

Rancang Bangun Keamanan Rumah Berbasis IOT Dengan Sensor Pir Dan Kamera IOT

Viktorius Ando Saputra¹, Genrawan Hoendarto², Ricky I. Ndaumanu³

¹²³Informatika, Fakultas Teknologi Informasi Universitas Widya Dharma Pontianak
e-mail: ¹21424181_viktorius_a_s@widyadharma.ac.id, ²genrawan@widyadharma.ac.id,
³ricky_im@widyadharma.ac.id

Abstract

The rising threat of crimes, such as theft, necessitates a home security system capable of delivering rapid and accurate alerts. This research aims to develop an integrated and responsive Internet of Things (IoT)-based home security system. The method used involves designing a prototype that utilizes an ESP32-CAM module as the central controller, supported by a Passive Infrared (PIR) sensor for motion detection and an MC-38 magnetic sensor for door access detection. The research results show that the developed system successfully integrates all components. When a sensor detects suspicious activity, the system is capable of automatically capturing visual evidence and sending real-time notifications to the homeowner's mobile device via a WiFi network. In conclusion, this system offers a practical, efficient, and affordable security solution. The integration of multiple sensors with real-time visual notifications is proven to enhance vigilance and provide better protection against potential threats in residential environments.

Keywords: ESP32-CAM, sistem keamanan rumah, Internet of Things, sensor passive infrared

Abstrak

Meningkatnya ancaman kejahatan seperti pencurian menuntut adanya sistem keamanan rumah yang mampu memberikan peringatan secara cepat dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dan responsif. Metode yang digunakan adalah merancang sebuah prototype menggunakan modul ESP32-CAM sebagai pusat kontrol, yang didukung oleh sensor Passive Infrared (PIR) untuk deteksi gerakan dan sensor magnetik MC-38 untuk deteksi akses pintu. Hasil penelitian menunjukkan sistem yang dibangun berhasil mengintegrasikan seluruh komponen. Ketika salah satu sensor mendeteksi aktivitas mencurigakan, sistem mampu secara otomatis mengambil bukti visual dan mengirimkan notifikasi secara real-time ke perangkat mobile pemilik rumah melalui jaringan WiFi. Kesimpulannya, sistem ini menawarkan solusi keamanan yang praktis, efisien, dan terjangkau. Integrasi berbagai sensor dengan notifikasi visual real-time terbukti mampu meningkatkan kewaspadaan dan memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap potensi ancaman di lingkungan perumahan.

Kata kunci: ESP32-CAM, sistem keamanan rumah, Internet of Things, sensor passive infrared

1. PENDAHULUAN

Keamanan rumah telah menjadi isu krusial di tengah meningkatnya ancaman kejahatan. Sistem keamanan konvensional seringkali bersifat pasif dan tidak memberikan informasi yang cukup bagi pemilik rumah untuk merespons secara cepat. Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi keamanan yang tidak hanya mampu mendeteksi potensi ancaman, tetapi juga dapat menyampaikan peringatan dan bukti visual secara *real-time*.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan peluang signifikan untuk menjawab tantangan tersebut, dengan memungkinkan berbagai perangkat fisik untuk bertukar data dan melakukan tindakan tertentu melalui jaringan internet^[1]. Teknologi ini memfasilitasi pengembangan sistem yang cerdas dan responsif. Salah satu komponen pendukung utamanya adalah modul ESP32-CAM, yang mengintegrasikan mikrokontroler, koneksi WiFi, dan unit kamera dalam satu papan sirkuit ringkas^{[2][3]}, sehingga ideal untuk pengembangan prototipe sistem keamanan.

Penelitian ini menyajikan perancangan dan implementasi sistem keamanan rumah berbasis IoT yang memanfaatkan ESP32-CAM sebagai unit pemrosesan utama. Untuk deteksi ancaman yang komprehensif, sistem ini mengintegrasikan sensor *Passive Infrared* (PIR) untuk mendeteksi pergerakan berbasis suhu tubuh manusia^[4] dan sensor magnetik MC-38 untuk memonitor akses masuk melalui pintu. Kombinasi sensor ini dirancang untuk meminimalisir positif palsu dan meningkatkan akurasi deteksi.

Mekanisme kerja sistem dirancang untuk beroperasi secara otomatis. Ketika salah satu sensor terpicu, ESP32-CAM akan segera mengakuisisi gambar dari area yang diawasi dan mengirimkannya beserta notifikasi peringatan^[5] ke aplikasi *mobile* pemilik rumah. Sistem ini didesain untuk menjadi solusi keamanan yang praktis, efisien, dan terjangkau, yang mampu memberikan bukti visual secara instan untuk pengambilan keputusan yang cepat.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan prototipe^[6]. Pendekatan ini merupakan proses perancangan untuk membentuk suatu produk awal yang akan dikerjakan, di mana kebutuhan umum perangkat lunak telah dipahami namun belum terdefinisi secara rinci^[7]. Proses ini melibatkan siklus berulang yang terdiri dari

perancangan arsitektur, perakitan komponen menjadi sebuah prototipe fungsional, dan evaluasi melalui serangkaian pengujian untuk disempurnakan.

2.2 Teknik Perancangan Sistem dan Perangkat

Proses perancangan sistem^[8] menggunakan pemodelan *Unified Modeling Language* (UML) yang merupakan bahasa grafis standar untuk menspesifikasikan, memvisualisasikan, dan membangun sistem perangkat lunak^[9]. Diagram yang digunakan adalah *use case* Diagram untuk mendefinisikan fungsionalitas dari perspektif pengguna dan *activity diagram* untuk merinci alur kerja sistem. Perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Perangkat Keras utama: Modul ESP32-CAM, sensor PIR HC-SR501 dan *magnetic switch* MC-38
- Perangkat Lunak: Arduino IDE^[10] untuk pemrograman *embedded system*, Flutter untuk pengembangan aplikasi *mobile*^[11], dan Firebase sebagai layanan *backend*^[12].

2.3 Teknik Pengembangan Perangkat Lunak

Proses pengembangan perangkat lunak atau pemrograman^[13] sistem ini mencakup dua sisi. Pada sisi embedded, mikrokontroler ESP32-CAM diprogram menggunakan bahasa C++ melalui Arduino IDE. Pada sisi *mobile*, aplikasi dibangun menggunakan *framework* Flutter dan *code editor* Visual Studio Code. Aplikasi ini terhubung ke Firebase untuk menerima data, menampilkan gambar, dan menerima *push notification* melalui Firebase Cloud Messaging (FCM).

2.4 Teknik Pengujian

Pengujian sistem ini menggunakan pendekatan *Black Box Testing*, yang fokus pada validasi fungsionalitas *input-output* tanpa melihat kode internal. Pengujian ini memastikan setiap fungsi, mulai dari deteksi sensor hingga koneksi ke Firebase dan pengiriman notifikasi, berjalan sesuai harapan.

Untuk mengukur tingkat keberhasilan deteksi objek secara kuantitatif, kinerja sistem dianalisis menggunakan *Confusion Matrix*^[14]. Metode ini mengkategorikan hasil prediksi yang benar dan salah^[14], dan tingkat akurasinya dihitung menggunakan rumus pada persamaan (1)^[15]:

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (1)$$

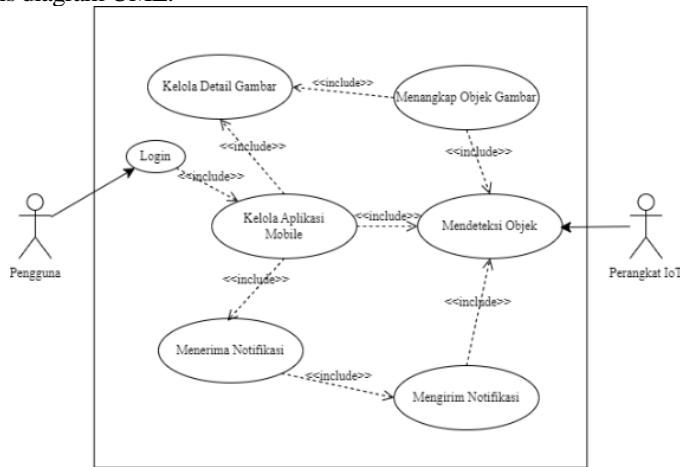
Keterangan:

- TP (*True Positive*): Sistem mendeteksi gerakan, dan faktanya memang ada gerakan.
- TN (*True Negative*): Sistem tidak mendeteksi gerakan, dan faktanya tidak ada gerakan.
- FP (*False Positive*): Sistem mendeteksi gerakan, padahal tidak ada gerakan (alarm palsu).
- FN (*False Negative*): Sistem tidak mendeteksi gerakan, padahal ada gerakan (deteksi gagal).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

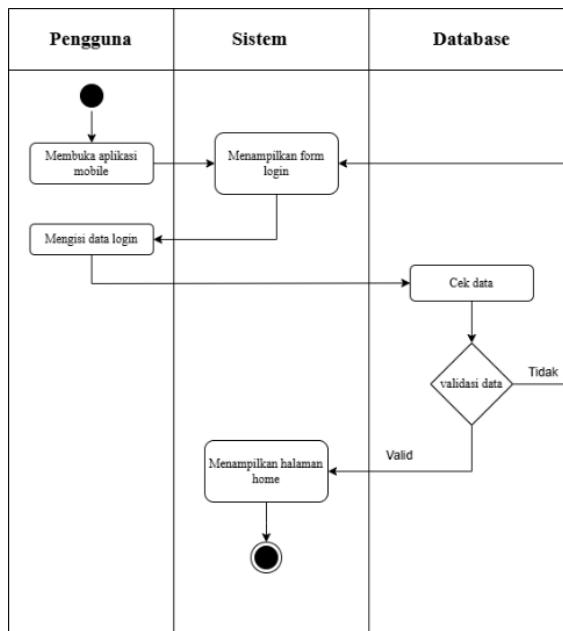
3.1 Sitem Keamanan Rumah Berbasis IoT

Sistem keamanan rumah berbasis IoT menggunakan mikrokontroler modul ESP32-CAM untuk mengatur alur kerja sistem dalam mendeteksi objek, mengambil gambar, mengolah data, serta terhubung ke *database* melalui jaringan *internet*. Pengguna dapat menggunakan aplikasi *mobile* untuk mengontrol sistem (seperti mematikan atau menghidupkan), menerima notifikasi, dan melihat gambar objek yang ditangkap kamera. Untuk memperjelas alur sistem, dapat dilihat beberapa jenis diagram UML.



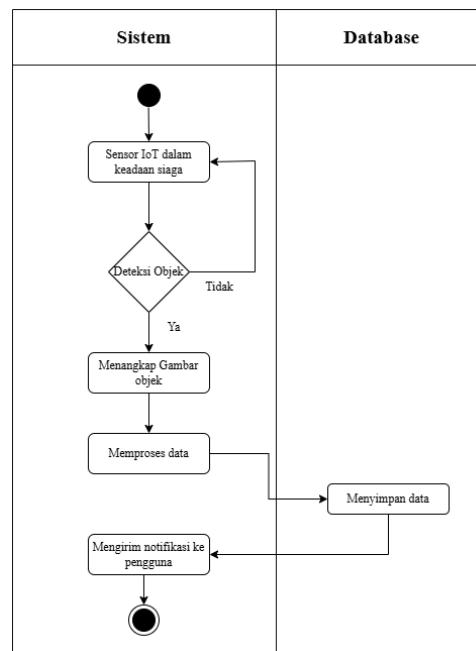
Gambar 1 Use Case Diagram

Use case Diagram pada Gambar 1, interaksi sistem melibatkan dua aktor yaitu pengguna dan perangkat IoT. Pengguna harus *login* untuk bisa mengakses fitur aplikasi seperti melihat gambar dan menerima notifikasi. Di sisi lain, Perangkat IoT secara otomatis akan mendeteksi objek, sebuah proses yang wajib menyertakan fungsi turunan yaitu menangkap gambar dan mengirim notifikasi yang akan diterima oleh pengguna.



Gambar 2 Activity diagram Login ke Sistem

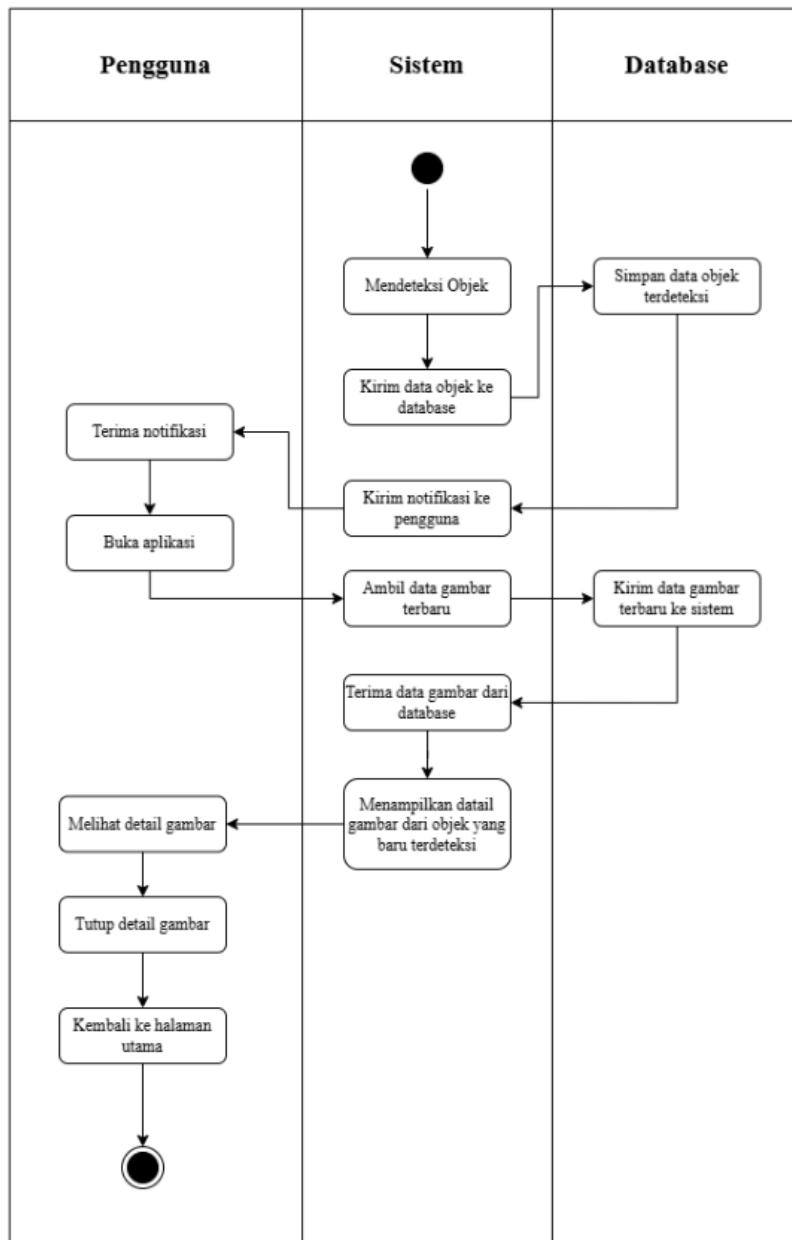
Activity diagram pada Gambar 2 menggambarkan proses aktivitas *login* pada Aplikasi *Mobile* oleh pengguna untuk mengakses sistem. Proses dimulai saat pengguna membuka Aplikasi *Mobile*. Setelah aplikasi berhasil dijalankan, sistem menampilkan form *Login* secara otomatis. Pengguna kemudian mengisi data *Login* berupa username dan password. Setelah data *Login* dimasukkan, sistem mengirimkan data tersebut ke database untuk dilakukan pengecekan. Database menerima data dari sistem dan melakukan proses pengecekan terhadap data yang dikirim. Selanjutnya, proses validasi dilakukan untuk menentukan apakah data *Login* yang dimasukkan sesuai dengan yang tersimpan di database. Apabila data tidak valid, sistem akan kembali menampilkan form *Login* kepada pengguna agar dapat mencoba kembali. Namun, jika data *Login* dinyatakan valid, sistem akan menampilkan halaman Home sebagai tanda bahwa proses *Login* berhasil dan pengguna telah masuk ke dalam aplikasi.



Gambar 3 Activity diagram Mendeteksi Objek

Activity diagram pada Gambar 3 menggambarkan aktivitas sistem saat mendeteksi objek yang memanfaatkan sensor IoT dan integrasi dengan database untuk pengolahan data serta notifikasi kepada pengguna. Proses diawali ketika sensor IoT berada dalam keadaan siaga, menunggu adanya objek yang masuk dalam jangkauan deteksi. Selanjutnya, sistem melakukan proses deteksi objek untuk memeriksa apakah terdapat objek yang terdeteksi oleh sensor. Apabila pada tahap ini tidak terdeteksi objek, maka sistem akan kembali ke kondisi semula, yaitu sensor IoT tetap berada dalam keadaan siaga sambil terus memantau lingkungan. Apabila objek terdeteksi, sistem akan melanjutkan ke proses berikutnya, yaitu menangkap gambar objek yang terdeteksi.

Setelah gambar objek berhasil diambil, sistem akan melanjutkan ke tahap memproses data hasil tangkapan gambar tersebut. Pada tahap ini, data yang dihasilkan juga akan dikirimkan dan disimpan ke dalam database untuk keperluan pencatatan dan analisis lebih lanjut. Sebagai langkah akhir dari keseluruhan proses, sistem akan mengirimkan notifikasi kepada pengguna, guna memberikan informasi secara *real-time* mengenai keberadaan objek yang telah terdeteksi dan diproses oleh sistem.



Gambar 4 Activity diagram Pengguna Mengelola Aplikasi *Mobile*

Activity diagram pada Gambar 4 menggambarkan pengguna dalam mengelola Aplikasi *Mobile* setelah sistem berhasil mendeteksi objek tertentu. Proses ini diawali ketika sistem melakukan pendekripsi terhadap objek. Setelah objek terdeteksi, sistem secara otomatis mengirimkan data objek tersebut ke database untuk disimpan.

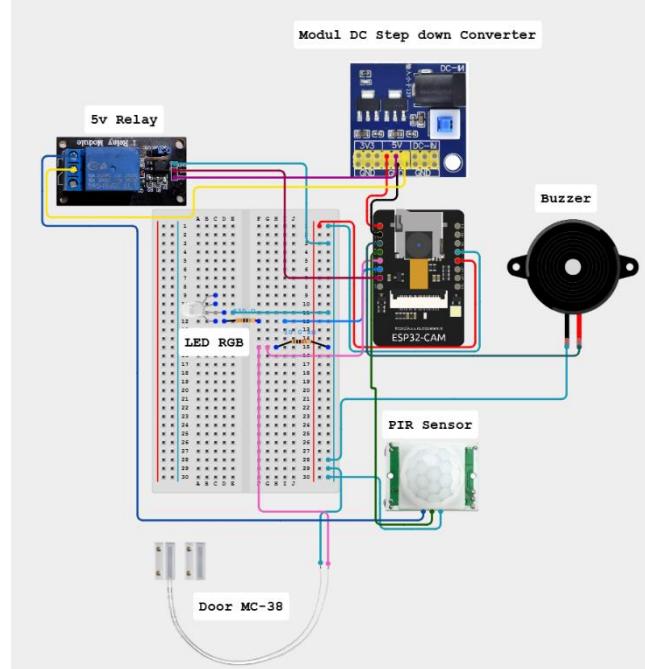
Database kemudian menyimpan data objek yang telah terdeteksi. Setelah itu, sistem mengirimkan notifikasi kepada pengguna untuk memberitahukan bahwa ada objek baru yang terdeteksi. Pengguna yang menerima notifikasi ini kemudian membuka aplikasi untuk melihat detail objek tersebut.

Setelah aplikasi terbuka, sistem mengambil data gambar terbaru dari database untuk ditampilkan kepada pengguna. Database kemudian mengirimkan data gambar terbaru tersebut kembali ke sistem. Setelah menerima data dari database, sistem menampilkan detail gambar dari objek yang baru saja terdeteksi kepada pengguna.

Pengguna dapat melihat detail gambar tersebut untuk memahami lebih lanjut mengenai objek yang terdeteksi. Setelah selesai melihat, pengguna dapat menutup halaman detail gambar dan kembali ke halaman utama aplikasi. Proses ini memastikan bahwa pengguna selalu mendapatkan informasi terbaru mengenai objek yang terdeteksi, dengan alur komunikasi yang terintegrasi antara sistem, database, dan pengguna.

3.2 Implementasi Perangkat Keras IoT

Gambar 5 menunjukkan rangkaian prototipe sistem keamanan yang telah diimplementasikan secara fisik. Rangkaian ini menggunakan ESP32-CAM sebagai mikrokontroler utama, Sensor PIR untuk mendeteksi gerakan, dan Sensor Pintu Magnetik (Door MC-38) sebagai pendekripsi akses pintu. Sebagai output, sistem dilengkapi dengan Buzzer untuk alarm suara, LED RGB untuk indikator visual, serta Modul Relay 5V untuk kontrol perangkat eksternal. Catu daya keseluruhan sistem diatur oleh sebuah Modul DC Step-down Converter.



Gambar 5 Rangkaian Prototype Sistem Keamanan Rumah Berbasis IoT

3.3 Implementasi Aplikasi *Mobile*

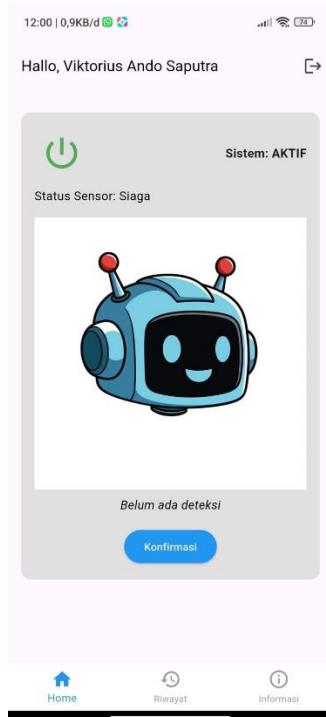
a. Halaman Login



Gambar 6 Halaman Form Login

Pada Gambar 6 merupakan tampilan form *Login* sebelum pengguna mengakses aplikasi *Mobile*. Setelah mengisi email dan password dengan benar, pengguna dapat mengklik tombol Sign In dan akan diarahkan ke halaman Home.

b. Halaman Home



Gambar 7 Halaman Home

Pada Gambar 7 merupakan tampilan halaman Home aplikasi. Pada bagian header menampilkan nama pengguna yang sedang *Login* dan tombol *Logout* yang mengarahkan pengguna ke halaman *Login* saat diklik.

Halaman Home menyediakan fitur untuk mematikan atau menyalakan sistem dengan mengklik tombol pada dengan logo On atau Off. Jika sistem dalam keadaan menyala dan tidak mendeteksi objek, status sensor akan “Siaga” dan menampilkan gambar robot secara default. Jika objek terdeteksi, status sensor akan menjadi “Objek terdeteksi” dan menampilkan gambar objek yang baru terdeteksi

c. Halaman Riwayat

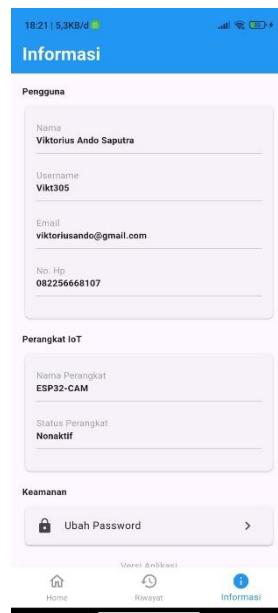


Gambar 8 Halaman Riwayat

Pada Gambar 8 merupakan tampilan riwayat objek yang terdeteksi. Halaman Riwayat menyediakan fitur untuk menampilkan riwayat berdasarkan tanggal yang diinginkan pengguna. Pada list riwayat, jenis deteksi menandakan bahwa jika “Gerakan Terdeteksi” merupakan hasil deteksi dari Sensor PIR dan “Pintu Terbuka” merupakan hasil deteksi dari

magnetic switch MC-38 (Sensor Pintu).

d. Halaman Informasi



Gambar 9 Halaman Informasi

Pada Gambar 9 merupakan tampilan Informasi yang menampilkan informasi pegguna yang sedang *Login* dan Perangkat IoT serta Status Perangkat yang sedang di gunakan dalam Sistem. Pada tampilan Informasi juga terdapat fitur kemanan yang digunakan pengguna untuk mengubah password.

3.4 Pengujian Fungsionalitas dan Konektivitas

Pengujian awal dilakukan untuk memastikan fungsionalitas dasar dan konektivitas sistem. Hasil pengujian melalui Serial Monitor menunjukkan bahwa modul ESP32-CAM berhasil terhubung ke jaringan WiFi lokal, melakukan sinkronisasi waktu dengan server NTP, dan melakukan otentifikasi dengan layanan Google Firebase. Selanjutnya, pengujian fungsionalitas dilakukan untuk setiap skenario operasi sistem. Hasil pengujian dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Operasional Sistem

D Uji	Prekondisi	Kasus Uji	Ekspektasi Hasil	Hasil Observasi	Kesimpulan Lulus/Gagal
J-001	Sistem nonaktif.	Pengguna menekan tombol 'ON' pada aplikasi <i>mobile</i> .	Sistem beralih ke mode aktif, ditandai dengan LED indikator menyala hijau.	Sistem menjadi aktif dan LED indikator menyala sesuai ekspektasi.	Lulus
J-002	Sistem aktif.	Pengguna menekan tombol 'OFF' pada aplikasi <i>mobile</i> .	Sistem beralih ke mode nonaktif, ditandai dengan LED indikator padam.	Sistem menjadi nonaktif dan LED indikator padam sesuai ekspektasi.	Lulus
D Uji	Prekondisi	Kasus Uji	Ekspektasi Hasil	Hasil Observasi	Kesimpulan Lulus/Gagal
J-003	Sistem aktif.	Objek (manusia) bergerak pada jarak <1 meter di depan sensor PIR.	1. Sensor PIR mendeteksi gerakan.
2. Sistem mengambil foto.
3. Aplikasi menampilkan status "Objek Terdeteksi!" dan gambar yang ditangkap.	Sensor PIR mendeteksi gerakan, sistem mengambil foto, dan aplikasi menampilkan status serta gambar dengan benar.	Lulus
J-004	Sistem aktif.	Objek (manusia) bergerak pada jarak <5 meter di depan sensor	Sensor PIR tidak mendeteksi gerakan karena objek berada di luar jangkauan efektif.	Sensor PIR tidak memberikan sinyal deteksi. Sistem tetap dalam mode siaga.	Lulus

		PIR.			
J-005	Sistem aktif selama 5 menit tanpa ada gerakan terdeteksi di depan sensor.	Sistem dibiarkan dalam kondisi siaga (aktif tanpa input).	Sistem tidak mengirimkan sinyal alarm palsu. LED indikator tetap menyala hijau.	Selama 5 menit observasi, tidak ada alarm yang menyala dan sistem tetap dalam kondisi siaga.	Lulus
J-006	Sistem Aktif	Objek bukan manusia (hewan) berada dalam jangkauan sensor PIR	Sistem tidak mengirimkan sinyal alarm	Sensor PIR tidak mendeteksi adanya gerakan	Lulus
J-007	Sistem Aktif	Pintu yang terpasang sensor magnetic switch MC-38 dibuka	1. Sensor MC-38 mendeteksi pintu terbuka.
2. Sistem mengambil foto.
3. Aplikasi menampilkan status "Objek Terdeteksi!" dan gambar yang ditangkap.	Sensor MC-38 mendeteksi gerakan, sistem mengambil foto, dan aplikasi menampilkan status serta gambar dengan benar.	Lulus
J-008	Sistem Aktif	Objek benda mati bergerak dalam jangkauan sensor PIR	Sistem tidak mengirimkan sinyal alarm	Sensor PIR tidak mendeteksi adanya gerakan	Lulus

Hasil pengujian fungsionalitas pada Tabel 1 memberikan validasi yang komprehensif terhadap kinerja setiap komponen dan alur kerja sistem secara keseluruhan. Seluruh skenario yang diujikan menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi sesuai dengan ekspektasi dan berhasil mencapai semua tujuan fungsional yang telah ditetapkan dalam perancangan. Secara spesifik, sistem menunjukkan responsivitas yang tinggi terhadap input dari pengguna melalui aplikasi *mobile*. Fungsi untuk mengaktifkan (ON) dan menonaktifkan (OFF) sistem dari jarak jauh dapat dieksekusi dengan andal dan tanpa kegagalan, yang dikonfirmasi melalui perubahan status pada indikator dan perilaku sistem.

Pada aspek deteksi ancaman, kedua sensor utama yaitu PIR dan MC-38 berfungsi secara optimal. Setiap deteksi yang valid, baik berupa gerakan manusia maupun terbukanya pintu, berhasil memicu reaksi yang tepat dan berurutan dari sistem, mulai dari pengambilan gambar secara otomatis hingga pengiriman notifikasi ke pengguna. Keberhasilan ini mengonfirmasi bahwa integrasi antara perangkat keras, firmware, dan layanan backend berjalan dengan baik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa prototype yang dibangun tidak hanya berhasil secara teknis dalam perakitan komponen, tetapi juga telah terbukti andal secara fungsional dalam menjalankan tugasnya sebagai sistem keamanan yang utuh dan responsif.

3.5 Analisis Kinerja dan Akurasi Deteksi

Pengujian kinerja dilakukan untuk mengevaluasi keandalan dan akurasi sistem dalam membedakan antara kondisi ancaman (adanya manusia) dan kondisi aman (tidak adanya manusia). Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali percobaan yang terdiri dari 10 skenario dengan target manusia dan 10 skenario tanpa target.

Tabel 2 Data Pengujian Kinerja

No.	Kondisi sebenarnya	Hasil Sistem	Evaluasi
1	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
2	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
3	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
4	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
5	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
6	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
7	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
8	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
9	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP

10	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
11	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
12	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
13	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
14	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
15	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
16	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
17	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
18	Ada manusia	Objek terdeteksi	TP
19	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN
20	Tidak ada manusia	Objek tidak terdeteksi	TN

Hasil pengujian disajikan dalam *Confusion Matrix* pada Tabel 3

Tabel 3 Confusion Matrix Hasil Pengujian Kinerja

	Prediksi: Objek Terdeteksi	Prediksi: Objek Tidak Terdeteksi
Aktual: Ada Manusia	TP = 10	FN = 0
Aktual: Tidak Ada Manusia	FP = 0	TN = 10

Berdasarkan data dari *Confusion Matrix*, kinerja sistem dihitung menggunakan metrik akurasi. Akurasi = $(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) = (10 + 10) / (10 + 10 + 0 + 0) = 100\%$

3.6 Pembahasan

Capaian akurasi 100% ini memiliki makna yang sangat signifikan dalam konteks sistem keamanan. Hasil ini tidak hanya menunjukkan bahwa sistem secara umum mampu membuat keputusan yang benar, tetapi secara spesifik membuktikan dua aspek krusial secara bersamaan. Sistem memiliki reliabilitas penuh untuk tidak menghasilkan alarm palsu yang dapat mengganggu pengguna saat kondisi sebenarnya aman (zero False Positives). Sistem juga menunjukkan sensitivitas sempurna untuk tidak pernah melewatkannya satupun ancamannya nyata yang terjadi selama pengujian (zero False Negatives).

Kemampuan untuk membuat keputusan yang tepat tanpa kesalahan di kedua jenis skenario tersebut menegaskan bahwa logika program dan integrasi seluruh komponen pada sistem ini telah berjalan dengan sangat efektif dan andal dalam lingkungan pengujian yang terkontrol. Pengiriman bukti visual secara *real-time* ke aplikasi *mobile* juga terbukti berjalan lancar, memberikan nilai tambah yang signifikan dibandingkan sistem alarm konvensional.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sebuah prototype sistem keamanan rumah berbasis IoT yang fungsional, dengan mengintegrasikan modul ESP32-CAM sebagai unit pemroses utama, sensor PIR untuk deteksi gerak, dan sensor magnetik MC-38 untuk deteksi akses pintu.
- Sistem menunjukkan kinerja yang sangat tinggi dalam pengujian. Dari 20 skenario uji coba, sistem mampu mencapai tingkat akurasi 100 yang membuktikan kemampuannya dalam mendeteksi ancamannya secara andal tanpa menghasilkan alarm palsu maupun kegagalan deteksi dalam kondisi pengujian.
- Sistem mampu secara konsisten mengirimkan notifikasi peringatan beserta bukti visual (gambar) secara *real-time* ke aplikasi *mobile* pengguna, yang divalidasi melalui serangkaian pengujian fungsionalitas.

5. SARAN

Berdasarkan hasil dan keterbatasan dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi acuan untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya agar dapat menghasilkan sistem yang lebih andal dan cerdas:

- Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan model machine learning atau kecerdasan buatan untuk melakukan analisis gambar. Fitur seperti deteksi objek (object detection) dapat digunakan untuk membedakan antara ancamannya nyata (manusia) dengan pemicu alarm palsu (hewan peliharaan atau objek bergerak lainnya), sehingga secara signifikan meningkatkan akurasi sistem di lingkungan yang lebih dinamis.

- b) Mengingat sistem saat ini bergantung sepenuhnya pada jaringan WiFi, penelitian di masa depan dapat berfokus pada implementasi jalur komunikasi cadangan (failover system). Penambahan modul konektivitas seluler seperti GSM/4G LTE akan memastikan sistem tetap dapat mengirimkan notifikasi darurat melalui SMS atau data seluler, bahkan ketika koneksi WiFi utama terputus akibat gangguan teknis atau sabotase.
- c) Untuk memvalidasi ketahanan (robustness) sistem, disarankan untuk melakukan serangkaian pengujian di lingkungan yang lebih menantang dan tidak terkontrol. Ini mencakup pengujian di luar ruangan (outdoor) untuk mengukur pengaruh cuaca, pengujian pada kondisi pencahayaan rendah atau malam hari dengan bantuan infrared illuminator, serta pengujian pada berbagai variasi jarak dan kecepatan gerakan objek.
- d) Sebagai pengembangan dari fitur pengambilan gambar statis, penelitian selanjutnya dapat merancang implementasi live video streaming yang efisien. Ini akan memberikan kemampuan pemantauan secara langsung kepada pengguna, meskipun akan menghadirkan tantangan baru terkait manajemen bandwidth dan optimasi daya yang dapat menjadi topik riset yang menarik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pihak Universitas Widya Dharma Pontianak yang telah menyediakan fasilitas dan sumber daya pendukung yang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kharisma, Lalu Puji Indra, Kelvin Kelvin, Sunny Arief Sudiro, Gaguk Suprianto, Loso Judijanto, M. Lutfi, Rudy Dwi Laksono, Apdila Safitri, Vincent Gaspersz, I Gede Made Surya Bumi Pracasisaram, Yuniansyah Yuniansyah. (2024). *Internet of Things: Pengenalan dan Penerapan Teknologi IoT*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- [2] Pardosi, Varlyn, Toni Kusuma Wijaya, Fardin Hasibuan, Missyamsu Algusri, Muhammad Irsyam. (2024). *Model Optimalisasi Untuk Prototype Robot Tangki Iot Dalam Deteksi Gas dan Suhu*. Tohar Media. Makasar.
- [3] Agus, Siswoyo. (2024). *Aplikasi ESP32-CAM*. Sanata Dharma University Press. Yogyakarta.
- [4] Lukman, Musfirah Putri, Hamdani, Kurniawati Naim, Andarini Asri, Satriani Said, Muhamad Wirasatya Putra Lukman, Imraatusshoalihah, Neneng Miratunisa, Siti Maryam Lukman H.A Majid. (2024). *Mikrokontoller dan Internet Of Things*. Nas Nasmedia Pustaka. Klaten
- [5] Muzawi, Rometdo, Devina Ayu Sabila, Dian Febriani, Dian Suryana, Dinda Amalia Wulandari, Dinda Ariyani, Dinda Handini, Doa Subur Nasution, Dzakiyyatuddinil Fithri, Elfira Dwi Rahmah, Faiha Sabita Ulaya. (2024). *Mengenal Google Chrome Lebih Dekat*. Serasi Media. Payakumbuh
- [6] Agustia, S. L., et al. (2021). *Inovasi media pembelajaran SD berbasis kearifan budaya loka*. CV Srikandi Kearifan Nusantara.
- [7] Sari, Indah Purnama. (2021). *Buku Ajar Rekayasa Perangkat Lunak*. UMSU Press. Medan.
- [8] Saragih, Liharman, Asri Ady Bakri, H. M. Anwar, Oleh Soleh, Eko Cahyo Mayndarto, Rano Kurniawan, Indra, Heni Widyaningsih, Abdul Haris, Farid Wahyudi. (2024). *Konsep Dasar Sistem Informasi Bisnis*. Yayasan Cendikia Mulia Mandiri. Batam.
- [9] Sari, Riri Fitria dan Ardiati Utami S. (2021). *Rekayasa Perangkat Lunak Berorientasi Objek Menggunakan PHP*. Penerbit ANDI. Yogyakarta
- [10] Mutaqin, Rizal dan Lerian Ashor Yoziarde. (2025). *Pemrograman Arduino*. Penerbit Alung Cipta. Cikarang.
- [11] Putra, Berlian Juniartha Martin dan Anwar Fu'adi. (2024). *Belajar Pemrograman Mobile dengan Flutter*. Wawasan Ilmu. Banyumas.
- [12] Purnomo, Rosyana Fitria, O nno W. Purbo, RZ. Abd. Aziz, Onno W. Aziz. (2020). *Firebase Membangun Aplikasi Berbasis Android*. ANDI. Yogyakarta
- [13] Yahfizham dan Irwan Yusti. (2023). *Algoritma Pemrograman*. UMSU Press. Medan
- [14] Sudipa, I Gede Iwan, Pratiwi, I Putu Agus Eka Darma Udayana, Ahmad Ashril Rizal, Puji Indra Kharisma, Tutuk Indriyani, Efitra, I Made Dwi Putra Asana, Anak Agung Gede Bagus Ariana, Andy Rachman. (2023). *METODE PENELITIAN BIDANG ILMU INFORMATIKA (Teori & Referensi Berbasis Studi Kasus)*. Sonpedia Publishing Indonesia. Jambi
- [15] Pahlevi, Said Mirza. (2024). *Kecerdasan Buatan dengan Deep Learning*. Elex Media Komputindo. Jakarta Pusat.