



Sistem Pemantauan dan Pengawasan Keamanan Siswa Berbasis Wearable IoT di Lingkungan Sekolah Madrasah Ibtidaiyah

Aqmal Fahat Syafiq Putra*, Eka Arriyanti, Kusnandar

Teknik Informatika, STMIK Widya Cipta Dharma, Samarinda, Indonesia

Email: ^{1,*}2043020@wicida.ac.id, ²ekaarry@wicida.ac.id, ³kusnandar@wicida.ac.id

Email Penulis Korespondensi: 2043020@wicida.ac.id

Abstrak—Keamanan siswa di lingkungan sekolah masih menjadi permasalahan penting karena pengawasan manual memiliki keterbatasan dalam memantau keberadaan dan kondisi siswa secara cepat dan berkelanjutan. Penelitian ini berkontribusi dengan penyediaan media berbasis teknologi yang mengintegrasikan perangkat wearable IoT, komunikasi data real-time, dan dashboard pemantauan terpusat untuk memperkuat sistem pengawasan sekolah, sekaligus mengisi celah literatur mengenai implementasi wearable IoT di konteks madrasah ibtidaiyah di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT yang mampu memantau lokasi serta kondisi dasar siswa secara real-time dan mengirimkan notifikasi darurat kepada pihak sekolah. Penelitian dilaksanakan di MI Al Azhar Kota Samarinda, Kalimantan Timur, pada periode 20 Juli 2026 hingga 25 Agustus 2026 dengan melibatkan 6 responden, yaitu 1 kepala sekolah, 1 guru, 1 koordinator kesiswaan, 1 teknisi IT sekolah, dan 2 siswa kelas 6. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model prototipe melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau kondisi dan keberadaan siswa secara real-time, mendeteksi potensi risiko melalui perangkat wearable, menampilkan riwayat pergerakan dan status siswa pada dashboard, serta mengirimkan notifikasi darurat dengan lebih cepat. Sistem juga terbukti meningkatkan efektivitas pengawasan keamanan siswa di sekolah karena informasi dapat dipantau secara terpusat dan respons terhadap insiden menjadi lebih terarah. Berdasarkan hasil pengujian dan tanggapan responden, sistem dinilai layak digunakan sebagai solusi inovatif untuk mendukung keamanan siswa di lingkungan sekolah. Kontribusi penelitian ini penyediaan kerangka implementasi wearable IoT yang dapat diadaptasi oleh sekolah lain, penguatan basis empiris terkait efektivitas sistem pemantauan siswa di tingkat dasar, serta rekomendasi desain teknis dan kebijakan operasional untuk mendukung skalabilitas dan tata kelola data yang aman.

Kata Kunci: Lingkungan Sekolah; Pengawasan Keamanan; Sistem Pemantauan; Siswa MI Al Azhar; Wearable IoT3

Abstract—Student safety within school environments remains a critical concern, as manual supervision is constrained in its capacity to monitor students' whereabouts and conditions rapidly and continuously. This study contributes by providing a technology-based medium that integrates IoT-enabled wearable devices, real-time data communication, and a centralized monitoring dashboard to strengthen school surveillance systems, while simultaneously addressing a gap in the literature concerning the implementation of wearable IoT in the context of Indonesian madrasah ibtidaiyah (elementary Islamic schools). The study aims to design and develop a wearable IoT-based student safety monitoring and supervision system capable of tracking students' locations and basic physiological conditions in real time and transmitting emergency notifications to school authorities. The research was conducted at MI Al Azhar, Samarinda, East Kalimantan, from 20 July to 25 August 2026, involving six respondents: one principal, one teacher, one student affairs coordinator, one school IT technician, and two sixth-grade students. A Research and Development (R&D) approach employing a prototype model was utilized, encompassing stages of needs analysis, design, implementation, testing, and evaluation. Findings indicate that the system is capable of monitoring students' conditions and whereabouts in real time, detecting potential risks via wearable devices, displaying movement histories and student status on a dashboard, and delivering emergency notifications more rapidly. The system also demonstrably enhances the effectiveness of student safety supervision in schools, as information can be monitored centrally and responses to incidents become more targeted. Based on testing outcomes and respondent feedback, the system is deemed feasible for use as an innovative solution to support student safety within school environments. The study's contributions include the provision of an adaptable wearable IoT implementation framework for other schools, the strengthening of the empirical basis regarding the effectiveness of student monitoring systems at the elementary level, and the formulation of technical design recommendations and operational policies to support scalability and secure data governance.

Keywords: School Environment; Monitoring System; Safety Supervision; MI Al Azhar Students; Wearable IoT

1. PENDAHULUAN

Sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT merupakan solusi terintegrasi yang memadukan perangkat wearable pada siswa (dilengkapi GNSS hybrid, akselerometer, dan sensor kesehatan dasar), infrastruktur komunikasi (gateway lokal, Wi-Fi, dan jaringan seluler), serta platform perangkat lunak real-time (server dan dashboard) (Khoirothun et al., 2026). Data telemetri dikumpulkan secara periodik dan disalurkan melalui protokol ringan (misalnya MQTT) untuk pemrosesan waktu-nyata, sehingga menghasilkan informasi operasional seperti lokasi per kelas, indikator kesehatan, anomali pergerakan, dan riwayat peristiwa. Arsitektur hibrida menggabungkan GNSS untuk akurasi luar ruangan dan fallback berbasis RSSI/Wi-Fi dengan Kalman filter untuk kontinuitas di dalam gedung meminimalkan kehilangan jejak lokasi dan mendukung deteksi dini kondisi tidak normal yang memerlukan intervensi (Sumual et al., 2025).

Evaluasi kinerja sistem menggunakan metrik teknis (*Time to First Fix* GNSS, akurasi estimasi posisi fallback, keberhasilan dan latensi notifikasi), metrik operasional (waktu respons insiden, tingkat adopsi dashboard oleh staf), dan metrik sosial (kepuasan pemangku kepentingan serta kekhawatiran privasi). Notifikasi primer diarahkan melalui jaringan data lokal untuk latensi rendah, sementara SMS digunakan sebagai jalur cadangan bila konektivitas data terganggu. Keberlanjutan dan efektivitas implementasi bergantung pada optimasi *assisted* GNSS atau augmentasi



sinyal, penguatan infrastruktur jaringan lokal, manajemen daya dan reliabilitas perangkat wearable, serta kebijakan tata kelola data yang transparan untuk menjaga kepercayaan orang tua dan staf (Sihombing et al., 2019).

Keamanan siswa di lingkungan sekolah merupakan aspek fundamental dalam penyelenggaraan pendidikan yang berkualitas karena sekolah bukan hanya tempat berlangsungnya proses pembelajaran, tetapi juga ruang tumbuh kembang peserta didik yang harus menjamin rasa aman, nyaman, dan terlindungi dari berbagai potensi risiko. Dalam praktiknya, pengawasan siswa masih banyak dilakukan secara manual oleh guru, tenaga kependidikan, maupun petugas keamanan. Cara ini memiliki keterbatasan, terutama ketika jumlah siswa cukup besar, area sekolah luas, dan aktivitas berlangsung secara simultan, sehingga dapat menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi kejadian darurat seperti siswa keluar dari area sekolah tanpa izin, jatuh, pingsan, tersesat, atau mengalami insiden lain yang membutuhkan penanganan segera.

Fenomena tersebut menunjukkan bahwa sistem pengawasan konvensional belum sepenuhnya mampu menjawab kebutuhan keamanan siswa yang semakin kompleks. Pada banyak sekolah, proses pemantauan masih bergantung pada pengamatan langsung manusia yang berpotensi mengalami kelalaian, keterbatasan jangkauan, dan keterlambatan respons. Padahal, dalam konteks perlindungan anak, setiap detik sangat berharga ketika terjadi keadaan darurat. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi yang dapat membantu sekolah dalam melakukan pengawasan secara lebih cepat, akurat, dan real-time (Attamimi & Khafidhoh, 2026). Salah satu solusi yang berkembang saat ini adalah penerapan Internet of Things (IoT) melalui perangkat wearable yang dapat memantau kondisi dan keberadaan siswa secara otomatis. Kebutuhan tersebut semakin relevan apabila dikaitkan dengan kondisi di Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Data yang tersedia menunjukkan bahwa kasus kecelakaan lalu lintas yang melibatkan pelajar di Samarinda dalam rentang 2023–2025 mencapai 1.332 kasus, sehingga Satlantas Samarinda menggenjatkan Patroli Keamanan Sekolah sebagai langkah pengamanan di lingkungan pendidikan (Nasution et al., 2024). Selain itu, Pemerintah Kota Samarinda juga menekankan penguatan budaya sekolah aman dan nyaman sebagai bagian dari transformasi digital sekolah tahun 2026. Fakta ini memperlihatkan bahwa keamanan siswa bukan hanya isu operasional sekolah, tetapi juga menjadi kebutuhan kebijakan pendidikan di daerah yang perlu ditangani dengan pendekatan teknologi yang lebih responsif.

Pemanfaatan IoT di bidang pendidikan semakin banyak dikembangkan, tidak hanya untuk mendukung proses belajar, tetapi juga untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi pengelolaan lingkungan sekolah. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem keamanan berbasis IoT dan RFID telah digunakan untuk pemantauan siswa taman kanak-kanak melalui pendekatan eksperimental, implementasi, dan pengujian sistem (Arpan et al., 2024). Di sisi lain, penelitian lain mengembangkan wearable device berbasis LoRa untuk memantau lokasi anak, mendeteksi kejadian jatuh, serta mengoptimalkan proses penjemputan di sekolah. Hasil-hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa IoT memiliki potensi yang besar dalam mendukung sistem keamanan siswa yang lebih responsif dan terintegrasi (Ilmananda et al., 2026). Contoh pemanfaatan sistem monitoring pelanggaran siswa berbasis web di SDN 003 Samarinda yang membantu guru bimbingan konseling dalam memantau data pelanggaran siswa yang sebelumnya masih dilakukan secara manual dan rawan kesalahan pelaporan. Namun, sistem tersebut masih berfokus pada pencatatan dan monitoring administratif, belum pada pemantauan real-time terhadap kondisi fisik serta keselamatan siswa. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan akan sistem pengawasan yang lebih menyeluruh masih terbuka, khususnya sistem yang mampu mendeteksi kondisi berisiko secara langsung di lingkungan sekolah (Hakim et al., 2025).

Berbagai kajian lain juga menegaskan bahwa IoT dapat dimanfaatkan dalam pengelolaan kelas dan keamanan lingkungan belajar. Sistem smart class berbasis IoT, misalnya, dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi absensi sekaligus mendukung keamanan lingkungan belajar di kelas. Sementara itu, kajian konseptual mengenai IoT dalam pendidikan menunjukkan bahwa teknologi ini dapat menghubungkan siswa dengan lingkungan pembelajaran secara lebih adaptif dan interaktif (Cahyadi Maseri, 2025). Dengan demikian, pemanfaatan IoT tidak hanya relevan untuk kebutuhan pembelajaran, tetapi juga sangat potensial sebagai instrumen pengawasan dan perlindungan siswa di sekolah. Meskipun penelitian-penelitian terdahulu telah menunjukkan hasil yang menjanjikan, masih terdapat sejumlah keterbatasan yang perlu diatasi. Sebagian penelitian lebih berfokus pada fungsi tertentu, seperti identifikasi siswa, pemantauan lokasi, atau deteksi insiden spesifik, namun belum sepenuhnya mengintegrasikan fungsi pemantauan dan pengawasan keamanan dalam satu sistem wearable yang praktis digunakan di lingkungan sekolah (Julia Utama et al., 2025). Penelitian berbasis LoRa dan geofencing, misalnya, telah berhasil menunjukkan kemampuan pemantauan lokasi dan deteksi jatuh, tetapi masih menitikberatkan pada pengawasan anak secara individual dan proses penjemputan. Sementara itu, sistem keamanan berbasis IoT dan RFID lebih menekankan pada pengenalan dan pemantauan keberadaan siswa pada jenjang pendidikan awal. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian untuk mengembangkan sistem yang lebih menyeluruh, fleksibel, dan sesuai dengan kebutuhan pengawasan harian siswa (Fery et al., 2026).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berupaya menghadirkan kebaruan melalui pengembangan sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT di lingkungan sekolah, khususnya dengan mempertimbangkan konteks kebutuhan sekolah di Samarinda (Juliansyah & Ratnasari, 2026). Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi fungsi pemantauan keberadaan, pengawasan aktivitas, serta mekanisme peringatan dini dalam satu perangkat wearable yang dapat digunakan secara praktis oleh siswa. Sistem ini diharapkan mampu memberikan data secara real-time kepada pihak sekolah sehingga respons terhadap kejadian berisiko dapat dilakukan lebih cepat dan tepat. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperluas penerapan IoT dalam pendidikan, tetapi juga memperkuat dimensi keamanan sebagai bagian dari layanan pendidikan yang holistik (Utama et al., 2025). Penelitian ini dapat disejajarkan dengan pendekatan eksperimental yang digunakan dalam pengembangan sistem keamanan



berbasis IoT dan RFID, serta pendekatan pengembangan sistem wearable berbasis LoRa yang difokuskan pada pemantauan lokasi dan deteksi insiden. Perbandingan ini penting untuk menunjukkan posisi penelitian dalam peta kajian sebelumnya sekaligus menegaskan perbedaan orientasi penelitian. Jika penelitian terdahulu cenderung menilai keberhasilan teknologi pada fungsi spesifik, maka penelitian ini menekankan pengembangan sistem yang lebih komprehensif untuk pengawasan keamanan siswa secara berkelanjutan di lingkungan sekolah.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT yang mampu mendukung keamanan sekolah secara lebih efektif. Secara khusus, penelitian ini diarahkan untuk menghasilkan sistem yang dapat memantau keberadaan siswa, mendeteksi kondisi berisiko, serta menyampaikan informasi secara cepat kepada pihak yang berwenang. Dengan adanya sistem ini, sekolah diharapkan memiliki alat bantu pengawasan yang lebih modern, efisien, dan adaptif terhadap kebutuhan keamanan peserta didik. Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan menjadi kontribusi ilmiah sekaligus praktis dalam pengembangan teknologi keamanan pendidikan yang lebih inovatif dan relevan dengan tantangan sekolah masa kini.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan research and development (R&D) dengan model pengembangan sistem berbasis prototipe untuk menghasilkan sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT di lingkungan sekolah. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya bertujuan mengkaji fenomena, tetapi juga merancang, membangun, dan menguji solusi teknologi yang dapat digunakan secara nyata. Pengembangan sistem mengacu pada penelitian sejenis yang menggunakan wearable device berbasis LoRa, GPS, dan geofencing untuk pemantauan keamanan anak di sekolah, yang menunjukkan bahwa pendekatan prototipe efektif untuk menguji kelayakan sistem secara bertahap.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di MI Al Azhar Kota Samarinda pada 20 Juli–25 Agustus 2026 dengan subjek yang dipilih secara purposif, yaitu kepala sekolah, guru, koordinator kesiswaan, ahli IT sekolah, dan dua siswa kelas 6 sebagai pengguna wearable. Sampel sebanyak enam responden ini dirancang sebagai evaluasi awal (pilot) yang bersifat eksploratori untuk memperoleh umpan balik mendalam mengenai kelayakan fungsi, kemudahan penggunaan, dan manfaat operasional sistem dalam konteks pengawasan keamanan di sekolah. Data kualitatif dan kuantitatif dari keenam responden digunakan untuk menilai aspek-aspek seperti keterbacaan dashboard, kecepatan notifikasi, kenyamanan perangkat wearable, serta persepsi terhadap privasi dan keamanan data, sekaligus menjadi dasar rekomendasi perbaikan sebelum implementasi skala lebih luas dan penyusunan indikator keberhasilan serta protokol evaluasi lanjutan yang lebih representatif.

Objek penelitian adalah sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT yang mencakup perangkat wearable yang dipakai siswa, sensor pendukung (misalnya GNSS hybrid, akselerometer, dan sensor denyut sederhana), modul komunikasi data (gateway lokal, Wi-Fi, dan jaringan seluler), serta aplikasi pemrosesan dan dashboard pemantauan. Fokus evaluasi diarahkan pada kapabilitas sistem dalam memantau keberadaan siswa secara kontinu, mendeteksi potensi risiko atau kondisi tidak normal (perubahan tanda vital atau anomali pergerakan), dan menyampaikan informasi serta peringatan kepada pihak sekolah dengan latensi serendah mungkin. Penilaian kinerja meliputi akurasi penentuan posisi (GNSS dan fallback RSSI/Wi-Fi), efektivitas mekanisme deteksi anomali, reliabilitas jalur komunikasi notifikasi (MQTT dan SMS), serta kegunaan antarmuka dashboard bagi pengguna internal; di samping itu, penelitian juga menilai aspek ergonomis perangkat, manajemen daya, dan implikasi tata kelola data serta privasi

(Asadilah & Luthfi, 2026) untuk menghasilkan rekomendasi perbaikan desain teknis, penguatan infrastruktur, dan kebijakan operasional sebelum implementasi diperluas.

2.3 Desain Penelitian

Desain penelitian ini menggunakan pendekatan pengembangan sistem berbasis prototipe yang dilaksanakan secara bertahap untuk memastikan iterasi dan validasi fungsional selama proses implementasi. Tahapan penelitian meliputi: (1) analisis kebutuhan pengguna dan lingkungan sekolah untuk mengidentifikasi spesifikasi teknis dan operasional; (2) perancangan arsitektur sistem, termasuk pemilihan sensor, modul komunikasi, dan desain antarmuka dashboard; (3) implementasi prototipe perangkat wearable dan infrastruktur pendukung (gateway lokal, server, dan mekanisme notifikasi); (4) pengujian fungsional dan lapangan untuk mengevaluasi metrik teknis (mis. TTFF GNSS, akurasi fallback, keberhasilan/latensi notifikasi) serta aspek kegunaan (*usability*) dan ergonomi; dan (5) evaluasi hasil yang mengintegrasikan data kuantitatif dan kualitatif untuk perbaikan desain.

Pendekatan prototipe dipilih karena karakter penelitian yang bersifat rekayasa teknologi dan membutuhkan umpan balik langsung dari pengguna akhir (guru, petugas, dan siswa) untuk menyempurnakan fungsi dan antarmuka. Siklus iteratif memungkinkan identifikasi dan mitigasi masalah teknis (mis. performa GNSS, cakupan Wi-Fi, reliabilitas SMS), penyesuaian parameter deteksi anomali, serta perumusan kebijakan tata kelola data yang sesuai. Dengan

demikian, prototyping menjamin perbaikan berkelanjutan sehingga hasil akhir memenuhi tujuan penelitian berupa sistem yang andal, dapat dioperasikan dalam konteks sekolah, dan diterima oleh pemangku kepentingan.



Gambar 1. Analisis Desain Penelitian

2.4 Kerangka Dasar Penelitian

Kerangka dasar penelitian ini berangkat dari masalah nyata yaitu lemahnya mekanisme pengawasan siswa yang masih bergantung pada praktik manual di lingkungan sekolah, sehingga berisiko memperlambat deteksi dan respons saat terjadi insiden. Untuk memahami solusi yang sesuai, permasalahan tersebut dianalisis melalui tinjauan pustaka terkait pemanfaatan teknologi IoT dan perangkat wearable dalam konteks keselamatan anak dan siswa, termasuk studi tentang GNSS/GPS hybrid, geofencing, teknik komunikasi nirkabel (misalnya LoRa, Wi-Fi), serta sistem identifikasi berbasis RFID. Kajian literatur ini memetakan kekuatan dan keterbatasan pendekatan teknis yang berbeda, misalnya akurasi dan TTFF GNSS di luar ruangan, kemampuan lokasi berbasis infrastruktur dalam ruangan, serta trade-off antara latensi notifikasi dan reliabilitas kanal komunikasi.

Hasil uji lapangan digunakan untuk mengukur efektivitas sistem dalam konteks lokal MI Al Azhar Kota Samarinda dengan sampel uji awal yang terbatas namun representatif dari pemangku kepentingan terkait. Evaluasi meliputi analisis kuantitatif terhadap perubahan waktu respons dan indikator teknis serta kajian kualitatif terhadap kemudahan penggunaan, ergonomi perangkat, dan kekhawatiran privasi yang diungkap oleh kepala sekolah, guru, koordinator kesiswaan, ahli IT, dan siswa. Dengan pendekatan iteratif berbasis prototipe, temuan-temuan tersebut dimanfaatkan untuk menyempurnakan parameter deteksi, memperkuat infrastruktur jaringan lokal, dan merumuskan kebijakan tata kelola data yang diperlukan sebelum skala implementasi lebih luas.



Gambar 2. Mikrokontroller Esp32

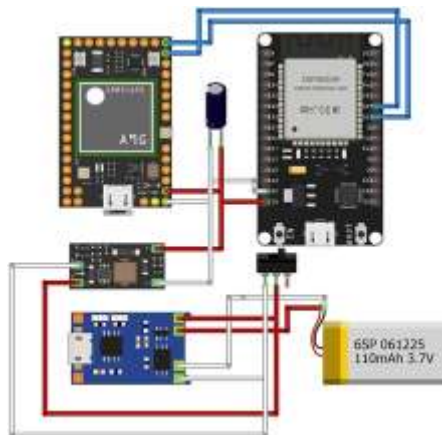
Modul DFRobot A9G GSM/GPRS+GPS adalah modul quad-band GSM/GPRS yang didasarkan pada SoC RDA8955 dan dilengkapi dengan 29 GPIO dan SDK terintegrasi. Modul GSM/GPRS+GPS ini mendukung fungsi panggilan suara telepon dasar/SMS, serial ke GPRS, dan transmisi data GPS yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Modul A9G memungkinkan pengguna untuk melakukan panggilan suara, menggunakan layanan SMS, dan mengakses internet serta posisi dasar hanya dengan kartu SIM atau IoT.



Gambar 3. Modul A9G GPS/GPRS

Perancangan sistem pada penelitian ini memanfaatkan berbagai komponen elektronik yang saling terintegrasi untuk mendukung fungsi perangkat. Komponen yang digunakan meliputi modul Step-Up sebagai penstabil dan peningkat tegangan, battery charging TP4056 sebagai modul pengisian daya baterai, battery polimer sebagai sumber

daya utama, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem, modul A9G yang mendukung komunikasi GSM/GPRS sekaligus fitur GPS, antena GPRS untuk memperkuat kualitas sinyal komunikasi, kartu SIM sebagai media konektivitas jaringan seluler, serta box sebagai pelindung seluruh rangkaian elektronik. Sementara itu, proses pemrograman dan pengembangan sistem dilakukan menggunakan Arduino IDE, sedangkan Google Chrome digunakan untuk mengakses antarmuka berbasis web, melakukan konfigurasi, serta memantau hasil pengujian sistem.



Gambar 4. Rangkaian Skematik Alat

Pada Gambar 4 diperlihatkan skematik rangkaian dari perangkat pelacakan yang dikembangkan. Skematik ini disusun untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai hubungan antarmodul, termasuk jalur catu daya, koneksi data, serta integrasi antara ESP32, modul A9G, modul GPS, dan komponen pendukung lainnya. Penyajian skematik ini bertujuan untuk mempermudah proses perakitan perangkat, khususnya dalam memastikan bahwa seluruh komponen terhubung dengan benar sesuai kebutuhan fungsional sistem. Selain itu, skematik ini juga berperan sebagai acuan dalam tahap pengujian dan pemecahan masalah (troubleshooting), karena menunjukkan alur arus listrik dan jalur komunikasi secara lebih jelas sebelum rangkaian diwujudkan dalam bentuk fisik.

2.5 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini memanfaatkan konsep Internet of Things (IoT) sebagai fondasi integrasi antara perangkat fisik (seperti sensor GPS, akselerometer, atau modul LoRa) dan sistem pemantauan digital berbasis cloud atau edge computing. Dalam konteks pengawasan siswa, IoT memungkinkan pengumpulan data secara real time dari lingkungan sekolah atau area pembelajaran, kemudian data tersebut diproses untuk mendukung pengambilan keputusan otomatis (Afifah et al., 2026). Sistem memanfaatkan data lokasi, metode geofencing diterapkan untuk mendefinisikan batas virtual area aman (misalnya ruang kelas, halaman sekolah) dan area pelanggaran (zona terlarang seperti atap gedung atau jalan raya). Geofencing bekerja dengan membandingkan koordinat GPS perangkat siswa terhadap poligon geospasial yang telah dikonfigurasi, sehingga memicu notifikasi atau tindakan preventif saat siswa keluar dari zona yang diizinkan.

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui empat teknik utama, yaitu observasi, wawancara, dokumentasi, dan pengujian sistem, yang saling melengkapi untuk menghasilkan gambaran holistik baik dari sisi konteks sosial maupun kinerja teknis. Observasi dilakukan secara langsung di lingkungan sekolah untuk mengidentifikasi kondisi nyata pengawasan siswa, termasuk pola pergerakan siswa, titik-titik rawan pelanggaran, serta interaksi antara siswa dan petugas keamanan (Muhammad et al., 2023). Wawancara mendalam diterapkan kepada pihak sekolah termasuk guru, staf keamanan, dan administrator menggali kebutuhan fungsional, kendala operasional, serta harapan terhadap sistem pemantauan yang akan dikembangkan. Pendekatan ini memastikan bahwa solusi IoT yang dirancang benar-benar selaras dengan dinamika lokal dan prioritas institusi Pendidikan. Dokumentasi dimanfaatkan sebagai sumber data sekunder untuk memperoleh informasi pendukung yang bersifat struktural dan administratif, seperti profil sekolah, jumlah siswa per angkatan, denah fasilitas, serta kebijakan keamanan yang telah diterapkan sebelumnya. Hasil pengujian ini tidak hanya menjadi dasar evaluasi teknis, tetapi juga digunakan untuk memvalidasi apakah sistem memenuhi kriteria keandalan dan kelayakan deployment di lingkungan sekolah nyata.

2.6 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas pedoman observasi, pedoman wawancara, lembar dokumentasi, dan lembar pengujian sistem. Pedoman observasi digunakan untuk mencatat kondisi pengawasan siswa di lapangan secara sistematis. Pedoman wawancara disusun untuk memperoleh informasi dari guru maupun pihak sekolah terkait kebutuhan sistem. Lembar dokumentasi berfungsi menghimpun data pendukung yang relevan dengan analisis kebutuhan. Sementara itu, lembar pengujian digunakan untuk mencatat hasil performa sistem, seperti keberhasilan pembacaan data, kecepatan notifikasi, dan akurasi deteksi. Selain itu, validitas dan reliabilitas setiap instrumen diuji melalui proses uji ahli (*content validity*) dan uji coba lapangan (*pilot test*). Uji ahli melibatkan kepala sekolah, beberapa guru, koordinator kemahasiswaan, ahli TI, dan dua siswa kelas 6 untuk memastikan bahwa isi instrumen relevan, komprehensif, dan mudah dipahami oleh responden. Hasil masukan dari uji ahli dijadikan dasar revisi instrumen sebelum pelaksanaan uji



coba lapangan pada sampel kecil yang representatif; data uji coba dianalisis secara kuantitatif untuk menghitung koefisien reliabilitas (misalnya Cronbach's alpha untuk item skala) dan secara kualitatif untuk menilai kejelasan instruksi dan item. Perbaikan akhir dilakukan berdasarkan temuan uji coba untuk meningkatkan keandalan pengukuran dan ketepatan pencatatan performa sistem dalam studi utama.

2.7 Tahapan Penelitian

Tahap pertama adalah identifikasi masalah dan studi pustaka, yaitu mengkaji permasalahan keamanan siswa di sekolah serta menelaah penelitian terdahulu yang relevan. Tahap kedua adalah analisis kebutuhan, yakni menentukan fitur-fitur yang harus tersedia dalam sistem, seperti monitoring siswa, peringatan dini, dan tampilan data pemantauan. Tahap ketiga adalah perancangan sistem, meliputi penyusunan arsitektur perangkat keras, alur kerja sistem, dan rancangan aplikasi pemantauan. Tahap keempat adalah implementasi prototipe, yaitu membangun perangkat wearable dan sistem pemantauan digital. Tahap kelima adalah pengujian sistem, yang dilakukan untuk menilai fungsi, kecepatan, dan akurasi sistem. Tahap terakhir adalah evaluasi hasil, yakni menilai kesesuaian sistem dengan tujuan penelitian dan kebutuhan pengguna.

Setiap tahap dilaksanakan secara berurutan dengan jadwal dan keluaran yang jelas: tahap identifikasi masalah dan studi pustaka (1–2 bulan) melibatkan peneliti utama dan tim pustaka untuk menghasilkan ringkasan temuan dan rumusan masalah; analisis kebutuhan (1 bulan) melibatkan guru, kepala sekolah, koordinator kemahasiswaan, ahli TI, dan perwakilan siswa untuk menyusun daftar kebutuhan fungsional dan nonfungsional; perancangan sistem (1–2 bulan) memproduksi dokumen arsitektur, diagram alur, dan prototipe antarmuka; implementasi prototipe (2–3 bulan) menghasilkan perangkat wearable fungsional dan backend sistem yang dapat diuji; pengujian sistem (1 bulan) meliputi uji fungsional, uji kinerja, dan uji keandalan dengan pengumpulan data pengujian; evaluasi hasil (1 bulan) mengolah data pengujian dan umpan balik pengguna untuk menyusun laporan akhir yang memuat rekomendasi perbaikan dan rencana pengembangan lanjutan.

2.8 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggabungkan pendekatan deskriptif kualitatif dan kuantitatif untuk memperoleh gambaran menyeluruh tentang kinerja dan kebutuhan sistem. Secara kualitatif, data dari observasi lapangan dan wawancara mendalam dengan guru, petugas keamanan, orang tua, dan siswa dianalisis menggunakan teknik coding tematik untuk mengidentifikasi pola kebutuhan, hambatan operasional, serta persepsi pengguna terhadap penggunaan wearable IoT (Surya, 2026). Analisis kualitatif ini fokus pada aspek fungsional (misalnya kemudahan pemakaian, kecocokan fitur), konteks implementasi (misalnya jadwal pengawasan, tata letak sekolah), dan hambatan non-teknis (misalnya resistensi pengguna, kebijakan privasi), sehingga menghasilkan rekomendasi perbaikan fitur dan tata laksana penerapan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis *wearable* IoT

Internet of Things (IoT) didefinisikan sebagai ekosistem perangkat fisik yang dilengkapi sensor, perangkat lunak, dan kapabilitas konektivitas untuk mengumpulkan, mentransmisikan, dan memproses data secara terkoordinasi. Konsep ini memungkinkan pemantauan kontinu dan otomatisasi proses melalui orkestrasi komunikasi antar-perangkat. Arsitektur IoT yang umum dipahami meliputi lapisan sensing (perangkat dan sensor), lapisan jaringan (komunikasi), lapisan *middleware* (pemrosesan dan manajemen data), serta lapisan aplikasi/antarmuka pengguna untuk visualisasi dan interaksi (Devanly Fau, 2026).

Sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis *wearable* IoT dirancang untuk meningkatkan efektivitas pengawasan di lingkungan sekolah melalui pemantauan posisi dan kondisi dasar kesehatan siswa secara *real-time*. Untuk memperoleh kebutuhan fungsional dan nonfungsional awal, dilakukan wawancara dengan empat informan kunci: Kepala Sekolah (Responden 1), Guru (Responden 2) Koordinator Kesiswaan (Responden 3), dan Teknisi IT Sekolah (Responden 4) dan 2 Siswa Kelas 6 (Responden 5 dan 6). Semua responden menyatakan dukungan terhadap penerapan solusi berbasis *wearable* IoT dengan persyaratan utama berupa kemudahan penggunaan, keandalan konektivitas, dan perlindungan data pribadi.

Tabel 1. Hasil Penelitian

Responden	Kebutuhan Fungsional	Kebutuhan Nonfungsional / Teknis	Rekomendasi Operasional
Kepala Sekolah	Notifikasi darurat; pelacakan lokasi real-time; riwayat pergerakan siswa	Antarmuka pengelolaan insiden; penyimpanan riwayat 7 hari; akurasi lokasi 5–10 m	Pelatihan staf 2 hari; sosialisasi orang tua; uji coba pilot
Guru	Pemberitahuan lokasi dan status siswa di kelas; notifikasi segera saat perilaku/kejadian tidak biasa;	Antarmuka seluler/web responsif; akses per-kelas dan per-siswa dengan hak akses	Pelatihan penggunaan singkat (1 hari); panduan cepat di kelas; mekanisme umpan balik guru



Responden	Kebutuhan Fungsional	Kebutuhan Nonfungsional / Teknis	Rekomendasi Operasional
	kemampuan mengirimkan laporan atau catatan perilaku siswa	berbeda; latensi notifikasi ≤ 5 detik; log aktivitas untuk audit	ke tim pengembang; jadwalkan review efektivitas tiap bulan selama pilot
Koordinator Kesiswaan	Dashboard per kelas; indikator kesehatan dasar (denyut jantung, suhu); ringkasan status siswa	Tampilan ramah guru; akses per kelas; laporan periodik kepuasan (skala 1–5) Protokol ringan	Sosialisasi orang tua (pertemuan + leaflet); evaluasi kepuasan guru/orang tua
Teknisi IT Sekolah	Sinkronisasi data ke server lokal; diagnostik perangkat; log teknis	(MQTT/CoAP); enkripsi TLS; baterai ≥ 48 jam; penyimpanan lokal sementara	Pemeriksaan baterai mingguan; pembaruan firmware bulanan; pengujian gateway tiap 2 minggu
Siswa Kelas 6 (n = 2)	Rasa aman; tombol panggilan darurat yang mudah dijangkau; antarmuka sederhana jika ada tampilan; tidak mengganggu kegiatan belajar	Perangkat ringan dan nyaman; baterai ≥ 48 jam; desain estetik dan tahan banting; fungsi tidak mengganggu (mode hening/disable saat ujian)	Sosialisasi singkat penggunaan (sesi 30 menit); pengawasan penggunaan minggu pertama pilot; mekanisme disable saat ujian bila perlu

Analisis kebutuhan mengidentifikasi fitur inti yang direkomendasikan untuk *prototype wearable* IoT: modul pelacakan lokasi *real-time* dengan akurasi 5–10 meter untuk kombinasi *indoor-outdoor*, deteksi kondisi kesehatan dasar menggunakan sensor denyut jantung dan suhu tubuh sebagai indikator awal, mekanisme notifikasi darurat kepada petugas sekolah dan orang tua, serta dashboard pengelolaan yang menyediakan akses dan agregasi data per kelas hal tersebut sesuai pendapat (Sugiharto et al., 2025). Masukan dari responden memperjelas prioritas desain: Kepala sekolah menekankan urgensi notifikasi darurat dan pencatatan riwayat pergerakan untuk mendukung respons insiden; koordinator kesiswaan menyoroti kebutuhan dashboard ramah-guru yang menampilkan ringkasan status per kelas dan indikator kesehatan; teknisi IT menekankan aspek teknis seperti penggunaan protokol komunikasi ringan (misalnya MQTT/CoAP), enkripsi *end-to-end* (TLS), penyimpanan lokal sementara untuk toleransi jaringan, dan daya tahan baterai minimal 48 jam; sedangkan guru dan siswa menginginkan perangkat yang memberi rasa aman tombol panggilan darurat yang mudah dijangkau, antarmuka sederhana bila tersedia tampilan, serta mode non-mengganggu saat proses belajar.

Berdasarkan masukan enam responden, implementasi sistem berpotensi meningkatkan efektivitas pengawasan bila persyaratan fungsional dan nonfungsional dipenuhi serta kebijakan privasi dan prosedur persetujuan orang tua disusun dan disetujui. Rekomendasi lanjutan meliputi pengintegrasian tombol alarm manual pada perangkat, penyusunan prosedur persetujuan orang tua, dan analisis biaya-manafaat sebelum memperluas skala implementasi.

3.2 Fungsi pemantauan kondisi dan keberadaan siswa secara *real-time*

Fungsi pemantauan kondisi dan keberadaan siswa secara *real-time* dirancang untuk memperpendek waktu deteksi dan respons terhadap kejadian kritis di lingkungan sekolah. Sistem berbasis *wearable* IoT menyediakan aliran data kontinu mengenai posisi dan indikator kesehatan dasar siswa (misalnya denyut jantung dan suhu tubuh sebagai tanda awal stres atau kondisi medis), sehingga pihak sekolah dapat mengidentifikasi anomali lebih cepat dibandingkan pengawasan manual yang bersifat diskontinu hal tersebut sesuai dengan pendapat (Zainuddin et al., 2026). Dari sisi fungsional, mekanisme *real-time* mencakup pelacakan lokasi dengan pembaruan posisi berkala, *threshold-based alert* (misalnya denyut jantung melebihi batas aman), dan notifikasi multi-saluran ke petugas sekolah dan orang tua. Integrasi dashboard pengelolaan memungkinkan agregasi data per kelas atau per titik waktu sehingga pengawas dapat memprioritaskan tindak lanjut berdasarkan tingkat keparahan alert. Selain itu, pencatatan riwayat pergerakan dan log kejadian memungkinkan analisis retrospektif untuk memperbaiki prosedur pengawasan, merancang jalur evakuasi yang lebih baik, dan melakukan audit insiden hal tersebut sesuai dengan pendapat (Fikri et al., 2026).

Secara teknis, keandalan fungsi *real-time* bergantung pada beberapa parameter nonfungsional: kualitas sinyal jaringan (cakupan gateway dan redundansi), latensi komunikasi, akurasi penentuan posisi (target 5–10 meter untuk lingkungan *indoor-outdoor* campuran), serta kontinuitas daya perangkat (baterai ≥ 48 jam). Penyimpanan lokal sementara pada perangkat dan sinkronisasi berkala dengan server lokal dapat mengurangi kehilangan data saat konektivitas terganggu. Di samping itu, aspek privasi dan keamanan data termasuk enkripsi *end-to-end*, manajemen akses berbasis peran, dan kebijakan retensi data harus diatur untuk memenuhi standar etis dan perlindungan anak. Implementasi fungsi *real-time* perlu disertai prosedur operasional yang jelas, meliputi definisi level alert dan alur respons, jadwal pengecekan perangkat, serta pelatihan untuk petugas yang menerima notifikasi agar tidak terjadi false alarm atau respon berlebihan hal tersebut sesuai dengan pendapat (Wicaksono et al., 2025).

a. Metode dan Penerapan Algoritma

Prototype sistem mengintegrasikan subsistem perangkat keras (*wearable*, gateway, server lokal) dan perangkat lunak (pemrosesan sinyal sensor, algoritma pelacakan posisi, modul deteksi kejadian kritis, serta antarmuka *dashboard*). Untuk pelacakan posisi digunakan pendekatan hibrida: trilaterasi berbasis RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) pada jaringan LoRa/ Wi-Fi untuk cakupan *indoor-outdoor*, lalu hasilnya disaring menggunakan Kalman filter untuk mengurangi *noise* dan menghasilkan estimasi posisi kontinu. Pada sisi kesehatan, denyut nadi



diekstraksi dari sinyal *photoplethysmography* (PPG) setelah tahapan preprocessing yang mencakup penghilangan artefak gerak sederhana dan normalisasi; pengukuran suhu tubuh distandarisasi menggunakan filter rata-rata bergerak untuk meningkatkan stabilitas pembacaan hal tersebut sesuai dengan pernyataan (Sriwahyuningsih et al., 2026). Kombinasi teknik ini memastikan data mentah dari sensor diolah menjadi parameter yang andal untuk pemantauan *real-time*.

Deteksi kejadian kritis diterapkan melalui strategi multi-lapis: aturan berbasis ambang (*threshold*) untuk respons cepat dan model klasifikasi (regresi logistik biner) yang memanfaatkan fitur temporal seperti durasi peristiwa dan frekuensi perubahan untuk meningkatkan presisi deteksi. Fitur tambahan misalnya kontekstualisasi lokasi (di kelas, di lapangan), pola pergerakan, dan korelasi antara data denyut nadi dan suhu digunakan sebagai input model untuk menurunkan tingkat alarm yang tidak relevan dan memprioritaskan notifikasi. Evaluasi model dilakukan dengan *cross-validation* dan metrik seperti precision, recall, serta AUC untuk memastikan keseimbangan antara kepekaan dan spesifisitas sebelum diterapkan pada lingkungan pilot.

b. Prosedur Eksperimen dan *Prototyping*

Perangkat *wearable* dikembangkan dalam bentuk gelang ergonomis yang dilengkapi sensor PPG, sensor temperatur, modul komunikasi (LoRa dan ESP32-Wi-Fi), serta baterai yang dirancang untuk operasi minimal 48 jam. Infrastruktur lapangan meliputi tiga gateway yang dipasang pada titik strategis untuk menjamin cakupan jaringan di area sekolah, serta server lokal yang menangani penyimpanan terenkripsi dan penyajian data melalui dashboard. Prototipe diuji dalam skenario laboratorium awal untuk verifikasi fungsi dasar, lalu dilanjutkan ke uji coba lapangan selama tiga bulan pada satu sekolah pilot yang mencakup tiga kelas dan estimasi 150 siswa, termasuk dua siswa kelas 6 untuk evaluasi kenyamanan penggunaan. Pengumpulan data dalam pilot mengikuti frekuensi terukur: posisi diperbarui tiap 10 detik, denyut jantung di-sampling 1 Hz, suhu tubuh setiap 1 menit, dan catatan intervensi manual dicatat dengan timestamp. Parameter evaluasi mencakup akurasi posisi terhadap ground truth, latensi dari deteksi hingga pengiriman notifikasi, ketersediaan perangkat (*uptime*), serta tingkat *false positive* dan *false negative* pada deteksi kejadian kritis. Hal ini sesuai dengan pendapat (W. Hutagaol et al., 2026) yang menyatakan selain pengukuran teknis, evaluasi mencakup penilaian user *experience* melalui kuesioner Likert untuk guru, orang tua, dan pengawas, serta log pemeliharaan (pemeriksaan baterai mingguan, pembaruan *firmware* bulanan, pengujian gateway tiap dua minggu) untuk menilai keberlanjutan operasional selama pilot.

c. Hasil Pengujian

Analisis kuantitatif menunjukkan rata-rata error posisi sebesar 6,8 meter (SD = 2,1 m) pada kondisi gabungan *indoor-outdoor*, sehingga memenuhi target akurasi 5–10 meter. Penerapan Kalman filter menurunkan variansi estimasi posisi sekitar 35% dibandingkan pembacaan RSSI mentah. Pengukuran denyut jantung dengan metode PPG menunjukkan error rata-rata ± 4 bpm terhadap alat referensi pada kondisi istirahat, dan meningkat menjadi ± 8 bpm selama aktivitas fisik intensif, mengindikasikan sensitivitas terhadap artefak gerak. Rata-rata latensi notifikasi dari terdeteksi ambang hingga pesan sampai ke dashboard adalah 2,6 detik (median 2,1 s) dalam kondisi konektivitas normal hal tersebut sesuai dengan pendapat (Dianasari, 2026). *Uptime* perangkat *wearable* rata-rata 96,2%, sedangkan performa model deteksi anomali (regresi logistik) memberikan akurasi klasifikasi 0,91, sensitivitas 0,88, dan spesifisitas 0,93 pada dataset uji yang dikonstruksi dari simulasi insiden dan aktivitas normal. Hasil akurasi posisi konsisten dengan studi terdahulu yang menerapkan RSSI-based tracking pada lingkungan serupa, dan perbaikan variansi melalui Kalman filter sejalan dengan temuan dalam literatur tentang filter prediktif. Kenaikan error PPG saat aktivitas intensif mencerminkan keterbatasan sensor PPG pada perangkat *wearable* ekonomis; beberapa studi merekomendasikan integrasi akselerometer untuk koreksi artefak gerak, yang direkomendasikan sebagai pengembangan selanjutnya hal ini sesuai dengan pendapat (Azlizam et al., 2024).

Penelitian ini memiliki keterbatasan seperti sampel uji terbatas pada satu sekolah pilot dan variabilitas aktivitas siswa yang dikontrol. Lingkungan fisik (mis. ruangan tertutup dan dinding tebal) memengaruhi akurasi posisi sehingga optimasi penempatan gateway atau penggunaan teknologi alternatif (UWB, BLE fingerprinting) perlu dipertimbangkan untuk akurasi lebih tinggi. Rekomendasi pengembangan mencakup: integrasi akselerometer untuk pengurangan artefak gerak pada sinyal PPG; evaluasi protokol komunikasi alternatif (LoRa vs Wi-Fi vs BLE) terkait konsumsi daya dan latensi; penyusunan kebijakan privasi dan retensi data; serta studi jangka panjang untuk menilai dampak keselamatan dan *total cost of ownership* (TCO).

3.3 Deteksi potensi risiko atau kondisi tidak normal pada siswa melalui perangkat wearable

Tabel 2. Hasil Pilot Sistem

Variabel	Nilai	Keterangan
Durasi pilot	3 bulan	Implementasi awal sistem wearable IoT dan dashboard monitoring
Jumlah siswa terdaftar	150 siswa	Selama masa pilot
Rata-rata interaksi dashboard	38 tampilan/hari	staf sekolah
Komposisi staf pengguna	Kepala Sekolah, Koordinator Kesiswaan, IT dan Guru_Guru	Aktif memantau dashboard

**Tabel 3.** Hasil uji TTFF GNSS dan fallback lokasi

Kondisi	Matrix	Hasil	Catatan
Outdoor terbuka	TTFF GNSS	28,4 detik	SD = 12,6 detik
Semi-terbuka	TTFF GNSS	74,1 detik	SD = 30,2 detik
Indoor tertutup	TTFF GNSS	>300 detik	Tidak mencapai fix tanpa assisted positioning
Indoor-outdoor campuran	Error posisi fallback RSSI/Wi-Fi + Kalman	6,8 m	SD = 2,1 m

Tabel 4. Keandalan SMS sebagai jalur cadangan

Kondisi Sinyal	Kekuatan Sinyal	Keberhasilan	Latensi	Catatan
Baik	≥ -95 dBm	92,3%	4,8 detik	SD = 2,7 detik
Sedang	-100 s.d. -110 dBm	78,6%	34,5 detik	Median
Lemah	< -110 dBm	41,0%	>5 menit / gagal	Tidak Stabil

Tabel 5. Dampak operasional dan persepsi pengguna

Variabel	Sebelum sistem	Selama pilot	Perubahan
Waktu respons insiden	12,4 menit	3,7 menit	Turun 70,2%
Skor kepuasan keamanan	-	4,1 / 5	Persepsi peningkatan keamanan
Skor kekhawatiran privasi	-	3,2 / 5	Perlu tindak lanjut kebijakan privasi
Jumlah responden survei	-	10 Orang	4 guru, 2 staf administrasi, 4 siswa

Tabel-tabel hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat wearable yang digunakan mampu mendukung deteksi potensi risiko atau kondisi tidak normal pada siswa secara lebih cepat dan terpusat. Hal ini terlihat dari kemampuan sistem menampilkan posisi siswa, indikator kesehatan dasar, serta status pemantauan secara *real-time* melalui dashboard, sehingga guru dan petugas kesiswaan dapat segera mengetahui apabila terdapat kondisi yang memerlukan perhatian. Pada aspek teknis, hasil uji TTFF GPS memperlihatkan bahwa perangkat dapat memperoleh lokasi dengan cukup cepat pada kondisi outdoor terbuka, yaitu rata-rata 28,4 detik, sedangkan pada area semi-terbuka meningkat menjadi 74,1 detik. Pada ruang dalam tertutup, GNSS tidak mampu memperoleh fix dalam waktu lebih dari 300 detik. Kondisi ini penting dikaitkan dengan deteksi risiko, karena ketika siswa berada di area dengan sinyal GNSS lemah, sistem masih dapat mempertahankan fungsi pemantauan melalui mekanisme fallback berbasis RSSI/Wi-Fi dengan Kalman filter, yang menghasilkan error lokasi rata-rata 6,8 meter hal tersebut sesuai dengan pendapat (Cahyanto, 2023). Pemantauan tetap berjalan meskipun akurasi GNSS menurun. Tabel keandalan SMS menunjukkan bahwa jalur komunikasi cadangan masih dapat digunakan untuk mengirim peringatan dini ketika kondisi jaringan memungkinkan, terutama pada sinyal baik dengan keberhasilan 92,3%. Namun, ketika sinyal melemah, keberhasilan pengiriman turun signifikan.

Dampak operasional, penurunan waktu respons insiden dari 12,4 menit menjadi 3,7 menit memperlihatkan bahwa sistem wearable benar-benar membantu mempercepat penanganan ketika terjadi kondisi tidak normal pada siswa. Ini memperkuat fungsi utama sistem sebagai alat deteksi dini, karena informasi yang cepat dan terpusat memungkinkan petugas segera melakukan intervensi sebelum kondisi memburuk. Tabel-tabel tersebut mendukung pernyataan bahwa perangkat *wearable* bukan hanya alat pemantauan lokasi, tetapi juga instrumen deteksi dini terhadap potensi risiko siswa. Dengan adanya monitoring *real-time*, fallback lokasi, dan mekanisme notifikasi, sistem mampu memberikan peringatan awal kepada guru, petugas kesiswaan, dan pihak sekolah yang berkepentingan. Sistem *wearable* IoT pada siswa mendukung deteksi potensi risiko atau kondisi tidak normal melalui pemantauan lokasi dan status kesehatan secara *real-time* hal tersebut sesuai dengan pendapat (Samkayana, 2025). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan pemantauan meskipun GNSS kurang andal, serta mempercepat penyampaian informasi kepada pihak sekolah. Penurunan waktu respons insiden dari 12,4 menit menjadi 3,7 menit menunjukkan bahwa sistem efektif dalam memberikan peringatan dini dan membantu intervensi lebih cepat.

3.4 Efektivitas pengawasan keamanan siswa di MI Al Azhar Kota Samarinda

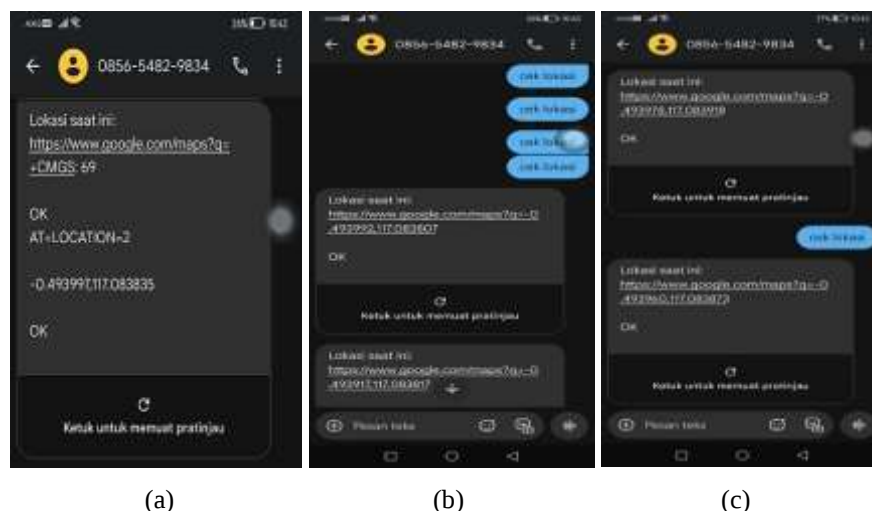
Sistem *wearable* IoT dan dashboard monitoring yang diimplementasikan di MI Al Azhar Kota Samarinda meningkatkan efektivitas pengawasan keamanan siswa melalui penyediaan informasi terpusat dan waktu-nyata yang dapat diakses oleh kepala sekolah, koordinator, dan guru hal ini sesuai dengan pendapat (Abelia Mita Baqis & Muhammad Irwan Padli Nasution, 2025). *Dashboard* menyajikan lokasi relatif siswa per kelas, indikator kesehatan dasar, serta riwayat pergerakan hingga tujuh hari, sehingga memfasilitasi prioritas pengawasan dan pengambilan keputusan berbasis data. Konsistensi adopsi operasional terukur dari rata-rata 38 tampilan *dashboard* per hari oleh tim kesiswaan mengindikasikan integrasi sistem ke dalam rutinitas pemantauan sekolah dan keterlibatan pemangku kepentingan dalam praktik pengawasan hal tersebut sesuai dengan pendapat (Shofiyullah, 2025).

Efektivitas respons insiden dapat diukur melalui sejumlah metrik, antara lain waktu deteksi (*time to detect*), waktu respons (*time to respond*), serta hasil akhir, seperti mitigasi cedera dan penyelesaian konflik. Dalam kerangka incident response pada manajemen krisis, tahapan utama meliputi identifikasi, eskalasi, mitigasi, komunikasi, dan

evaluasi pascainsiden. Kecepatan respons dan koordinasi antarpelaku merupakan faktor determinan dalam keberhasilan penanganan insiden hal tersebut sesuai dengan pendapat (mahmudi, 2026).



Gambar 5. Pengujian request lokasi pertama dengan mengirim pesan “cek lokasi” ke nomor hp yang terpasang pada alat gps



Gambar 6. Proses Pengujian: (a) Pengiriman SMS Pertama, (b) Pengiriman SMS Kedua, dan (c) Akurasi

Kemampuan penentuan posisi oleh perangkat sangat tergantung pada performa GNSS. Uji lapangan menunjukkan Time to First Fix (TTFF) rata-rata 28,4 detik (SD = 12,6 s) pada kondisi outdoor terbuka dan meningkat menjadi 74,1 detik (SD = 30,2 s) pada area semi-terbuka. Perpanjangan TTFF pada lingkungan semi-terbuka mengurangi kecepatan akuisisi lokasi awal, yang berimplikasi pada *delay* dalam deteksi insiden di ruang luar namun masih memungkinkan intervensi dalam rentang waktu operasional. Sebaliknya, pada ruang dalam tertutup GNSS tidak mencapai fix dalam waktu >300 detik tanpa assisted positioning, sehingga menurunkan utilitas GNSS untuk pelacakan lokasi di dalam gedung. Sebagai mitigasi atas keterbatasan GNSS, sistem mengintegrasikan mekanisme *fallback* berbasis RSSI/Wi-Fi yang diproses dengan Kalman filter hal tersebut sesuai dengan pendapat (Setia et al., 2026).

Metode ini menghasilkan estimasi posisi dengan error rata-rata 6,8 m (SD = 2,1 m) pada kondisi campuran *indoor-outdoor*; akurasi ini memadai untuk klasifikasi zona keberadaan (misalnya kelas, koridor, lapangan) walaupun tidak mencapai presisi koordinat metrik. Kombinasi GNSS dan metode berbasis infrastruktur lokal memastikan kontinuitas pemantauan posisi sehingga anomali pergerakan atau perpindahan ke zona terlarang tetap dapat terdeteksi secara fungsional. Uji pengiriman SMS selama pilot menunjukkan tingkat keberhasilan 92,3% pada kondisi sinyal baik (≥ -95 dBm), 78,6% pada kondisi sinyal sedang (-100 sampai -110 dBm), dan 41,0% pada kondisi sinyal lemah (< -110 dBm). Latensi pengiriman meningkat dari rata-rata 4,8 detik (SD = 2,7 s) pada sinyal baik menjadi median 34,5 detik pada sinyal sedang; pada kondisi lemah beberapa pesan tertunda >5 menit atau gagal terkirim. Temuan ini menegaskan bahwa SMS layak sebagai jalur cadangan, sementara notifikasi berbasis jaringan lokal lebih andal untuk pengiriman peringatan dengan latensi rendah.

Dampak operasional dari penerapan sistem tercermin pada penurunan waktu respons insiden: rata-rata waktu dari deteksi hingga intervensi petugas berkurang dari 12,4 menit sebelum implementasi menjadi 3,7 menit selama pilot, yang setara dengan penurunan 70,2%. Reduksi waktu respons tersebut dapat diatribusikan pada deteksi waktu-nyata (lokasi dan indikator kesehatan), pengelompokan tampilan per kelas di dashboard, serta notifikasi otomatis yang mengarahkan intervensi kepada personel yang berwenang. Selain itu, survei kepuasan pemangku kepentingan (n = 24)



melaporkan skor persepsi peningkatan keamanan sebesar 4,1 dari skala 5, yang mendukung bukti kuantitatif mengenai perbaikan ketanggapan pengawasan hal tersebut sesuai dengan pendapat (Putra et al., 2025).

3.5 Indikator Keberhasilan

Berdasarkan permasalahan yang dikaji, penelitian ini menghasilkan sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT yang dapat digunakan untuk mendukung pengawasan siswa di lingkungan sekolah secara lebih efektif. Sistem yang dikembangkan mampu memantau keberadaan dan kondisi siswa secara real-time, sehingga informasi terkait siswa dapat diperoleh dengan lebih cepat dibandingkan pengawasan manual. Selain itu, perangkat wearable yang digunakan juga mampu mendeteksi potensi risiko atau kondisi tidak normal pada siswa dan mengirimkan peringatan dini kepada pihak sekolah. Kehadiran sistem ini meningkatkan efektivitas pengawasan keamanan siswa di MI Al Azhar Kota Samarinda karena membantu guru dan petugas sekolah dalam melakukan pemantauan secara lebih terstruktur, terintegrasi, dan responsif. Dengan demikian, penelitian ini menghasilkan model pengembangan teknologi keamanan sekolah yang layak diterapkan sebagai solusi inovatif untuk mendukung budaya sekolah aman dan nyaman di lingkungan pendidikan. Keberhasilan penelitian ini dapat dilihat dari beberapa indikator berikut:

a. Indikator respons operasional

Indikator respons operasional ditetapkan sebagai ukuran utama keberhasilan intervensi, yang diukur melalui reduksi rata-rata waktu respons insiden dari waktu deteksi (log sistem/notifikasi otomatis) hingga intervensi petugas. Kriteria keberhasilan kuantitatif dapat berupa penurunan $\geq 50\%$ dibanding baseline (mis. dari 12,4 menit menjadi $\leq 6,2$ menit) atau capaian waktu respons rata-rata ≤ 4 menit selama periode evaluasi. Indikator pendukung meliputi frekuensi intervensi per minggu dan proporsi insiden yang mendapat respons dalam batas waktu target, yang memberikan gambaran komprehensif tentang efektivitas operasional

b. Indikator deteksi dan akurasi lokasi

Indikator deteksi dan akurasi lokasi menggambarkan kapabilitas sistem dalam menentukan posisi siswa dan kontinuitas pelacakan. Metrik utama meliputi *Time to First Fix* (TTFF) GNSS (rata-rata dan deviasi standar) pada kondisi lingkungan berbeda dan akurasi estimasi lokasi fallback berbasis RSSI/Wi-Fi (error rata-rata dan deviasi standar). Ambang keberhasilan teknis yang direkomendasikan misalnya TTFF *outdoor* ≤ 30 s, TTFF semi-terbuka ≤ 60 – 90 s setelah optimasi assisted-GNSS, serta akurasi fallback ≤ 7 m untuk tujuan klasifikasi zona. Selain itu, proporsi kejadian di mana posisi berhasil diresolusikan (GNSS fix atau estimasi fallback) dalam jangka waktu tertentu (mis. ≤ 60 s) menjadi indikator ketersediaan lokasi hal tersebut sesuai dengan pendapat (Manhitu et al., 2026).

c. Indikator keandalan komunikasi

Indikator keandalan komunikasi menilai efektivitas saluran notifikasi dalam menyampaikan peringatan kritis. Metrik yang digunakan mencakup persentase keberhasilan pengiriman dan distribusi latensi untuk masing-masing kanal (MQTT sebagai primer, SMS sebagai cadangan). Target operasional dapat ditetapkan, misalnya tingkat keberhasilan notifikasi primer $\geq 98\%$ dengan latensi median < 2 s, dan keberhasilan SMS cadangan $\geq 85\%$ pada kondisi sinyal baik serta $\geq 60\%$ pada kondisi sinyal sedang. Indikator tambahan meliputi proporsi notifikasi kritis yang diterima dalam ambang waktu target (misalnya ≤ 1 menit) dan frekuensi penggunaan jalur cadangan.

d. Indikator adopsi dan penggunaan

Indikator adopsi dan penggunaan oleh staf merefleksikan tingkat integrasi sistem ke dalam praktik kerja institusi. Ukuran kuantitatif meliputi rata-rata tampilan dashboard per hari per pengguna, persentase staf kesiswaan yang aktif menggunakan sistem, dan frekuensi tindakan operasional yang terlog (acknowledge, dispatch, follow-up). *Threshold* keberhasilan contoh adalah ≥ 30 tampilan/dihari oleh tim kesiswaan dan $\geq 75\%$ staf kesiswaan melaporkan penggunaan rutin pada survei internal. Indikator ini penting untuk menilai keberlanjutan perilaku pengawasan berbasis data hal ini sesuai dengan pendapat (Kusnandar & Anshary, 2022).



Gambar 7. Proses Pengujian Akurasi



3.6 Pembahasan

Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan ragam fokus pengembangan teknologi berbasis Internet of Things, baik pada bidang pembelajaran, manajemen fasilitas, sistem rekomendasi, maupun keamanan. Penelitian oleh Ismail et al. menitikberatkan pada pengembangan training kit parkir cerdas berbasis ESP32 untuk meningkatkan hasil belajar peserta didik pada praktikum mikrokontroler di SMKN 2 Lamongan, dengan hasil yang menunjukkan produk sangat valid, praktis, dan efektif. Sementara itu, karya (Budiyanti, 2021) lebih bersifat konseptual karena membahas Internet of Things sebagai buku ajar yang memberikan pemahaman dasar mengenai konsep, komponen, dan penerapan IoT.

Penelitian (Zein et al., 2024) mengembangkan sistem informasi pengelolaan gedung sekolah berbasis IoT yang diarahkan untuk meningkatkan efisiensi pengawasan dan pengelolaan fasilitas sekolah secara otomatis dan terintegrasi. Adapun penelitian (Wahyudinnur et al., 2024). memanfaatkan algoritma C5.0 untuk membangun sistem rekomendasi peminatan pada program studi Teknik Informatika, dengan tujuan membantu mahasiswa menentukan peminatan sesuai minat dan bakat, meskipun akurasi masih tergolong rendah. Di sisi lain, penelitian (Jafar, 2025) berfokus pada analisis performa Quality of Service pada perancangan surveillance camera untuk tujuan keamanan, sehingga orientasinya lebih pada pengujian kualitas jaringan dibanding pengembangan sistem keamanan personal. Berdasarkan uraian tersebut, tampak bahwa penelitian terdahulu masih dominan berfokus pada media pembelajaran, pengelolaan fasilitas, sistem rekomendasi akademik, dan pengawasan berbasis kamera. Belum banyak penelitian yang secara khusus mengembangkan sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT di lingkungan Madrasah Ibtidiyah. Dengan demikian, penelitian penulis memiliki posisi yang berbeda karena menempatkan siswa sebagai objek utama pemantauan melalui perangkat wearable yang bersifat personal, portabel, dan mampu bekerja secara real-time.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi teknologi wearable IoT untuk mendukung keamanan siswa di lingkungan sekolah dasar Islam, yang selama ini relatif jarang dikaji. Jika penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada objek pembelajaran, fasilitas sekolah, atau sistem pengawasan umum, maka penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih spesifik, responsif, dan preventif terhadap potensi risiko keamanan siswa. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa model pemantauan keamanan yang lebih relevan dengan kebutuhan lingkungan Madrasah Ibtidiyah serta menjadi alternatif solusi dalam penguatan sistem keamanan sekolah berbasis teknologi digital.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan dan pengawasan keamanan siswa berbasis wearable IoT yang dikembangkan telah mampu menjawab permasalahan utama penelitian, yaitu keterlambatan dalam mendeteksi insiden, keterbatasan pengawasan manual, serta kebutuhan akan informasi siswa yang dapat dipantau secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau lokasi dan kondisi dasar siswa secara berkelanjutan, mengirimkan notifikasi darurat kepada pihak sekolah dan orang tua, serta menampilkan riwayat pergerakan dan status siswa melalui dashboard pengelolaan dengan cukup baik. Penerapan pelacakan lokasi hibrida, mekanisme notifikasi otomatis, dan pemantauan terpusat juga membantu mempercepat proses respons petugas sekolah ketika terjadi keadaan yang memerlukan penanganan segera. Dengan demikian, sistem ini dapat dinilai layak sebagai solusi inovatif untuk mendukung keamanan siswa di lingkungan sekolah. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Jumlah responden yang masih terbatas serta cakupan uji coba yang hanya dilakukan pada satu sekolah pilot membuat hasil penelitian belum sepenuhnya dapat digeneralisasi ke berbagai karakteristik sekolah yang berbeda. Selain itu, kinerja sistem masih dipengaruhi oleh kondisi jaringan, perbedaan lingkungan indoor-outdoor, serta kenyamanan penggunaan perangkat wearable yang masih dapat disempurnakan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas jumlah sampel dan lokasi pengujian, meningkatkan akurasi pelacakan dengan dukungan teknologi yang lebih stabil, menyempurnakan desain perangkat agar lebih ergonomis, serta memperkuat aspek privasi, keamanan data, dan efisiensi daya. Pengembangan lanjutan tersebut diharapkan dapat menghasilkan sistem yang lebih andal, aman, dan siap diterapkan dalam skala yang lebih luas.

REFERENCES

- Abelia Mita Baqis, & Muhammad Irwan Padli Nasution. (2025). Pentingnya Perlindungan Dan Keamanan Data Privasi Di Era Digital. *Jurnal Manajemen Dan Pendidikan Agama Islam*, 3(3), 396–404. <https://doi.org/10.61132/Jmpai.V3i3.1150>
- Afifah, S., Marizka, D., Pristiani, A. P., Safera, A., Arum, S., Fatimah, D., Maharani, N. A., & Widagdo, A. (2026). Integrasi Internet Of Things (Iot) Dan Big Data Dalam Kehidupan Keseharian: Transformasi Pola Aktivitas Manusia Di Era Digital. *Jurnal Ilmiah Penelitian Mahasiswa (Jipm)*, 4(2), 263–274. <https://doi.org/10.61722/Jipm.V4i2.2267>
- Ari Sugiharto, Rodhiyah Mardhiyyah, & Al Musa Karim. (2025). Pendampingan Sosial Dan Implementasi Teknologi Ar-Iot Dalam Penguatan Pendidikan Smk Smart Al Muhsin. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 4(3), 14593–14601. <https://doi.org/10.31004/Jerkin.V4i3.3902>



- Arif Paulus W. Hutagaol, Nicolaus Fidal Diaz Manurung, Wendy Panglima Sikop Pasaribu, Eka Dodi Suryanto, & Dian Putra Saragi. (2026). Prototype Sistem Keamanan Rumah Berbasis Multi- Sensor Dan Notifikasi Sms Menggunakan Esp32. *Kampus Akademik Publisng Jurnal Sains Student Research (Jssr)*, 4(2), 197–210. <https://doi.org/10.61722/Jssr.V4i2.9466>
- Arpan, B., Yusup, M., & Ahmad, A. (2024). Pelatihan Pemanfaatan Teknologi (Iot) Internet Of Thing Untuk Sekolah Pintar Dan Pembelajaran Yang Lebih Baik Di Sma Negeri Ii Binjai. *Jurnal Hasil Pengabdian Masyarakat (Juribmas)*, 3(1), 56–62. <https://ejurnal.lkparyaprima.id/index.php/Juribmas>
- Asri Samsiar Ilmananda, Joshua Aldora Lian Djuk, & Amadea Permana Sanusi. (2026). Implementation Of Iot-Based Smart Parking With Automated Barrier And Qr Code Validation. *Jite (Journal Of Informatics And Telecommunication Engineering)*, 9(2), 506–516. <https://doi.org/10.31289/Jite.V9i2.16557>
- Cahyadi Maseri, A. (2025). Pemanfaatan Teknologi Iot Untuk Mendukung Pembelajaran Interaktif Dan Pengelolaan Sarana Prasarana Di Lembaga Pendidikan Islam. *Sibatik Journal | Volume*, 4(6), 899–918. <https://doi.org/10.54443/Sibatik.V4i6.2832>
- Cahyanto, I. (2023). Privacy Challenges In Using Wearable Technology In Education Literature Review. *Formosa Journal Of Applied Sciences*, 2(6), 909–928. <https://doi.org/10.55927/Fjas.V2i6.4272>
- Devanly Fau. (2026). Rancang Bangun Smart Door Lock: Sistem Keamanan Pintu Berbasis Iot Dengan Autentikasi Sidik Jari. *Jurnal Dunia Pendidikan*, 7(1), 224–234. <https://doi.org/10.55081/Jurdip.V7i1.5674>
- Dianasari, D. I. (2026). Eksplorasi Sistem Informasi Manajemen Yang Mengintegrasikan Teknologi Wearable. *Jurnal Simasi : Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 6(1), 15–45. <https://doi.org/10.46306/Sm.V6i1>
- Fauzan Prasetyo Eka Putra, Debri Eko Arissandi, Achmad Rofiqi, & Moh Firman Hidayat. (2025). Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah. *Jurnal Informatika Dan Tekonologi Komputer (Jitek)*, 5(1), 93–101. <https://doi.org/10.55606/Jitek.V5i1.5938>
- Fery, M., Muzaki, A., Prasetya, S. P., Suprijono, A., & Prastiyono, H. (2026). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Iot (Internet Of Things) Melalui Google Sites Untuk Meningkatkan Literasi Digital Siswa Kelas Viii Smpn 23 Surabaya. *Dialektika Pendidikan Ips*, 6(1), 102–113. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/penips/index>
- Fikri, A., Noer, I., Sa'adatul Karimah, N., Al Hamdany, M. M., Mala, N., Faizah, I., Mubarak, K. R., & Hakim, L. (2026). Efektivitas Presensi Real-Time Berbasis Skul.Id Di Smk Unggulan Nu. *Al-Zayn : Jurnal Ilmu Sosial & Hukum*, 4, 3026–2925. <https://doi.org/10.61104/Alz.V4i1.3250>
- Hakim, A. S., Mustaqim, P. J., & Atha Naufal. (2025). Peran Pendidikan Digital Dalam Melindungi Privasi Pengguna Dan Mencegah Dampak Sosial. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 4(2), 162–174. <https://doi.org/10.51903/K9cvkc90>
- Jafar, N. A. (2025). Analisis Performa Quality Of Service (Qos) Pada Perancangan Surveillance Camera Untuk Tujuan Kemanan. *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 13(1), 68–78. <https://doi.org/10.34010/Telekontran.V13i1.15444>
- Julia Utama, R., Rizal Fachri, M., & Jannah, M. (2025). Intergrasi Iot Dan Machine Learning Untuk Sekolah Pintar (Smart School). *Seumike*, 1(1), 1–8.
- Juliansyah, A., & Ratnasari, A. (2026). Pengembangan Aplikasi Event Management Multi-Platform Dengan Sistem Rekomendasi Berbasis Rule-Based Hybrid Filtering. *Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*, 10(1), 13–26. <https://doi.org/10.47080/Saintek.V10i1.4514>
- Khoirothun, Z., Ferdian, N., Mahmud, M., & 3s, W. (2026). Sistem Pemantauan Dan Pengontrol Lampu Otomatis Berbasis Internet Of Things Dengan Integrasi Kamera Cctv. *Ikraith-Informatika*, 10(2), 549–554. <https://doi.org/10.37817/Ikraith-Informatika.V10i2>
- Kusnandar, K., & Anshary, M. R. (2022). Rancang Bangun Aplikasi Untuk Menghitung Indikator Kepuasan Pengunjung Berbasis Java Di Dinas Perpustakaan Dan Kearsipan Kabupaten Berau. *Sebatik*, 26(2), 798–806. <https://doi.org/10.46984/Sebatik.V26i2.1442>
- Mahmudi, D. (2026). Integrasi (Iot) Dan Edge Computing Untuk Pemrosesan Data Real Time: Studi Sistematis Mengenai Tantangan Dan Solusi. *Karapan Network Journal*, 02(03). <https://doi.org/10.20473/Knj.X.X.Pp-Pp>
- Manhitu, V. M. G., Kelen, Y. P. K., & Manek, P. G. (2026). Penerapan Metode Rapid Application Development (Rad) Dalam Pengembangan Sistem Cerdas Monitoring Kehadiran Guru Dan Siswa Menggunakan Aplikasi Telegram Berbasis Web (Studi Kasus: Sma Negeri Noemuti). *Jurnal Informatika Dan Sistem Informasi*, 12(1), 30–42. <https://doi.org/10.37715/Juisi.V12i1.6123>
- Muhammad Hamdan Attamimi, & Nur Khafidhoh. (2026). Implementasi Real-Time Monitoring Pada Pembelajaran Digital Di Madrasah Aliyah Swasta. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 14(1). <https://doi.org/10.23960/Jitet.V14i1.8892>
- Muhammad, P., Penerbit, Z., Zaini, M., Saputra, N., Penerbit, Y., Lawang, K. A., & Susilo, A. (2023). *Metodologi Penelitian Kualitatif* (Nanda Saputra, Ed.). Yayasan Penerbit Muhammad Zaini. <https://www.researchgate.net/publication/370561417>
- Mushaffa Asadilah, I. A., & Luthfi, A. (2026). Pengembangan Antarmuka Aplikasi S2p-Mobile K3 Berbasis Ionic Framework Pada Fitur Login, Panic Button, Dan Notifikasi. *Technologia : Jurnal Ilmiah*, 17(1), 217. <https://doi.org/10.31602/Tji.V17i1.21449>



- Nasution, J. N., Putri, A. E., Lubis, Y., Siagian, R. T., & Umar, A. T. (2024). Membangun Pendidikan 4.0: Peran Vital Teknologi Dalam Meningkatkan Kualitas Pembelajaran. *Nusra : Jurnal Penelitian Dan Ilmu Pendidikan*, 5(3), 985–997. <https://doi.org/10.55681/Nusra.V5i3.2936>
- Raihan Aliff Wahyudinnur, Eka Arriyanti, & Wahyuni. (2024). Sistem Rekomendasi Peminatan Pada Prodi Teknik Informatika Stmik Widya Cipta Dharma Menggunakan Algoritma C5.0. *Sebatik*, 28(2), 1–9. <https://doi.org/10.46984/Sebatik.V28i2.0000>
- Rani Tiyas Budiyaniti. (2021). Internet Of Things. In Cv Asta Karya Kreatifa Media (Ed.), *Buku Ajar* (1st Ed., Vol. 1). Cv Asta Karya Kreatifa Media. https://repository.umitra.ac.id/id/eprint/1783/1/Buku_Ajar_Internet_Of_Things.Pdf
- Rizqi Samkayana, I. N. W. R. S. (2025). Implementasi Firebase Realtime Database Pada Smart Cat Feeder Berbasis Mikrokontroler Esp32. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3), 1210–1218. <https://doi.org/10.23960/Jitet.V13i3.7198>
- Said Zainuddin, M., Qasash Hasyim, M., Jasmani Kesehatan Dan Rekreasi, P., & Negeri Makassar, U. (2026). Penggunaan Wearable Technology Untuk Memantau Aktivitas Fisik Dan Meningkatkan Self-Regulated Learning Mahasiswa Pjkr. In *Jurnal Ilmiah Spirit* (Vol. 26, Number 2).
- Setia, A., Ariyanto, S., Triwibowo, D. N., Ashari, I. A., Cipta, R., & Haryono, S. (2026). Implementasi Dan Evaluasi Kinerja Sistem Iot Multi-Sensor Berbasis Esp32 Untuk Pemantauan Dan Peringatan Dini Lingkungan Secara Real-Time. *Jesai : Journal Scientific And Applied Informatics*, 09(1), 118–125. <https://doi.org/10.36085>
- Shelty D.M Sumual, Ade Fira Pratiwi Mokodompit, Prisilia Debora Mangkang, & Mertika Mumu. (2025). Keamanan Dan Privasi: Mengembangkan Kebijakan Dalam Manajemen Teknologi Informasi Dan Komunikasi. *Edutik: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 5(6). <https://calamus.id/index.php/edutik/article/view/238/220>
- Shofiyullah, R. M. A. H. (2025). Sistem Pengawasan Keamanan Otomatis Dengan Sound Sensor Untuk Mencegah Bullying. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, 14(2), 141–148. <https://doi.org/10.34010/Komputika.V14i2.13932>
- Sihombing, W. W., Aryadita, H., & Rusdianto³, D. S. (2019). Perancangan Dashboard Untuk Monitoring Dan Evaluasi (Studi Kasus : Filkom Ub). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 3(1), 434–441. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Sriwahyuningsih, Rizal, M., & Itasari, M. (2026). Science Household Electricity Waste Detection Model Based On Autoencoder Algorithm With Internet Of Things. *Malcom: Indonesian Journal Of Machine Learning And Computer Science*, 6(1), 178–185. <https://doi.org/10.57152/Malcom.V6i1.2338>
- Syazlin Izzati Mohd Azlizam, Mohamed, S., Arzwin Mohamed Aris, N., Omar, R., Sarpin, N. (2024). Kajian Kepentingan Penerapan Teknologi Wearables Dalam Meningkatkan Tahap Keselamatan Di Tapak Bina Di Negeri Johor. *Research In Management Of Technology And Business*, 5(1), 1654–1668. <https://doi.org/10.30880/Rmtb.2024.05.01.110>
- Wicaksono, A. W., Wijayanti, E., & Chamid, A. A. (2025). Implementasi Sistem Berbasis Android Untuk Monitoring Perkembangan Siswa Sekolah Dasar. *Bit-Tech*, 7(3), 732–741. <https://doi.org/10.32877/Bt.V7i3.2014>
- Winanda Surya. (2026). Pengawasan Berbasis Data: Pendekatan Baru Pengendalian Risiko Dalam Manajemen Pendidikan. *Jurnal Medika Akademik*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.62281>
- Zein, A., Sita Eriana, E., & Farizy, S. (2024). Sistem Informasi Pengelolaan Gedung Sekolah Menggunakan Internet Of Things. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 110–115. <https://doi.org/10.56457/Dinamika.V2i2.665s>