

Sistem Alarm Deteksi Gerak Berbasis IoT Menggunakan Sensor PIR dan ESP32 dengan Notifikasi Telegram Real-Time

Suherman^{1*}, Hermansyah², Junusdad Syahpita³

^{1,2,3} Fakultas Sains Komputasi dan Kecerdasan Digital, Teknologi Informasi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}suherman@dosen.pancabudi.ac.id, ²hermansyah@pancabudi.ac.id, ³junusdadsyahpita@gmail.com

(* Email Corresponding Author: suherman@dosen.pancabudi.ac.id)

Received: 25 November 2025 | Revision: 26 November 2025 | Accepted: 26 November 2025

Abstrak

Isu terkait Meningkatnya risiko tindak pidana di bisnis ritel kecil, terutama toko perhiasan, menggarisbawahi perlunya sistem keamanan yang mampu memberikan peringatan dini. Sistem pasif konvensional seperti Televisi Sirkuit Tertutup (CCTV) belum memiliki kemampuan notifikasi waktu nyata (real-time), sehingga menyoroti urgensi solusi pemantauan digital yang lebih responsif. Studi ini mengusulkan perancangan dan pengembangan sistem keamanan peringatan dini berbasis sensor gerak Inframerah Pasif (PIR) yang terintegrasi dengan peringatan otomatis melalui Bot Telegram. Pendekatan kualitatif deskriptif diadopsi untuk membangun prototipe menggunakan sensor PIR HC-SR501, mikrokontroler ESP32, modul relai, dan buzzer. Integrasi API Telegram diimplementasikan melalui Arduino IDE. Performa sistem dievaluasi melalui uji fungsionalitas perangkat keras, validasi perangkat lunak, dan pengukuran waktu respons pada jarak 1–3 meter dalam kondisi dunia nyata. Sistem ini menunjukkan deteksi gerakan yang andal dalam jarak 0–3 meter, aktivasi alarm otomatis, dan notifikasi Telegram waktu nyata dengan latensi minimal. Waktu respons rata-rata adalah 3,08 detik (1 m), 3,21 detik (2 m), dan 3,64 detik (3 m), menunjukkan kinerja operasional yang stabil dan sesuai untuk aplikasi peringatan dini. Para pemilik toko melaporkan peningkatan persepsi keamanan setelah implementasi. Penelitian ini memberikan dasar untuk peningkatan di masa mendatang, termasuk integrasi modul ESP-CAM untuk verifikasi visual secara real-time.

Kata Kunci: Sistem Keamanan, Sensor PIR, ESP32, Notifikasi Telegram, Pencegahan Kejahatan Ritel.

Abstract

The increasing risk of criminal incidents in small retail businesses, particularly jewelry stores, underscores the need for security systems capable of providing early warnings. Conventional passive systems such as Closed-Circuit Television (CCTV) lack real-time notification capabilities, highlighting the urgency for more responsive digital monitoring solutions. This study proposes the design and development of an early-warning security system based on a Passive Infrared (PIR) motion sensor integrated with automated alerts through a Telegram Bot. A Descriptive qualitative research approach was adopted to construct a prototype using the HC-SR501 PIR sensor, ESP32 microcontroller, relay module, and buzzer. Telegram API integration was implemented through the Arduino IDE. System performance was evaluated through hardware functionality tests, software validation, and response-time measurements at distances of 1–3 meters under real-world conditions. The system demonstrated reliable motion detection within a 0–3 meter range, automatic alarm activation, and real-time Telegram notifications with minimal latency. The average response times were 3.08 seconds (1 m), 3.21 seconds (2 m), and 3.64 seconds (3 m), indicating stable operational performance suitable for early-warning applications. Store owners reported improved security perception following implementation. This research provides a foundation for future enhancements, including the integration of ESP-CAM modules for real-time visual verification.

Keywords: Security System, PIR Sensor, ESP32, Telegram Notification, Retail Crime Prevention.

1. PENDAHULUAN

Pada konteks peningkatan keamanan toko perhiasan, penerapan sensor deteksi gerakan memainkan peran penting dalam mengidentifikasi dan memitigasi potensi insiden pencurian [1]. Dengan kemajuan seperti sensor Inframerah Pasif (PIR) dan solusi Internet of Things (IoT), kemampuan untuk memantau dan merespons perilaku mencurigakan telah meningkat secara signifikan. Jenis sensor dalam kerangka kerja keamanan yang kohesif. Studi tentang fusi sensor mengungkapkan bahwa menggabungkan data dari berbagai sumber—seperti sensor kapasitif dan optik—dapat menghasilkan kemampuan deteksi yang jauh lebih baik [2],[3]. Penelitian yang dilakukan oleh Okokpujie dkk. mendeskripsikan sistem pengawasan berbasis IoT baru yang mengintegrasikan sensor PIR untuk deteksi gerakan, memfasilitasi peringatan waktu nyata dan kemampuan pemantauan jarak jauh melalui notifikasi SMS [4], [5]. Hal ini sejalan dengan temuan Hadiyanto dkk., yang menekankan pentingnya pemantauan data historis menggunakan sensor PIR yang dikombinasikan dengan kamera pengawas, sehingga mencapai tingkat keberhasilan yang signifikan dalam deteksi penyusup [6]. Teknologi deteksi gerakan ini memungkinkan pemilik toko untuk bereaksi cepat terhadap potensi ancaman, sehingga secara signifikan meningkatkan langkah-langkah keamanan mereka terhadap pencurian. Integrasi sistem pengawasan cerdas, sebagaimana dikaji oleh Saleem dkk., menggarisbawahi perkembangan lanskap teknologi keamanan di lingkungan ritel. Studi terdahulu menyoroti efektivitas analisis video canggih yang dipadukan dengan algoritma deteksi gerakan dalam mencegah pencurian dan memastikan keamanan di lingkungan ritel [7]. Hal ini mencerminkan tren yang lebih luas di mana pengawasan, yang melibatkan penilaian aktivitas pelanggan melalui penginderaan gerak dan analitik video, terbukti mampu mencegah perilaku kriminal seperti mengutil di toko perhiasan.

Selain kemajuan teknis ini, wawasan perilaku memainkan peran krusial dalam memahami tindakan pelanggaran dan pelaku kejahatan di ruang ritel. Su dkk. memberikan kajian komprehensif tentang dinamika keamanan [8] ritel, menyoroti bagaimana teknologi penginderaan gerak dapat dimanfaatkan secara efektif untuk mengidentifikasi titik lemah dalam keamanan toko [9]. Penelitian ini menggarisbawahi perlunya peritel, terutama yang bergerak di sektor bernilai tinggi seperti perhiasan, untuk mengambil sikap proaktif dengan menggunakan sistem deteksi gerak canggih di samping strategi pencegahan kejahatan tradisional. Sistem ini dapat membedakan perilaku normal dan anomali, menyesuaikan respons untuk meminimalkan alarm palsu dan meningkatkan akurasi deteksi ancaman. Potensi sistem deteksi gerakan cerdas untuk belajar dari lingkungannya dibuktikan dalam karya Nteziyimanikora dan Enan, yang membahas sistem yang mampu membedakan aktivitas normal dan mencurigakan secara real-time [10]. Kemampuan ini penting untuk mencegah pencurian di toko perhiasan, yang risikonya tinggi karena inventaris yang mahal. Namun, implementasinya dalam pengaturan keamanan komersial masih sporadis dan membutuhkan penyelidikan lebih lanjut [11], [12]. Penerapan sensor deteksi gerakan, yang terintegrasi dengan fungsionalitas IoT dan kemampuan analitis inovatif, serta integrasi dengan kamera tradisional telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan akurasi deteksi gerakan, terutama dalam berbagai kondisi pencahayaan [3], [13], menjadi landasan dalam mengamankan toko perhiasan dari pencurian. Pendekatan multidimensi ini menggabungkan ketelitian teknologi dengan pemahaman mendalam tentang pola perilaku di ritel, memperkuat kerangka kerja keamanan bisnis secara keseluruhan dalam segmen yang rentan ini.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Jenis Penelitian

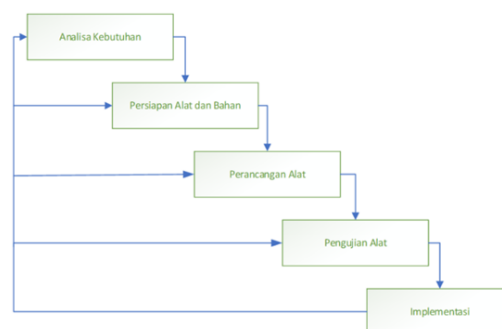
Jenis dan Lokasi Penelitian. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi kasus. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di Toko perhiasan serta wawancara dengan pemilik toko. Penggunaan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi kasus dalam meneliti perilaku sensor deteksi gerakan, khususnya dalam konteks keamanan toko perhiasan, didasarkan pada beberapa rasional ilmiah yang berkaitan dengan eksplorasi fenomena kompleks, nuansa kontekstual perilaku manusia, dan kepraktisan tantangan keamanan yang dihadapi di lingkungan dunia nyata. Sebagaimana dicatat oleh Kissoon, eksplorasi kualitatif imersif dapat secara signifikan meningkatkan proses pengambilan keputusan dalam konteks organisasi [14]. Selain itu, metode kualitatif memungkinkan peneliti untuk mempelajari fenomena dalam latar alaminya, menghasilkan data kontekstual yang kaya yang mencerminkan kompleksitas dunia nyata [15]. Studi kasus mencakup pengumpulan beragam data melalui wawancara, kuesioner, dan metode observasi, yang penting untuk memahami tantangan dan manfaat yang terkait dengan sistem deteksi gerakan [16]. Kompleksitas ini memerlukan pendekatan kualitatif untuk sepenuhnya menangkap nuansa interaksi pelanggan dan karyawan dengan teknologi keamanan [17].

2.2. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama: observasi langsung, studi literatur, dan pengujian eksperimental. Observasi digunakan untuk mengidentifikasi kondisi keamanan dan pola aktivitas di Toko perhiasan, termasuk titik rawan, kebutuhan pemilik, serta keterbatasan sistem keamanan yang telah digunakan sebelumnya. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teoretis terkait penggunaan sensor PIR, ESP32, sistem alarm berbasis IoT, dan integrasi Bot Telegram. Data tambahan diperoleh dari spesifikasi teknis perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan sistem. Sementara itu, pengujian eksperimental dilakukan untuk mengukur performa sensor, waktu respons sistem, kestabilan komunikasi Telegram, serta reliabilitas perangkat dalam lingkungan nyata. Ketiga metode ini saling melengkapi sehingga menghasilkan gambaran komprehensif mengenai kelayakan dan efektivitas prototipe yang dikembangkan.

2.3. Prosedur Pengembangan

Inti dari efektivitas metode Wertfall adalah penerapannya dalam integrasi sensor, yang menyederhanakan pelacakan individu dan objek dalam area yang dipantau [18].



Gambar 1. Tahap Prosedur Pengembangan

2.3.1. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan merupakan fondasi penting dalam perancangan sistem keamanan berbasis IoT, karena memastikan bahwa perangkat dan fungsi yang dikembangkan benar-benar relevan dengan konteks operasional di lapangan [19]. Pada penelitian ini, kebutuhan sistem dibagi menjadi kebutuhan fungsional, kebutuhan nonfungsional, serta kebutuhan teknis. Kebutuhan fungsional meliputi kemampuan mendeteksi gerakan secara akurat menggunakan sensor PIR HC-SR501, mengaktifkan alarm melalui buzzer dan modul relay, serta mengirimkan notifikasi real-time kepada pemilik toko melalui Bot Telegram. Fitur-fitur tersebut dirumuskan berdasarkan kondisi keamanan Toko Perhiasan yang membutuhkan sistem peringatan dini yang dapat bekerja tanpa pengawasan langsung. Kebutuhan nonfungsional difokuskan pada aspek keandalan, stabilitas jaringan, kemudahan instalasi, efisiensi energi, dan keamanan data. Karena sistem bekerja secara terus-menerus, perangkat harus mampu mempertahankan performa deteksi tanpa overheating dan tetap responsif meskipun terjadi variasi kondisi lingkungan. Sementara itu, aspek keamanan data menjadi pertimbangan tambahan mengingat penggunaan jaringan Wi-Fi dan layanan pihak ketiga seperti Telegram. Kebutuhan teknis mencakup pemilihan komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang sesuai. Sensor PIR dipilih karena sensitivitasnya terhadap perubahan radiasi inframerah dan biaya yang relatif rendah. Mikrokontroler ESP32 dipilih karena memiliki prosesor yang cepat, modul Wi-Fi bawaan, dan kompatibilitas tinggi terhadap pengembangan aplikasi IoT. Pada sisi perangkat lunak, Arduino IDE dan API Telegram menjadi elemen utama dalam implementasi komunikasi antarkomponen. Hasil analisis kebutuhan ini memastikan bahwa sistem yang dikembangkan bersifat terukur, efisien, serta mampu menyediakan solusi keamanan yang adaptif untuk lingkungan ritel skala kecil.

2.3.2. Persiapan

Tahap persiapan dilakukan dengan menyiapkan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan. Perangkat keras meliputi sensor PIR, mikrokontroler ESP32, modul relay, buzzer, kabel penghubung, dan catu daya. Perangkat lunak yang disiapkan mencakup Arduino IDE, library tambahan untuk komunikasi API Telegram, serta konfigurasi jaringan Wi-Fi untuk ESP32. Selain itu, peneliti menyiapkan akun Telegram dan membuat Bot menggunakan BotFather, yang kemudian menghasilkan token API sebagai identitas unik untuk integrasi sistem. Pada tahap ini dilakukan pula pengecekan kelayakan komponen, pengujian awal (pre-test) sensor, serta penyiapan skema rangkaian. Persiapan yang matang memastikan seluruh proses perancangan dan pengembangan dapat berjalan dengan baik, minim kesalahan, dan sesuai dengan parameter penelitian.



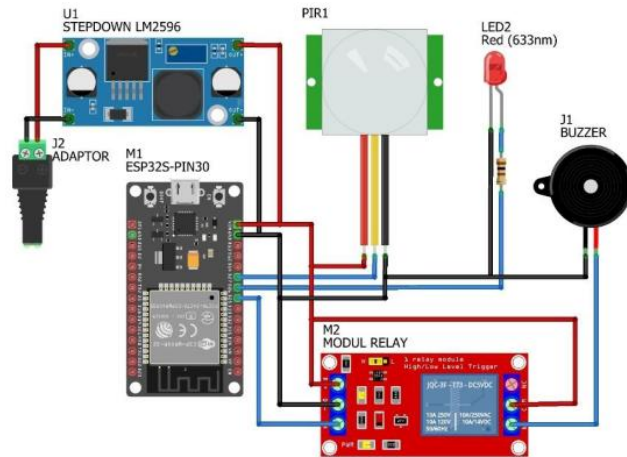
Gambar 2. ESP 32 WROOM

Perangkat yang ditunjukkan pada gambar merupakan ESP32 Development Board, sebuah mikrokontroler generasi lanjut yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT) [20][21] karena memiliki kemampuan komputasi yang tinggi [22], konektivitas jaringan terintegrasi, serta konsumsi daya yang efisien. ESP32 dilengkapi dengan dual-core Tensilica LX6 processor yang mampu beroperasi hingga 240 MHz, memungkinkan sistem menjalankan proses deteksi, logika alarm, dan komunikasi jaringan secara simultan tanpa mengalami penurunan performa. ESP32 memiliki modul Wi-Fi 802.11 b/g/n dan Bluetooth/BLE yang terintegrasi langsung pada chip, sehingga tidak memerlukan modul tambahan untuk komunikasi nirkabel. Keberadaan Wi-Fi built-in inilah yang memungkinkan ESP32 melakukan pengiriman notifikasi real-time ke Bot Telegram melalui protokol HTTP/API. ESP32 juga dilengkapi sejumlah GPIO (General Purpose Input/Output) yang digunakan untuk menghubungkan sensor PIR HC-SR501, relay, dan buzzer dalam sistem Anda. Port GPIO ini mendukung mode input dan output digital, serta beberapa fitur lanjutan seperti PWM dan ADC. Dalam konteks penelitian alarm keamanan, ESP32 berperan sebagai otak sistem (central processing unit): menerima sinyal deteksi gerakan dari PIR, mengeksekusi logika aktivasi relay dan alarm, serta mengirimkan pesan notifikasi secara instan.

2.3.3. Perancangan Sistem

Perancangan alat dilakukan melalui dua langkah utama: perancangan perangkat keras (hardware design) dan perancangan perangkat lunak (software design). Pada perancangan perangkat keras, komponen sensor PIR dihubungkan dengan ESP32 sebagai pusat pemrosesan, kemudian ESP32 dihubungkan dengan modul relay dan buzzer sebagai aktuator alarm. Rangkaian disusun menggunakan diagram skematik untuk memastikan integrasi berjalan stabil. Pada sisi

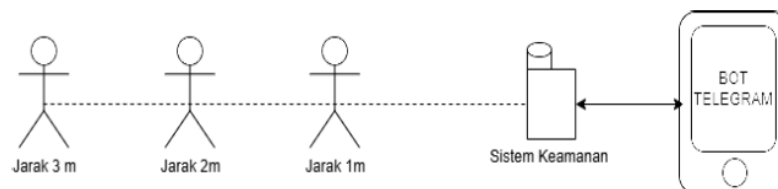
perangkat lunak, program dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C/C++. Kode mencakup konfigurasi sensor, logika pemacu alarm, dan fungsi pengiriman notifikasi melalui API Telegram menggunakan protokol HTTP. Sistem dirancang agar mampu bekerja secara otomatis, stabil, dan responsif ketika mendeteksi gerakan. Perancangan dilakukan iteratif untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai kebutuhan.



Gambar 3. Block Sensor Keamanan

2.3.4. Pengujian

Tahap pengujian bertujuan menilai performa dan reliabilitas sistem dalam kondisi nyata. Pengujian dilakukan melalui functional testing untuk memastikan bahwa sensor PIR dapat mendeteksi gerakan pada jarak 1–3 meter dengan sensitivitas yang stabil. Selain itu, response-time testing dilakukan untuk mengukur kecepatan sistem dalam mengirimkan notifikasi ke Telegram setelah sensor mendeteksi gerakan. Pengujian jaringan dilakukan untuk menilai kestabilan koneksi ESP32 terhadap Wi-Fi. Seluruh hasil pengujian dicatat secara sistematis untuk dianalisis dan dibandingkan dengan kriteria kebutuhan yang telah dirumuskan. Tahap ini juga digunakan untuk mengidentifikasi potensi kesalahan, melakukan kalibrasi sensor, dan memperbaiki kode program agar sistem bekerja optimal. Pengujian dilakukan berulang untuk memastikan keandalan sistem sebelum diimplementasikan pada lokasi sebenarnya.



Gambar 4. Perencanaan Pengujian Alat

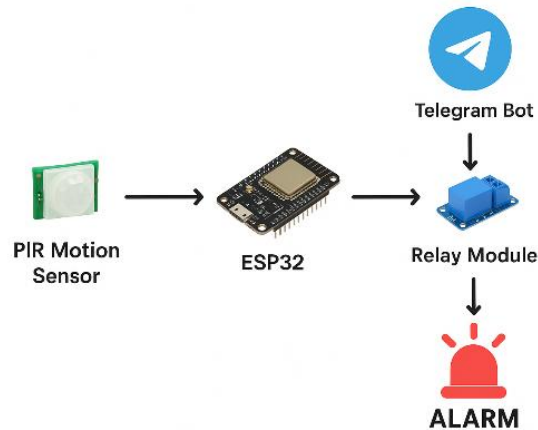
2.3.5. Implementasi

Implementasi dilakukan dengan memasang sistem di lingkungan nyata, yaitu di area Toko Perhiasan, untuk menilai kelayakan operasional prototipe. Instalasi mencakup penempatan sensor pada titik strategis, penyambungan perangkat ke sumber daya listrik, serta konfigurasi koneksi Wi-Fi toko. Selama implementasi, dilakukan pemantauan terhadap respons sistem dalam kondisi sehari-hari, termasuk pergerakan pelanggan, karyawan, dan aktivitas normal toko. Notifikasi yang dikirimkan Telegram dicatat untuk menilai akurasi sistem dalam membedakan gerakan relevan dan gangguan lingkungan. Pemilik toko turut dimintai tanggapan mengenai kenyamanan penggunaan dan persepsi keamanan setelah sistem diterapkan. Implementasi ini memberikan gambaran nyata tentang efektivitas sistem dan menjadi dasar evaluasi untuk pengembangan lanjutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Sistem.

Arsitektur ini menunjukkan alur kerja sistem yang sederhana namun efektif, mengombinasikan sensor cerdas, mikrokontroler berkemampuan jaringan, dan layanan pesan instan untuk menghasilkan solusi keamanan modern dan responsif. Struktur sistem ini juga mendukung skalabilitas, sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan integrasi kamera, sensor tambahan, atau penyimpanan cloud.



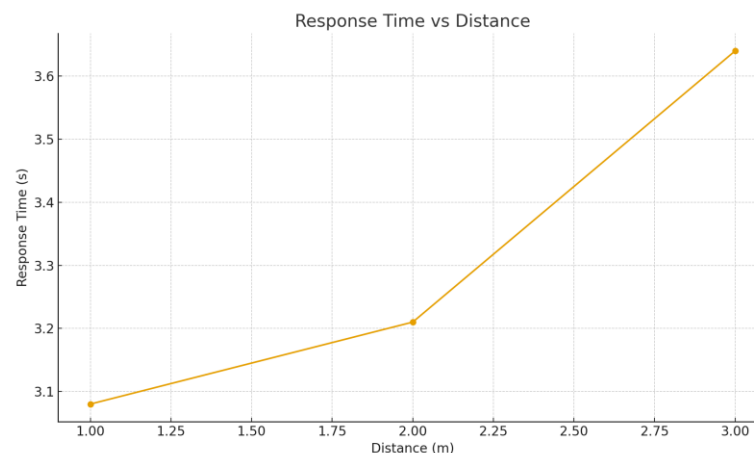
Gambar 5. Arsitektur Sistem Keamanan

Pengujian sistem dilakukan untuk menilai kinerja sensor PIR, kecepatan respons sistem alarm, serta stabilitas pengiriman notifikasi melalui Bot Telegram. Pengujian difokuskan pada tiga parameter utama: (1) jarak deteksi sensor, (2) waktu respons antara deteksi gerakan hingga alarm aktif dan notifikasi terkirim, serta (3) reliabilitas jaringan Wi-Fi dalam kondisi operasional toko. Pengujian dilakukan pada tiga variasi jarak: 1 meter, 2 meter, dan 3 meter, sesuai dengan jangkauan efektif sensor PIR HC-SR501. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi gerakan secara konsisten pada ketiga jarak tersebut tanpa kehilangan sinyal. Sistem alarm juga aktif secara otomatis, dan notifikasi Telegram diterima oleh pengguna dalam rentang waktu yang stabil. Tabel berikut merangkum hasil uji waktu respons:

Tabel 1. Hasil Pengujian Waktu Respons Sistem

Jarak (m)	Waktu Respons (s)
1	3.08
2	3.21
3	3.64

3.2 Analisis Grafik Waktu Respons



Gambar 6. Grafik Waktu Respon

Grafik berikut menggambarkan hubungan antara jarak deteksi dan waktu respons sistem. Grafik menunjukkan tren kenaikan waktu respons seiring bertambahnya jarak, meskipun perbedaannya tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh

proses deteksi PIR yang sedikit lebih lambat dalam menangkap perubahan radiasi inframerah pada jarak lebih jauh, serta waktu propagasi sinyal melalui jaringan Wi-Fi.

Tabel 2. Hasil Uji Delay Sistem Alarm Berbasis Sensor Pendeteksi Gerakan

Urutan Percobaan	Jarak (dalam meter)		
	1 m	2 m	3 m
	Waktu Respon (dalam detik)		
1	3,06	2,21	3,60
2	3,93	3,59	3,93
3	2,26	3,85	3,39
Jumlah	9,25	9,65	10,92
Rata-Rata	3,08	3,21	3,64

Tabel tersebut menunjukkan hasil pengujian waktu respons sistem alarm pada tiga variasi jarak deteksi, yaitu 1 meter, 2 meter, dan 3 meter. Setiap jarak diuji sebanyak tiga kali untuk memastikan konsistensi performa sensor PIR dan mikrokontroler ESP32 dalam mendeteksi gerakan serta mengirimkan peringatan melalui Bot Telegram.



Gambar 7. Implementasian Sistem Keamanan

Implementasi ini menunjukkan bahwa sistem alarm berhasil dipasang secara efektif dan operasional di lingkungan toko yang sebenarnya. Penempatan komponen yang rapi, akses daya yang memadai, serta integrasi perangkat yang aman menunjukkan bahwa sistem dapat diterapkan pada lingkungan ritel kecil tanpa memerlukan modifikasi struktural yang signifikan. Hal ini menguatkan klaim penelitian bahwa sistem alarm berbasis IoT dapat diimplementasikan secara praktis, ekonomis, dan adaptif dalam konteks usaha kecil yang membutuhkan peningkatan keamanan.

3.3 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem alarm berbasis sensor PIR HC-SR501 dan mikrokontroler ESP32 memiliki kinerja yang stabil dan responsif dalam mendeteksi gerakan serta memberikan notifikasi real-time kepada pengguna. Konsistensi deteksi pada jarak 1–3 meter mengindikasikan bahwa sensor PIR bekerja sesuai dengan karakteristik teknisnya yang mampu merespons perubahan radiasi inframerah dari objek bergerak, khususnya manusia. Keandalan sensor ini semakin diperkuat oleh kemampuan ESP32 dalam memproses data secara cepat dan mengirimkan sinyal melalui jaringan Wi-Fi, sehingga waktu respons keseluruhan berada dalam kisaran 3,08 hingga 3,64 detik. Rentang respons ini dapat dikategorikan efektif untuk aplikasi peringatan dini, terutama pada konteks ritel dengan risiko kriminalitas tinggi.

Integrasi Bot Telegram sebagai media notifikasi memberikan nilai tambah signifikan [23], mengingat aplikasi ini bekerja secara lintas platform, mudah diakses, dan memiliki infrastruktur jaringan yang stabil. Hal ini menjadikan sistem lebih adaptif terhadap kebutuhan pengguna akhir, sekaligus memperluas kemampuan pemantauan tanpa memerlukan perangkat khusus. Kemudahan penggunaan dan antarmuka yang intuitif juga berkontribusi pada penerimaan positif dari pemilik toko selama implementasi lapangan.

Temuan ini sejalan dengan literatur sebelumnya mengenai pemanfaatan IoT [24] dalam sistem keamanan [25], yang menekankan fleksibilitas perangkat mikrokomputer dan sensor cerdas dalam meningkatkan kualitas pengawasan. Namun demikian, penelitian ini juga membuka ruang untuk pengembangan lanjutan, seperti integrasi kamera ESP-CAM untuk verifikasi visual, penggunaan enkripsi data untuk meningkatkan keamanan siber, serta perluasan jangkauan sensor melalui konfigurasi multi-sensor. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya menunjukkan keberhasilan teknis perangkat, tetapi juga memberikan landasan bagi pengembangan sistem keamanan IoT yang lebih komprehensif dan adaptif terhadap berbagai skenario operasional.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem alarm keamanan berbasis sensor PIR HC-SR501 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan notifikasi otomatis melalui Bot Telegram. Berdasarkan hasil pengujian pada kondisi lingkungan nyata di Toko Mas J. Tarigan, sistem terbukti dapat mendeteksi gerakan secara konsisten pada jarak 1–3 meter, mengaktifkan alarm secara otomatis, dan mengirimkan peringatan real-time kepada pengguna dengan waktu respons rata-rata 3,08 hingga 3,64 detik. Performa ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini yang efektif dan responsif, sehingga meningkatkan keamanan operasional usaha ritel berisiko tinggi. Selain itu, implementasi lapangan menunjukkan penerimaan positif dari pemilik toko, terutama terkait kemudahan penggunaan, kesederhanaan instalasi, dan peningkatan persepsi keamanan secara keseluruhan. Lebih lanjut, hasil pengujian juga mengonfirmasi bahwa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak berjalan stabil, tanpa ditemukannya kegagalan fungsi signifikan selama masa uji coba. Sensor PIR mampu merespons perubahan radiasi inframerah dari pergerakan manusia secara cepat, sedangkan ESP32 memproses sinyal dan mengirimkan notifikasi melalui jaringan Wi-Fi dengan tingkat keandalan tinggi. Penggunaan Bot Telegram sebagai media penyampaian informasi juga terbukti efektif karena antarmukanya yang sederhana, aksesibilitas yang tinggi, serta kemampuan memberikan umpan balik instan kepada pemilik toko. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi, tetapi juga sebagai instrumen peningkatan kewaspadaan yang dapat membantu pemilik usaha dalam mengambil tindakan preventif maupun responsif. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan memenuhi kriteria fungsional dan operasional untuk digunakan sebagai solusi keamanan berbasis IoT dalam konteks usaha kecil. Keberhasilan penelitian ini menegaskan bahwa teknologi IoT dapat diimplementasikan secara ekonomis dan praktis untuk memperkuat keamanan fisik pada sektor ritel. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem keamanan modern yang adaptif, mudah diintegrasikan, serta relevan dengan kebutuhan usaha berskala kecil dan menengah.

REFERENCES

- [1] H. Herdianto, H. Hafni, D. Nasution, and S. Ramadhan, "Implementasi Metode Yolo pada Deteksi Objek Manusia," *METHOMIKA J. Manaj. Inform. dan Komputerisasi Akunt.*, vol. 8, no. 2, pp. 234–240, Oct. 2024, doi: 10.46880/jmika.Vol8No2.pp234-240.
- [2] T. Li *et al.*, "Ultrasensitive Capacitive Sensor Composed of Nanostructured Electrodes for Human–Machine Interface," *Adv. Mater. Technol.*, vol. 7, no. 10, Oct. 2022, doi: 10.1002/admt.202101704.
- [3] Abhay Mangalore, "Fusion of mmWave radar data with image sensors for enhanced vision systems," *Int. J. Sci. Res. Arch.*, vol. 14, no. 3, pp. 286–289, Mar. 2025, doi: 10.30574/ijrsra.2025.14.3.0656.
- [4] K. Okokpujie, I. P. Okokpujie, F. T. Young, and R. E. Subair, "Development of an Affordable Real-Time IoT-Based Surveillance System Using ESP32 and TWILIO API," *Int. J. Saf. Secur. Eng.*, vol. 13, no. 6, pp. 1069–1075, Dec. 2023, doi: 10.18280/ijssse.130609.
- [5] S. Supiyandi, C. Rizal, H. Hermansyah, and S. Khodijah, "Implementation Of Rapid Application Development Methodology In UI/UX Design of Mangrove Forest Information System," *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 125–133, Oct. 2024, doi: 10.47065/josh.v6i1.5941.
- [6] G. T. Hadiyanto, H. S. Gurran, B. Apriyanto, and R. Saptarika, "Pengaruh Waktu Respon Pada Sistem Keamanan Rumah Berbasis IOT dengan ESP32-Cam dan PIR Menggunakan SmartPhone Android," *JURIKOM (Jurnal Ris. Komputer)*, vol. 9, no. 6, p. 1698, Dec. 2022, doi: 10.30865/jurikom.v9i6.4957.
- [7] G. Saleem, U. I. Bajwa, R. H. Raza, and F. Zhang, "Edge-Enhanced TempoFuseNet: A Two-Stream Framework for Intelligent Multiclass Video Anomaly Recognition in 5G and IoT Environments," *Futur. Internet*, vol. 16, no. 3, p. 83, Feb. 2024, doi: 10.3390/fi16030083.
- [8] S. Narula, M. Ghasemigol, J. Carnerero-Cano, A. Minnich, E. Lupu, and D. Takabi, "Exploring Research and Tools in AI Security: A Systematic Mapping Study," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 84057–84080, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3567195.
- [9] H. Su, M. J. Rungtusanatham, and K. Linderman, "Retail inventory shrinkage, sensing weak security breach signals, and organizational structure," *Decis. Sci.*, vol. 54, no. 1, pp. 8–28, Feb. 2023, doi: 10.1111/decis.12524.
- [10] G. Ntezcicyimanikora and N. M. Enan, "Remote Control Home Security Monitoring," *J. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–22, Apr. 2025, doi: 10.70619/vol5iss2pp1-22.
- [11] G. D'Angelo, V. Clerico, C. Bartolozzi, M. Hoffmann, P. M. Furlong, and A. Hadjiivanov, "Wandering around: a bioinspired approach to visual attention through object motion sensitivity," *Neuromorphic Comput. Eng.*, vol. 5, no. 2, p. 024019, Jun. 2025, doi: 10.1088/2634-4386/addc90.
- [12] M. Salah *et al.*, "High speed neuromorphic vision-based inspection of countersinks in automated manufacturing processes," *J. Intell. Manuf.*, vol. 35, no. 7, pp. 3067–3081, Oct. 2024, doi: 10.1007/s10845-023-02187-0.
- [13] J. W. Jinzhu Wang, J. B. Jie Bai, L. H. Libo Huang, and H. C. Huanlei Chen, "Autonomous Driving Decision-making Based on the Combination of Deep Reinforcement Learning and Rule-based Controller," in *FISITA World Congress 2021 - Technical*

Programme, FISITA, Sep. 2021. doi: 10.46720/F2021-ACM-108.

- [14] T. Kissoon, "Optimum spending on cybersecurity measures," *Transform. Gov. People, Process Policy*, vol. 14, no. 3, pp. 417–431, May 2020, doi: 10.1108/TG-11-2019-0112.
- [15] R. Elias, L. Reis, T. Delfino, and J. Fernandes, "Enterpreneurial Strategies for the Female Sector: Leveraging Instagram Sales During the Pandemic," *Eur. Conf. Innov. Entrep.*, vol. 17, no. 1, pp. 692–700, Sep. 2022, doi: 10.34190/ecie.17.1.548.
- [16] K. M. Ragab, M. F. Orhan, K. Saka, and Y. Zurigat, "A Study and Assessment of the Status of Energy Efficiency and Conservation at School Buildings," *Sustainability*, vol. 14, no. 17, p. 10625, Aug. 2022, doi: 10.3390/su141710625.
- [17] S. Nasir and N. Vajjhala, "EVALUATING INFORMATION SECURITY AWARENESS AND COMPLIANCE IN SUB-SAHARAN AFRICA: AN INTERPRETIVIST PERSPECTIVE," in *Proceedings of the 13 th IADIS International Conference Information Systems 2020*, IADIS Press, Apr. 2020, pp. 187–190. doi: 10.33965/is2020_202006R025.
- [18] H. Hermansyah, R. F. Wijaya, and R. B. Utomo, "Metode Waterfall Dalam Rancang Bangun Sistem Informasi Manajemen Kegiatan Masjid Berbasis Web," *KLIK Kaji. Ilm. Inform. dan Komput*, vol. 3, no. 5, pp. 563–571, 2023.
- [19] L. Marlina, S. Wahyuni, and I. Sulistianingsih, "The Information System for Promotion of Products for Micro, Small, and Medium Enterprises in Hinai Village is Website-Based With a Membership Method," *Int. J. Comput. Sci. Math. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 2962–4274, 2023.
- [20] F. Serepas, I. Papias, K. Christakis, N. Dimitropoulos, and V. Marinakis, "Lightweight Embedded IoT Gateway for Smart Homes Based on an ESP32 Microcontroller," *Computers*, vol. 14, no. 9, p. 391, Sep. 2025, doi: 10.3390/computers14090391.
- [21] D. Witeczak and S. Szymoniak, "Review of Monitoring and Control Systems Based on Internet of Things," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 19, p. 8943, Oct. 2024, doi: 10.3390/app14198943.
- [22] A. Ali, S. A. Ali, and N. Zaheer, "The Role of ESP32 in Enabling Industry 4.0 and 5.0: A Comprehensive Narrative Review of Edge Intelligence, Human-Centric Automation, and Sustainable Innovation." Aug. 01, 2025. doi: 10.20944/preprints202508.0014.v1.
- [23] P. D. Mardika, "Integrasi Notifikasi CCTV Melalui Telegram Berbasis Iot Dengan Metode Pose Estimation," *J. Profesi Ins. Univ. Lampung*, vol. 6, no. 2, Sep. 2025, doi: 10.23960/jpi.v6n2.200.
- [24] M. Zen and S. Rahman, "Pengembangan Sistem Monitoring pH Tanah Berbasis IoT dan Python untuk Optimalisasi Budidaya Jambu Air," *J. Komput. Teknol. Inf. Sist. Inf.*, vol. 4, no. 2, pp. 1318–1324, Sep. 2025, doi: 10.62712/juktisi.v4i2.626.
- [25] S. P. Lesmana, A. P. S. B. Merah, D. Hermawati, and N. Puspitasari, "Dampak Implementasi IoT pada Sistem Smart Home untuk Efisiensi Energi dan Keamanan di Kota Berkembang," in *Prosiding Seminar Nasional Amikom Surakarta*, 2024, pp. 1265–1278.