faktor ketidaknyamanan yang dimiliki beberapa anak. Sedangkan untuk harga, didapatkan bahwa harga dibawah rentang harga dibawah 2 juta rupiah masih dianggap layak untuk pengadaan alat yang dimaksud (Gambar 2).

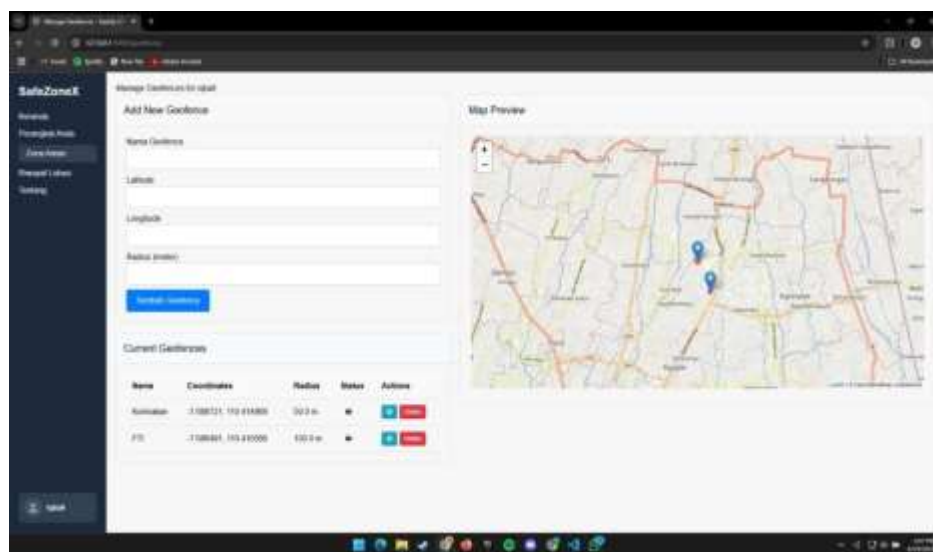


Gambar 2. Hasil survei terhadap kebutuhan

Setelah melalui tahap perancangan dan implementasi, prototipe *SafeZoneX* kemudian diuji secara komprehensif untuk mengukur performa dan kesesuaiannya dengan tujuan penelitian. Hasil

Gambar 3. Hasil Perancangan Sistem *SafeZoneX*

dari serangkaian pengujian tersebut dianalisis secara mendalam pada bagian ini, yang mencakup aspek-aspek berikut. Gambar 3 menunjukkan hasil desain implementasi sistem berupa suatu devais yang dapat digantungkan atau dikaitkan pada peralatan anak autis. Desain 3D dari perangkat dibuat untuk mendukung aspek ergonomis dan keamanan. *Enclosure* dirancang dengan bentuk menyerupai kotak oval ergonomis, dilengkapi slot untuk *charger* dan *switch power*. Permukaan perangkat memiliki tekstur halus dengan material ramah kulit. Komponen elektronik ditempatkan secara modular di dalam *enclosure* untuk memudahkan perawatan dan perakitan. Penempatan antena GPS dilakukan di bagian atas perangkat untuk mengoptimalkan penerimaan sinyal satelit. Untuk tampilan antarmuka, gambar 4 menunjukkan suatu tampilan *user interface* (orang tua) untuk dapat mengawasi kondisi posisi anak autis mereka saat beraktivitas diluar rumah.



Gambar 4. Tampilan *dashboard* sebagai antarmuka pengguna (orang tua) dalam proses pengawasan

Pengujian dilakukan dalam dua skenario: di beberapa titik berbeda dan di satu titik statis. Hasilnya menunjukkan rata-rata selisih jarak 18,21 meter (Tabel 1) pada skenario multi-titik dan 15,33 meter pada skenario titik statis. Akurasi ini sejalan dengan penelitian lain yang menyatakan akurasi GPS pada sistem IoT berada di rentang 10-20 meter tanpa *post-processing* [10]. Meskipun akurasi ini memadai untuk pelacakan umum, masih terdapat deviasi dari target ideal (di bawah 10)

Tabel 1. Perbandingan *longitude* dan *latitude* SafeZoneX dengan Google Maps, pengambilan data dengan beberapa titik (Percobaan 1)

No	Alat GPS Tracker		Google Maps		Selisih Jarak
	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	
1	-7,696,383	110,415,222	-7,696,702	110,414,927	48,11 m
2	-7,696,601	110,414,696	-7,696,574	110,414,678	3,60 m
3	-7,696,302	110,414,970	-7,696,574	110,414,678	44,16 m
4	-7,696,511	110,414,742	-7,696,603	110,414,768	10,62 m
5	-7,696,602	110,414,848	-7,696,629	110,414,846	3,01 m
6	-7,696,727	110,414,795	-7,696,629	110,414,846	12,26 m
7	-7,696,441	110,414,879	-7,696,643	110,414,942	23,51 m
8	-7,696,793	110,415,077	-7,696,687	110,415,045	12,30 m
9	-7,696,734	110,415,298	-7,696,728	110,415,195	11,37 m
10	-7,696,651	110,415,390	-7,696,747	110,415,320	13,17 m
Rata-rata					18,21 m

meter). Sistem *geofencing* menunjukkan kinerja yang sangat andal. Dari 20 percobaan (Tabel 2) yang dilakukan, sistem berhasil memberikan notifikasi secara tepat setiap kali perangkat melintasi batas zona aman. Hasil ini memberikan nilai *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* sebesar 100%, yang menandakan tidak ada notifikasi yang salah (*False Positive*) atau terlewat (*False Negative*). Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa perangkat *SafeZoneX* memiliki akurasi yang cukup baik untuk kebutuhan pelacakan umum, terutama ketika digunakan pada area terbuka dengan gangguan lingkungan minimal. Namun, tingkat akurasi dapat menurun dalam kondisi berpindah-pindah lokasi atau ketika terdapat hambatan fisik yang mengganggu penerimaan sinyal GPS.

Tabel 2. Perbandingan *longitude* dan *latitude* *SafeZoneX* dengan Google Maps, pengambilan data dengan satu titik (Percobaan 2)

No	Alat GPS Tracker		Google Maps		Selisih Jarak
	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	
1	-769,212	110,416,061	-7,692,131	110,415,825	26,03 m
2	-769,208	110,415,848	-7,692,131	110,415,825	6,21 m
3	-769,208	11,041,584	-7,692,131	110,415,825	5,91 m
4	-7,692,085	11,041,584	-7,692,131	110,415,825	5,38 m
5	-769,207	110,415,909	-7,692,131	110,415,825	11,48 m
6	-7,692,044	110,415,848	-7,692,131	110,415,825	10,00 m
7	-7,692,109	110,415,855	-7,692,131	110,415,825	4,11 m
8	-7,692,121	110,415,855	-7,692,131	110,415,825	3,49 m
9	-7,692,133	110,415,855	-7,692,131	110,415,825	3,31 m
10	-7,692,105	110,415,848	-7,692,131	110,415,825	3,84 m
11	-7,692,143	110,415,932	-7,692,131	110,415,825	11,87 m
12	-7,692,235	110,415,962	-7,692,131	110,415,825	19,02 m
13	-7,692,447	110,416,222	-7,692,131	110,415,825	56,11 m
14	-7,692,155	110,415,924	-7,692,131	110,415,825	11,23 m
15	-769,221	11,041,597	-7,692,131	110,415,825	18,23 m
16	-7,692,309	110,416,122	-7,692,131	110,415,825	38,25 m
17	-7,692,078	110,416,084	-7,692,131	110,415,825	29,14 m
18	-7,692,083	110,416,084	-7,692,131	110,415,825	29,04 m
19	-769,216	110,415,863	-7,692,131	110,415,825	5,29 m
20	-7,692,074	110,415,878	-7,692,131	110,415,825	8,62 m
Rata-rata					15,33 m

Masalah kapasitas baterai merupakan tantangan terbesar yang ditemukan. Meskipun kapasitas baterai ditingkatkan menjadi 1500 mAh, perangkat hanya mampu bertahan selama 105 menit (1 jam 45 menit). Hasil ini sangat jauh dari target awal (168 jam atau 7 hari). Penyebab utamanya adalah konsumsi daya yang tinggi dari modul ESP32, GPS, dan GSM yang beroperasi secara terus-menerus tanpa implementasi mode hemat daya (*deep sleep*). Berdasarkan penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa modul SIM800L memiliki konsumsi daya yang tinggi saat proses inisialisasi sinyal dan pengiriman data, dengan arus puncak mencapai lebih dari 2 A meskipun hanya berlangsung singkat. Selain itu, modul GPS Neo-6M juga termasuk komponen dengan konsumsi daya tinggi, terutama karena kebutuhan sinyal satelit yang konstan untuk menghasilkan data lokasi yang akurat [11,12]

Sedangkan untuk mengukur bagaimana evaluasi dari pengguna, hasil survei menunjukkan tingkat kenyamanan pengguna sebesar 77,56%. Pengguna menilai perangkat cukup nyaman, namun memberikan masukan agar dimensi (9 x 6 x 3 cm) dan berat (162 gram) dapat dikurangi pada versi selanjutnya agar lebih praktis untuk anak-anak. Biaya realisasi untuk pembuatan satu prototipe adalah Rp 402.100, sedikit lebih rendah dari anggaran yang diusulkan (Rp 408.000). Hal ini menunjukkan bahwa perangkat dapat diproduksi dengan biaya yang terjangkau, sesuai dengan harapan pengguna.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa perangkat pelacak *SafeZoneX* telah berhasil melakukan pelacakan lokasi *real-time* dan *geofencing* yang berfungsi dengan baik. Biaya produksi yang terjangkau juga berhasil dicapai. Fitur keamanan *geofencing* terbukti sangat andal, namun fitur *emergency button* belum terealisasi pada prototipe ini karena keterbatasan teknis dan fokus pada fungsi utama. Terdapat ketidakseimbangan signifikan antara kualitas (daya tahan baterai) dan fungsionalitas. Daya tahan baterai yang hanya sekitar 2 jam menjadi kelemahan utama yang perlu diatasi dalam pengembangan selanjutnya. Untuk pengembangan di masa depan, disarankan untuk melakukan optimalisasi konsumsi daya dengan mengimplementasikan *deep sleep mode*, mengembangkan aplikasi mobile khusus, serta mengintegrasikan fitur-fitur yang tertunda seperti *emergency button* dan *enclosure case* tahan air (IP68).

Daftar Pustaka

- [1] I. Vogindroukas, M. Stankova, E.-N. Chelas, and A. Proedrou, "Language and speech characteristics in autism," *Neuropsychiatric Disease and Treatment*.
- [2] S. F. M. and A. R. Jaya, "Language development of autism children in Islamic psychoanalytic treatment: Case study at Southeast Sulawesi Autism Service Center," *Psikis: Jurnal Psikologi Islami*, vol. 8, no. 2, pp. 229–238, Dec. 2022, doi: 10.19109/psikis.v8i2.13840
- [3] Detik Health, "Wamenkes ungkap 2,4 juta anak di Indonesia idap autisme." [Online]. Available: <https://health.detik.com/berita-detikhealth/d-7336606/wamenkes-ungkap-2-4-juta-anak-di-indonesia-idap-autisme>
- [4] F. Reclus and K. Drouard, "Geofencing for fleet amp; freight management," *IEEE Xplore*, Oct. 01, 2009. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5399328>
- [5] Fabrice Reclus, "Geofencing," pp. 127–154, May 2013, doi: <https://doi.org/10.1002/9781118743751.ch6>.
- [6] W. Burger and M. Burge, *Principles of Digital Image Processing: Core Algorithms*, 2nd ed. London, UK: Springer, 2016.
- [7] Adrena, "Mengenal geo-fencing dan gunanya pada sistem absensi mobile." [Online]. Available: <https://adrena.id/mengenal-geo-fencing-dan-gunanya-pada-sistem-absensi-mobile>
- [8] IntelliTrac, "Fitur geofence pada GPS tracker memudahkan memetakan area penggunaan kendaraan." [Online]. Available: https://intellitrac.co.id/news/92_Fitur-Geofence-Pada-GPS-Tracker-Memudahkan-Memetakan-Area-Penggunaan-Kendaraan
- [9] Velco Tech, "Geofence GPS Tracker." [Online]. Available: <https://velco.tech/en/geofence-gps-tracker/>
- [10] C. D. Dinh, "Design and Development of an IoT System Prototype for Safe Traffic Assurance System," *Journal of Technical Education Science*, vol. 19, no. 1, pp. 54–63, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2024.1517>.
- [11] D. Lestari et al., "Analisis konsumsi daya modul GSM SIM800L pada sistem IoT berbasis mikrokontroler," *J. Teknol. dan Rekayasa Elektron.*, 2022.
- [12] A. Putra and R. Nugroho, "Efisiensi daya pada sistem pelacakan lokasi menggunakan modul GPS Neo-6M," in *Prosiding Sem. Nasional Teknologi dan Informatika (SNATIF)*, 2021.