

Development and Performance Evaluation of an IoT-Based Residential Security System Using ESP32-CAM and Telegram Bot

Hendra Gunawan*, Gaguk Firasanto, Hedy Aditya Baskhara, Angga Septian M.N.

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
Jl. Witana Harja No.18b, Tangerang Selatan, Pamulang, Banten, Indonesia
E-mail: gunawanhendra.depok@gmail.com

Naskah Masuk: 26 Februari 2026; Diterima: 17 September 2026; Terbit: 30 September 2026

ABSTRAK

Abstrak - Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi sistem keamanan residensial berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM, sensor *reed switch*, buzzer, dan Telegram Bot. Sistem dikembangkan untuk memberikan peringatan lokal serta kendali jarak jauh melalui perintah Telegram. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE serta pengujian fungsional melalui pengukuran waktu respons pada kondisi jaringan WiFi stabil. Data diperoleh melalui observasi respons sensor, buzzer, dan notifikasi Telegram, dengan pengukuran waktu respons menggunakan *stopwatch* manual sehingga merepresentasikan estimasi *end-to-end response time* pada kondisi pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *reed switch* mendeteksi kondisi pintu tertutup hingga jarak 1,05 cm dan kondisi terbuka mulai jarak 2 cm. Waktu respons rata-rata buzzer sebesar 5,01 detik (rentang 3,98-7,74 detik), notifikasi Telegram sebesar 2,64 detik (rentang 2,16-3,45 detik), dan notifikasi startup sebesar 6,34 detik (rentang 4,92-7,48 detik). Sistem mampu merespons perintah Telegram dengan waktu 2,32-6,21 detik serta menghasilkan gambar yang dapat dikenali pada jarak 1-4 m dengan pencahayaan terang. Selain itu, *Long-Term Operational Consistency Test* menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan fungsi notifikasi Telegram selama periode Mei-Desember 2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menyediakan peringatan lokal dan notifikasi jarak jauh dengan respons mendekati waktu nyata pada kondisi pengujian.

Kata kunci: IoT, ESP32-CAM, Sensor *Reed Switch*, *Residential Security System*, Telegram

ABSTRACT

Abstract - This study develops and evaluates an *Internet of Things* (IoT)-based residential security system using ESP32-CAM, a reed switch sensor, a buzzer, and Telegram Bot. The system is designed to provide local alerts and remote control through Telegram commands. The methodology includes hardware and software development using Arduino IDE and functional testing through response time measurements under stable WiFi conditions. Data were collected through observations of sensor, buzzer, and Telegram notification responses, while response time measurements using a manual stopwatch represent the estimated *end-to-end response time* under the tested conditions. The results show that the reed switch sensor detects a closed-door condition up to 1.05 cm and an open-door condition from 2 cm. The average response time of the buzzer is 5.01 seconds (range 3.98-7.74 seconds), Telegram notification is 2.64 seconds (range 2.16-3.45 seconds), and startup notification is 6.34 seconds (range 4.92-7.48 seconds). The system responds to Telegram commands within 2.32-6.21 seconds and produces recognizable images at distances of 1-4 m under bright lighting conditions. Furthermore, the *Long-Term Operational Consistency Test* demonstrates that the system maintains Telegram notification functionality during the May-December 2025 observation period. The results indicate that the proposed system provides local alerts and remote notifications with near real-time response under the tested conditions.

Keywords: IoT, ESP32-CAM, Reed Switch Sensor, Residential Security System, Telegram

Copyright © 2026 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Keamanan residensial menjadi salah satu aspek penting seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap sistem perlindungan aset dan keselamatan penghuni rumah. Berdasarkan publikasi Statistik Kriminal 2024/2025, pencurian masih menjadi salah satu bentuk kejahatan yang sering terjadi di lingkungan masyarakat sehingga diperlukan upaya peningkatan sistem keamanan yang mampu

memberikan informasi secara cepat kepada pengguna ketika terjadi aktivitas mencurigakan [1]. Perkembangan teknologi digital memberikan peluang untuk meningkatkan sistem keamanan konvensional melalui penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT), dimana perangkat sensor, mikrokontroler, dan jaringan internet dapat digunakan untuk melakukan pemantauan serta pengiriman informasi secara jarak jauh.

Penerapan IoT pada sistem keamanan rumah telah banyak dikembangkan melalui integrasi sensor dengan mikrokontroler yang memiliki kemampuan komunikasi internet. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah pemanfaatan ESP32-CAM sebagai perangkat pemrosesan sekaligus pengambilan gambar, kemudian mengirimkan informasi kepada pengguna melalui aplikasi Telegram. Penelitian [2]. Mengembangkan sistem keamanan pintu rumah berbasis IoT menggunakan sensor PIR, ESP32-CAM, LED, buzzer, dan aplikasi Telegram. Sistem tersebut mampu melakukan deteksi objek serta mengirimkan notifikasi berupa teks dan gambar kepada pengguna sebagai bentuk pemantauan jarak jauh.

Penelitian lain yang dilakukan oleh [3] juga mengembangkan sistem keamanan rumah menggunakan sensor PIR dan ESP32-CAM yang terintegrasi dengan Telegram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan deteksi objek, mengambil gambar, serta memberikan kontrol perangkat melalui komunikasi berbasis internet. Selain itu, [4]. mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis IoT dengan menambahkan notifikasi Telegram dan sumber daya berbasis PLTS untuk meningkatkan efisiensi operasional sistem. Perkembangan penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi sensor, kamera, dan platform komunikasi telah mampu meningkatkan kemampuan sistem keamanan rumah dibandingkan sistem konvensional.

Namun, berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar pengembangan sistem keamanan IoT masih berfokus pada tahap implementasi prototipe dan pengujian fungsi dasar, seperti keberhasilan sensor dalam mendeteksi objek, kemampuan kamera mengambil gambar, serta keberhasilan pengiriman notifikasi kepada pengguna [2] - [4]. Penelitian dengan kombinasi ESP32-CAM, Telegram, dan sensor deteksi telah banyak dilakukan, sehingga integrasi beberapa perangkat tersebut belum cukup menunjukkan kontribusi ilmiah yang signifikan. Selain itu, evaluasi terhadap karakteristik performa sistem secara menyeluruh, seperti pengukuran waktu respons setiap proses, konsistensi komunikasi antara perangkat dengan pengguna, serta kestabilan operasi dalam periode penggunaan yang panjang, masih belum banyak dibahas.

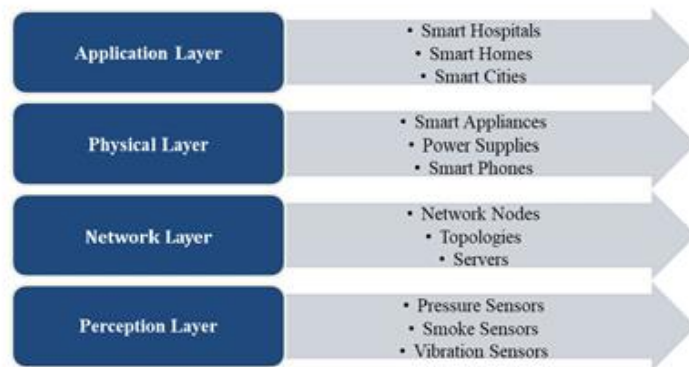
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem keamanan residensial berbasis IoT menggunakan ESP32-CAM, sensor *reed switch*, buzzer, LED, dan Telegram Bot sebagai media komunikasi jarak jauh. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih menitikberatkan pada implementasi fungsi deteksi dan notifikasi, penelitian ini berfokus pada evaluasi performa sistem melalui pengujian karakteristik waktu respons pada setiap tahapan proses, meliputi perubahan status pintu, aktivasi alarm lokal, pengiriman notifikasi Telegram, serta pengambilan gambar menggunakan ESP32-CAM. Selain itu, penelitian ini melakukan *Long-Term Operational Consistency Test* selama periode Mei hingga Desember 2025 untuk mengetahui konsistensi kerja sistem pada penggunaan berkelanjutan. Dengan pendekatan tersebut, kontribusi penelitian ini tidak hanya berupa rancangan sistem keamanan IoT, tetapi juga memberikan analisis performa dan evaluasi konsistensi operasional sistem yang dapat menjadi dasar pengembangan sistem keamanan residensial berbasis mikrokontroler.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Arsitektur Sistem Keamanan Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Dalam konsep *Internet of Things* (IoT), sistem keamanan residensial dibangun menggunakan pendekatan *layered architecture* yang terdiri atas *sensing layer*, *processing/control layer*, *communication layer*, dan *application layer* [5]. *Sensing layer* mendeteksi kondisi fisik melalui sensor, *processing layer* mengolah data dan menentukan *respons*, *communication layer* mengirimkan data melalui jaringan internet, sedangkan *application layer* menyediakan *monitoring* dan kontrol jarak jauh.

Pendekatan arsitektur berlapis pada IoT memungkinkan pemisahan fungsi deteksi, pengolahan data, komunikasi, dan aplikasi sehingga setiap bagian sistem memiliki peran operasional yang jelas. Dibandingkan sistem keamanan konvensional yang umumnya hanya memberikan peringatan lokal melalui alarm, pendekatan IoT memungkinkan sistem memberikan informasi kondisi keamanan secara jarak jauh serta mendukung proses monitoring dan pengendalian secara lebih fleksibel.



Gambar 1. *Arsitektur Layered IoT.*

2.2. ESP32-CAM

ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler berbasis chip ESP32 yang telah dilengkapi dengan kamera OV2640 dan konektivitas WiFi terintegrasi. Modul ini mampu melakukan pemrosesan data, komunikasi jaringan, serta pengambilan gambar dalam satu perangkat sehingga banyak digunakan pada pengembangan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) yang membutuhkan fungsi monitoring visual [6].



Gambar 2. ESP32-CAM.

ESP32-CAM memiliki kemampuan pengolahan data yang lebih tinggi dibandingkan modul ESP8266 karena menggunakan arsitektur ESP32 dengan dukungan *dual-core processor*, kapasitas memori yang lebih besar, serta jumlah pin *input/output* (*General Purpose Input Output/GPIO*) yang lebih fleksibel. Selain itu, ESP32-CAM telah mengintegrasikan modul kamera sehingga tidak membutuhkan perangkat tambahan untuk proses pengambilan citra. Hal tersebut menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan ESP32-CAM dibandingkan ESP8266 yang umumnya digunakan pada aplikasi IoT berbasis komunikasi data tanpa kemampuan pengolahan gambar secara langsung.

Pada penelitian sistem keamanan residensial, kemampuan ESP32-CAM dalam menggabungkan fungsi pengendalian perangkat dan pengambilan gambar menjadi keuntungan utama. Modul ini memungkinkan sistem tidak hanya mendeteksi perubahan kondisi pintu melalui sensor eksternal, tetapi juga mengambil gambar sebagai informasi visual dan mengirimkan hasil pemantauan melalui jaringan WiFi. Selain itu, ketersediaan GPIO pada ESP32-CAM memungkinkan integrasi dengan berbagai perangkat tambahan seperti sensor *reed switch*, buzzer, dan LED yang digunakan pada sistem keamanan ini [7].

2.3. Sensor Magnetik Pintu (*Reed Switch*)

Sensor magnetik pintu (*reed switch*) merupakan saklar listrik yang bekerja berdasarkan perubahan medan magnet untuk mendeteksi kondisi terbuka dan tertutup pada suatu objek. Sensor ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu *reed switch* berupa dua bilah logam feromagnetik yang ditempatkan dalam tabung kaca tertutup serta magnet permanen yang dipasang secara berhadapan pada bagian pintu dan kusen. Ketika magnet berada pada jarak tertentu, medan magnet menyebabkan kedua bilah logam saling bersentuhan sehingga menghasilkan perubahan kondisi saklar [8].

Reed switch banyak digunakan pada sistem keamanan pintu karena memiliki struktur sederhana, konsumsi daya rendah, ukuran kecil, serta menghasilkan keluaran digital yang mudah diproses oleh mikrokontroler. Dibandingkan sensor *Hall Effect* yang mendeteksi intensitas medan magnet melalui perubahan tegangan keluaran, *reed switch* lebih sesuai digunakan untuk aplikasi pendeteksian kondisi buka-tutup pintu karena hanya membutuhkan dua kondisi logika, yaitu aktif dan tidak aktif. Selain

itu, penggunaan *reed switch* tidak memerlukan rangkaian pengolahan sinyal tambahan sehingga lebih sederhana untuk diintegrasikan pada sistem keamanan berbasis mikrokontroler.

Pada penelitian ini, *reed switch* dipilih sebagai sensor pendeteksi utama karena sistem yang dikembangkan berfokus pada perubahan status pintu, bukan pengukuran nilai medan magnet secara kontinu. Keluaran digital dari sensor dapat langsung diproses oleh ESP32-CAM untuk menentukan respons sistem, seperti aktivasi buzzer, pengiriman notifikasi Telegram, dan proses pengambilan gambar ketika kondisi pintu berubah.



Gambar 3. Sensor Magnetik Pintu (*Reed Switch*)

2.4. Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronik yang berfungsi menghasilkan suara dengan mengubah energi listrik menjadi getaran mekanis yang menghasilkan gelombang suara [9]. Komponen ini banyak digunakan sebagai perangkat peringatan pada sistem elektronika karena mampu memberikan respons auditori ketika menerima sinyal aktivasi dari mikrokontroler.

Pada sistem keamanan residensial, buzzer digunakan sebagai perangkat peringatan lokal (*local alarm*) untuk memberikan indikasi suara ketika terjadi perubahan kondisi keamanan. Dalam penelitian ini, buzzer dikendalikan oleh ESP32-CAM berdasarkan perubahan kondisi yang dideteksi oleh sensor *reed switch*, sehingga sistem dapat memberikan respons peringatan ketika pintu mengalami perubahan status.

Pemilihan buzzer pada penelitian ini didasarkan pada kemudahan integrasi dengan mikrokontroler ESP32-CAM. Buzzer aktif memiliki kebutuhan daya yang relatif rendah dan dapat dikendalikan secara langsung oleh mikrokontroler tanpa memerlukan rangkaian tambahan seperti relay. Dibandingkan perangkat alarm eksternal seperti sirine yang umumnya membutuhkan catu daya lebih besar dan rangkaian pengendali tambahan, penggunaan buzzer memberikan rancangan sistem yang lebih sederhana serta memudahkan proses pengembangan dan modifikasi sistem pada tahap berikutnya.



Gambar 4. Buzzer Aktif

2.5. Light Emitting Diode (LED)

Light Emitting Diode (LED) merupakan komponen elektronik yang menghasilkan cahaya ketika dialiri arus listrik. LED banyak digunakan sebagai indikator visual dalam rangkaian elektronika karena memiliki konsumsi daya rendah, ukuran yang kecil, serta mampu memberikan respons visual secara cepat. Pemanfaatan LED sebagai indikator pada sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) juga telah diterapkan untuk menunjukkan status operasional perangkat yang terhubung ke jaringan [10].



Gambar 5. *Light Emitting Diode (LED)*.

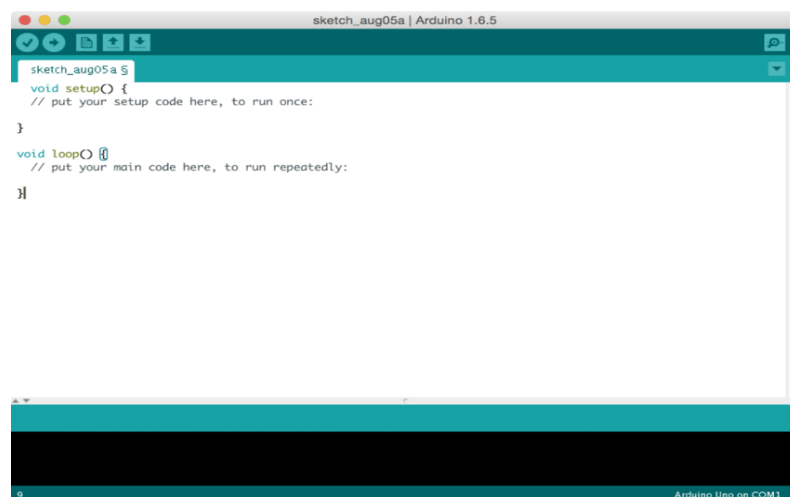
Pada penelitian ini, LED digunakan sebagai indikator visual untuk menunjukkan status koneksi WiFi pada sistem keamanan berbasis ESP32-CAM. Pemilihan LED sebagai indikator didasarkan pada karakteristiknya yang sederhana, mudah diintegrasikan dengan pin keluaran mikrokontroler, serta tidak membutuhkan rangkaian pengendali tambahan yang kompleks. Dengan adanya indikator LED, pengguna dapat mengetahui kondisi operasional sistem secara langsung sebelum menggunakan fitur monitoring dan kendali melalui Telegram Bot.

2.6. Arduino IDE (*Integrated Development Environment*)

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, melakukan kompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler. Perangkat lunak ini banyak digunakan pada pengembangan sistem *embedded* dan *Internet of Things* (IoT) karena memiliki antarmuka yang sederhana serta mendukung berbagai jenis papan mikrokontroler [11].

Pada penelitian ini, Arduino IDE dipilih sebagai lingkungan pengembangan karena memiliki kompatibilitas dengan ESP32-CAM serta mendukung proses pemrograman perangkat keras yang digunakan pada sistem keamanan berbasis IoT. Dibandingkan lingkungan pemrograman mikrokontroler lain yang membutuhkan konfigurasi lebih kompleks, Arduino IDE menyediakan dukungan library yang memudahkan integrasi komunikasi WiFi, sensor *reed switch*, buzzer, kamera ESP32-CAM, dan Telegram Bot.

Pemilihan Arduino IDE mendukung proses pengembangan sistem karena memungkinkan implementasi program dilakukan secara sederhana dan fleksibel, terutama pada tahap pengujian respons sensor, pengendalian aktuator, serta komunikasi antara perangkat dengan aplikasi Telegram. Perangkat lunak ini dapat diunduh secara resmi melalui situs web Arduino pada halaman perangkat lunak yang tersedia di <https://www.arduino.cc/en/software/>.



Gambar 6. Tampilan Arduino Ide.

2.7. Telegram Bot

Telegram merupakan aplikasi pesan instan berbasis *cloud* yang mendukung pengiriman pesan teks, gambar, dokumen, serta notifikasi melalui jaringan internet. Telegram menyediakan fitur *Bot Application Programming Interface* (Bot API) yang memungkinkan integrasi antara aplikasi Telegram dengan perangkat berbasis mikrokontroler maupun sistem *Internet of Things* (IoT). Melalui Bot API,

perangkat dapat mengirimkan informasi secara otomatis dan menerima perintah pengguna untuk mendukung fungsi monitoring dan kontrol jarak jauh [12]

Pada sistem keamanan berbasis IoT, pemilihan media komunikasi menjadi bagian penting karena berhubungan dengan mekanisme penyampaian informasi kepada pengguna. Telegram Bot dipilih pada penelitian ini karena menyediakan antarmuka komunikasi yang langsung digunakan oleh pengguna tanpa memerlukan aplikasi monitoring tambahan. Pengguna dapat menerima notifikasi kondisi sistem dan memberikan perintah kendali melalui aplikasi Telegram yang tersedia pada perangkat komunikasi umum.

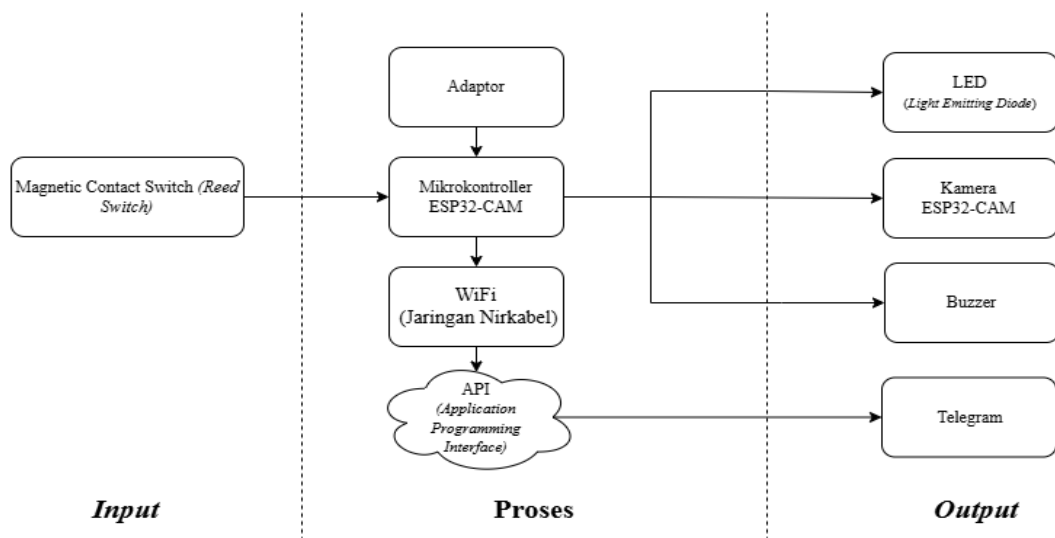
Dibandingkan dengan MQTT yang banyak digunakan sebagai protokol komunikasi machine-to-machine pada sistem IoT, Telegram Bot lebih sesuai untuk penelitian ini karena fokus sistem adalah interaksi langsung antara perangkat keamanan dan pengguna. MQTT umumnya membutuhkan broker serta aplikasi tambahan sebagai penerima data, sedangkan Telegram Bot telah menyediakan layanan komunikasi berbasis pesan yang dapat langsung digunakan untuk menerima notifikasi dan mengirimkan perintah kontrol.

Pada penelitian ini, Telegram Bot digunakan sebagai media komunikasi jarak jauh antara ESP32-CAM dan pengguna untuk mengirimkan notifikasi kondisi pintu, mengirimkan hasil pengambilan gambar, serta menerima perintah kontrol sistem.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Blok

Diagram blok sistem merupakan bagian dari skema perancangan penelitian alat yang menggambarkan alur kerja sistem keamanan residensial berbasis *Internet of Things* (IoT). Diagram blok sistem ditunjukkan pada gambar 6 yang terdiri dari bagian *input*, *proses*, dan *output*.



Gambar 7. Diagram Blok Sistem.

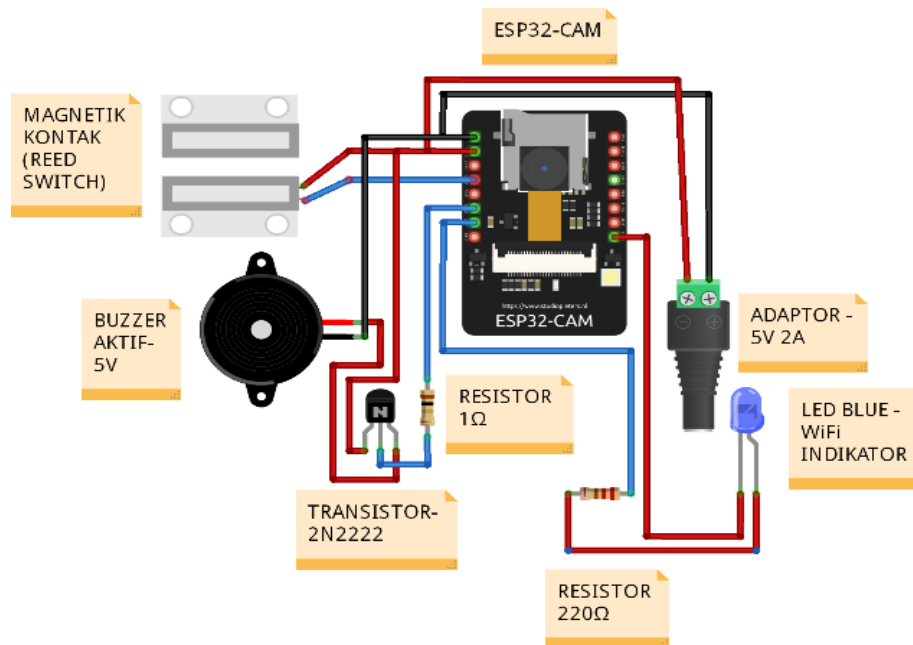
Pada bagian input, Sensor magnetik pintu (*Reed Switch*) berfungsi mendeteksi kondisi pintu. Sinyal dari sensor diterima oleh mikrokontroler ESP32-CAM pada bagian proses yang memperoleh suplai daya dari adaptor. ESP32-CAM memproses data untuk mengendalikan LED, buzzer, dan kamera sebagai keluaran lokal, serta mengirimkan notifikasi melalui jaringan WiFi menuju API Telegram. Pada bagian output, informasi kondisi sistem diteruskan ke pengguna melalui Telegram. Perancangan ini bertujuan untuk merealisasikan sistem monitoring kondisi pintu yang terhubung ke jaringan internet sehingga informasi dapat diterima secara jarak jauh.

3.2. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan merakit komponen utama sistem alarm keamanan residensial berbasis Internet of Things (IoT), yang terdiri dari ESP32-CAM sebagai mikrokontroler, sensor magnetik pintu (reed switch), buzzer aktif 5V, LED indikator WiFi, serta adaptor 5V 2A sebagai catu daya sistem.

ESP32-CAM berfungsi sebagai pusat pengolahan data untuk membaca kondisi sensor, mengendalikan buzzer dan LED, serta melakukan komunikasi jaringan. Sensor reed switch

dihubungkan ke GPIO13 dengan konfigurasi INPUT_PULLUP pada program. Buzzer dikendalikan melalui GPIO14 menggunakan transistor NPN 2N2222 sebagai penguat arus sekaligus saklar elektronik. LED dipasang dengan resistor pembatas arus sebagai indikator status koneksi WiFi. Seluruh rangkaian dirakit pada PCB universal menggunakan metode penyolderan permanen untuk menjaga kestabilan koneksi. Gambar 8 menunjukkan rangkaian keseluruhan perangkat keras yang menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem.



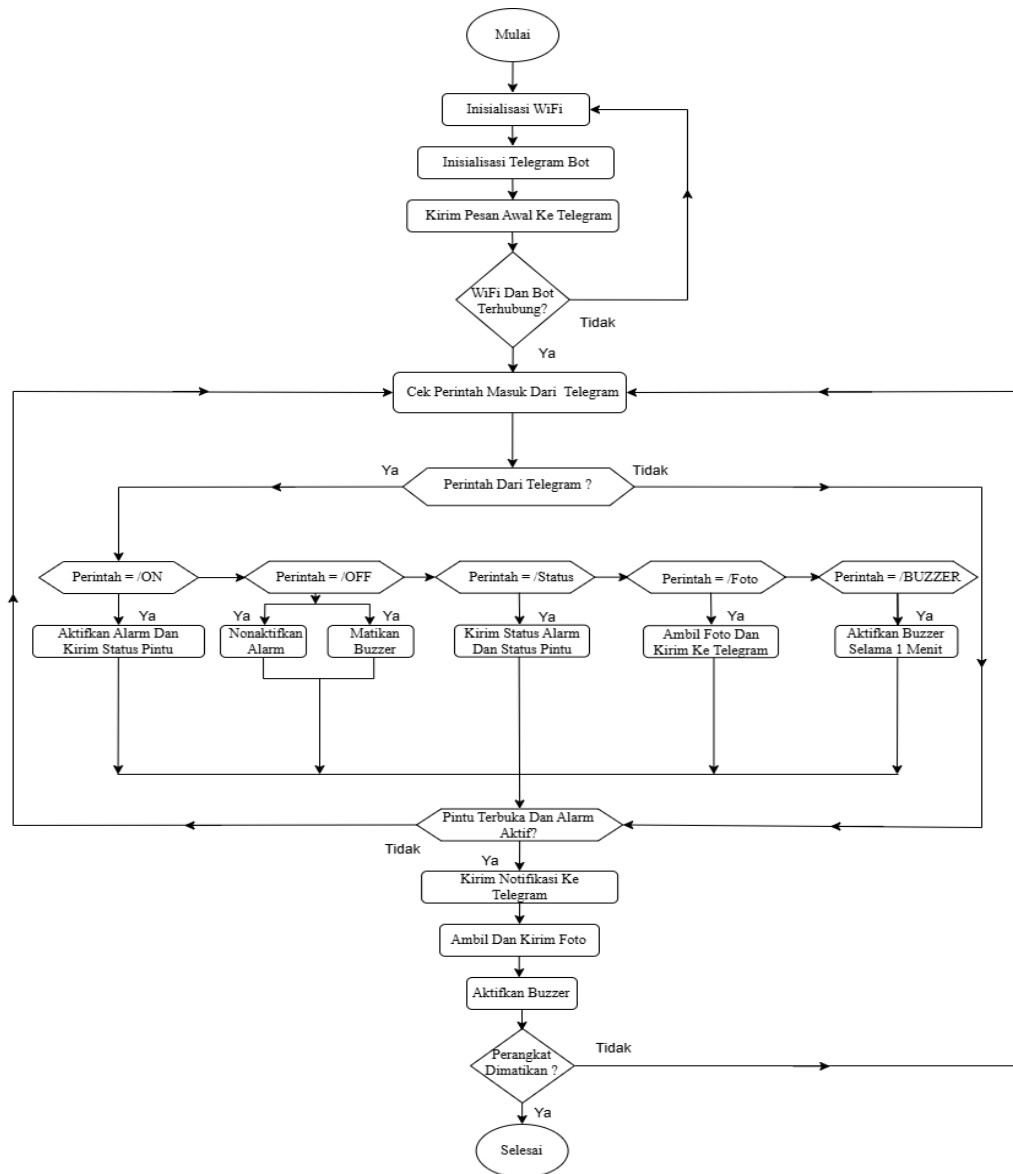
Gambar 8. Rangkaian Keseluruhan Alat

3.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan untuk mengatur proses kerja sistem mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data, hingga pengiriman informasi kepada pengguna melalui jaringan internet. Program diimplementasikan pada ESP32-CAM sebagai pengendali utama sistem menggunakan Arduino IDE.

Proses perangkat lunak diawali dengan inisialisasi pin input dan output, koneksi jaringan WiFi, serta komunikasi dengan Telegram Bot. Setelah sistem terhubung, ESP32-CAM melakukan pemantauan kondisi sensor reed switch secara berkala untuk mendeteksi perubahan status pintu. Ketika kondisi pintu berubah pada saat sistem aktif, perangkat akan mengaktifkan buzzer sebagai peringatan lokal, melakukan pengambilan gambar melalui kamera, dan mengirimkan notifikasi kepada pengguna melalui Telegram.

Selain proses otomatis berdasarkan kondisi sensor, sistem juga dirancang untuk menerima perintah dari pengguna melalui Telegram sebagai bagian dari mekanisme pengendalian jarak jauh. Perintah yang diterima diproses oleh ESP32-CAM untuk mengatur status sistem serta menjalankan fungsi tertentu sesuai dengan logika program yang telah ditanamkan. Alur kerja perangkat lunak sistem ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Flowchart perangkat lunak sistem.

3.4. Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem alarm berbasis sensor magnetik dan notifikasi Telegram. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi koneksi WiFi yang terhubung dan stabil; variasi latensi jaringan tidak dianalisis dalam penelitian ini.

Data diperoleh melalui observasi langsung terhadap respons sensor, buzzer, dan notifikasi Telegram. Pengukuran waktu respons menggunakan stopwatch manual berpotensi menimbulkan galat akibat keterlambatan respons manusia dalam memulai dan menghentikan pengukuran. Oleh karena itu, hasil delay yang diperoleh dalam penelitian ini tidak merepresentasikan nilai latensi komunikasi secara absolut, melainkan menggambarkan estimasi waktu respons sistem secara keseluruhan pada kondisi pengujian (end-to-end response time). Faktor seperti proses pembacaan sensor, pengolahan data oleh ESP32-CAM, komunikasi jaringan WiFi, serta penerimaan notifikasi melalui Telegram masih menjadi satu kesatuan dalam nilai pengukuran yang diperoleh. Setiap pengujian dilakukan sebanyak 10 kali. Nilai rata-rata waktu respons dihitung menggunakan persamaan:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

dengan X_i adalah waktu respons pada percobaan ke- i dan n jumlah percobaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Prototipe Sistem

Implementasi perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 10 berupa prototipe sistem yang dipasang pada maket residensial sebagai media pengujian.



Gambar 10. Implementasi perangkat keras sistem pada maket residensial.

4.2. Pengujian Deteksi Pintu (*Sensor Reed Switch*)

Pengujian deteksi pintu dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor *reed switch* dalam mendeteksi perubahan kondisi pintu berdasarkan variasi jarak magnet terhadap sensor. Pengujian dilakukan dengan mengubah jarak magnet secara bertahap pada rentang 0,05 cm hingga 5 cm dan mencatat nilai pembacaan status sensor Low atau High serta hasil deteksi kondisi pintu.

Tabel 1. Hasil pengujian deteksi sensor *reed switch* terhadap jarak magnet.

Jarak Magnet (cm)	Status Sensor	Hasil Deteksi
0,05	Low	Tertutup
1,00	Low	Tertutup
1,05	Low	Tertutup
2,00	High	Terbuka
2,05	High	Terbuka
3,00	High	Terbuka
3,05	High	Terbuka
4,00	High	Terbuka
4,05	High	Terbuka
5,00	High	Terbuka

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 1, jarak pemasangan magnet dan sensor yang direkomendasikan untuk memperoleh deteksi pintu tertutup secara stabil adalah kurang dari 2 cm, sedangkan jarak lebih dari 2 cm menyebabkan sensor mendeteksi kondisi pintu terbuka.

4.3. Pengujian Fungsi Alarm (Buzzer)

Pengujian fungsi alarm (buzzer) dilakukan pada dua kondisi aktivasi, yaitu aktivasi otomatis saat pintu dibuka ketika alarm dalam keadaan aktif dan aktivasi manual melalui perintah */BUZZER* pada Telegram. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi koneksi WiFi yang terhubung dan stabil; variasi latensi jaringan tidak dianalisis dalam penelitian ini.

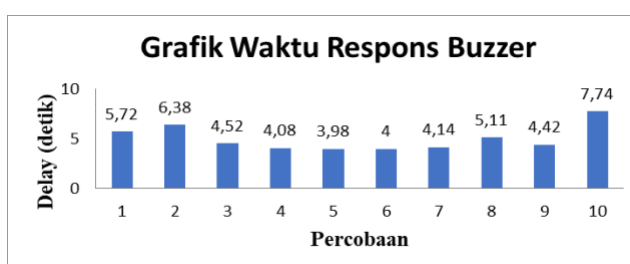
Tabel 2. Hasil pengujian fungsi *buzzer* pada sistem alarm.

Status Pintu	Status Alarm	Perintah <i>/BUZZER</i>	Output <i>buzzer</i>	Mode aktivasi
Terbuka	Aktif	Tidak	Menyala	Otomatis
Tertutup	Aktif	Tidak	Mati	-
Terbuka	Tidak aktif	Tidak	Mati	-
Tertutup	Tidak aktif	Tidak	Mati	-
Terbuka	Aktif	Ya	Menyala	Manual

Status Pintu	Status Alarm	Perintah /BUZZER	Output buzzer	Mode aktivasi
Tertutup	Aktif	Ya	Menyala	Manual
Terbuka	Tidak aktif	Ya	Menyala	Manual
Tertutup	Tidak aktif	Ya	Menyala	Manual

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2, buzzer teramati menyala secara otomatis ketika pintu dibuka pada kondisi alarm aktif. Pada kondisi pintu tertutup atau alarm tidak aktif, tanpa perintah manual, buzzer tidak menyala. Selain itu, aktivasi manual melalui perintah /BUZZER berhasil menyalakan buzzer, dan sistem mengirimkan pesan otomatis tentang aktivasi buzzer ke Bot Telegram. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi kendali jarak jauh berfungsi sesuai dengan implementasi dalam program Arduino IDE.

Untuk menilai kecepatan respons sistem pada aktivasi otomatis, waktu respons buzzer diukur sejak pintu dibuka hingga buzzer mulai aktif, dengan pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan stopwatch manual. Perlu dicatat bahwa pengukuran ini berpotensi menimbulkan galat akibat keterlambatan respons manusia, sehingga hasil delay yang tercatat hanya merepresentasikan estimasi dan tidak menghitung galat yang mungkin terjadi.



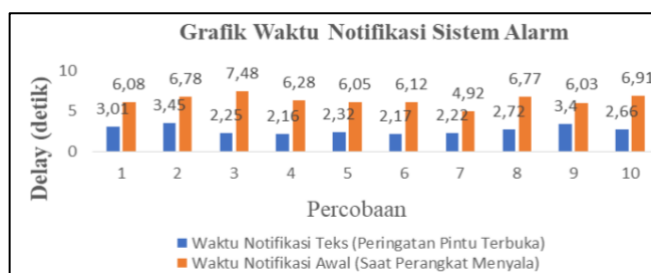
Gambar 11. Grafik waktu respons buzzer.

Berdasarkan Gambar 11, rata-rata waktu respons buzzer adalah 5,01 detik dengan rentang waktu antara 3,98-7,74 detik. Nilai rata-rata dihitung menggunakan persamaan (1) berdasarkan 10 kali percobaan yang diukur menggunakan stopwatch manual. Waktu respons buzzer yang berada pada kisaran beberapa detik dipengaruhi oleh proses komunikasi jaringan dan pemrosesan sistem, sehingga kinerja sistem sangat bergantung pada stabilitas koneksi WiFi selama pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan suara melalui buzzer dalam waktu yang terukur setelah pemicu pintu terjadi.

4.4. Pengujian Notifikasi Telegram Otomatis

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi dua aspek utama, yaitu keberhasilan pengiriman notifikasi dan waktu respons pengiriman pesan melalui Telegram. Dua kondisi diuji dalam pengujian ini. Pertama, pengiriman pesan awal saat perangkat dinyalakan (startup), dan kedua, pengiriman notifikasi otomatis berupa teks dan foto saat pintu terbuka pada kondisi alarm aktif. Seluruh pengujian dilakukan pada koneksi WiFi yang terhubung dan stabil, sementara pengaruh latensi jaringan tidak dianalisis dalam penelitian ini.

Keberhasilan fungsi sistem ditunjukkan dengan terkirimnya otomatis pesan awal saat startup serta terkirimnya notifikasi teks dan foto saat pintu terbuka (alarm aktif) pada seluruh percobaan. Untuk mengevaluasi kinerja sistem, waktu respons diukur menggunakan stopwatch sebanyak 10 kali pada masing-masing kondisi, yaitu sejak pemicu terjadi hingga pesan diterima pada aplikasi Telegram. Perlu dicatat bahwa pengukuran ini berpotensi menimbulkan galat akibat keterlambatan respons manusia, sehingga hasil delay yang tercatat hanya merepresentasikan estimasi dan tidak menghitung galat yang mungkin terjadi.



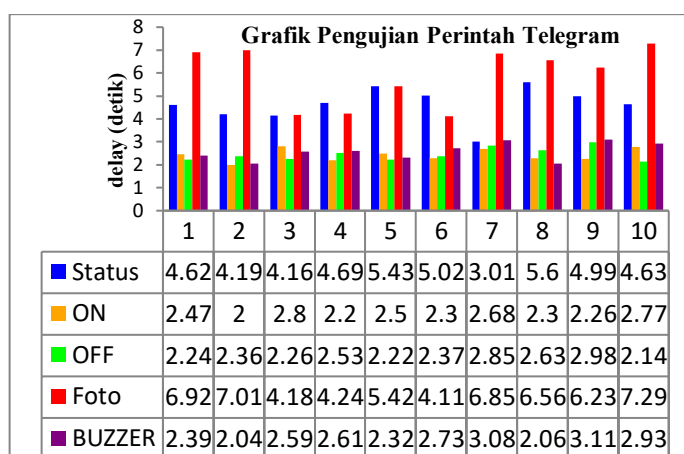
Gambar 12. Grafik Waktu Notifikasi Sistem Alarm.

Berdasarkan Gambar 12, waktu respons notifikasi teks saat pintu terbuka (alarm aktif) memiliki rata-rata 2,64 detik dengan rentang 2,16-3,45 detik, sedangkan waktu respons notifikasi awal saat *startup* memiliki rata-rata 6,34 detik dengan rentang 4,92-7,48 detik. Nilai rata-rata dihitung menggunakan Persamaan (1) pada Subbab 3.4 berdasarkan 10 kali percobaan untuk masing-masing kondisi. Waktu respons yang lebih tinggi pada fase *startup* disebabkan oleh proses inialisasi sistem dan penyambungan WiFi sebelum komunikasi operasional dengan Bot Telegram berlangsung.

4.5. Pengujian Perintah Telegram (Kontrol Manual)

Pengujian perintah Telegram dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan respons sistem serta waktu respons terhadap perintah `/status`, `/ON`, `/OFF`, `/foto`, dan `/BUZZER` yang dikirim melalui bot Telegram. Seluruh pengujian dilakukan pada koneksi WiFi yang terhubung dan stabil; pengaruh latensi jaringan tidak dianalisis dalam penelitian ini. Setiap perintah diuji sebanyak 10 kali percobaan, dan respons yang diterima teramati sesuai dengan logika program yang dirancang pada Arduino IDE.

Untuk mengevaluasi kinerja sistem, waktu respons diukur menggunakan *stopwatch* dengan menghitung selang waktu sejak perintah dikirim hingga respons diterima pada Telegram. Perlu dicatat bahwa pengukuran ini berpotensi menimbulkan galat akibat keterlambatan respons manusia, sehingga hasil delay yang tercatat hanya merepresentasikan estimasi dan tidak menghitung galat yang mungkin terjadi.



Gambar 13. Grafik waktu respons perintah Telegram.

Berdasarkan Gambar 13, rata-rata waktu respons untuk setiap perintah pada percobaan adalah sebagai berikut: `/status` sebesar 4,67 detik, `/ON` sebesar 2,32 detik, `/OFF` sebesar 2,37 detik, `/foto` sebesar 6,21 detik, dan `/BUZZER` sebesar 2,59 detik. Nilai rata-rata ini dihitung menggunakan Persamaan (1) pada Subbab 3.4, berdasarkan 10 kali percobaan untuk masing-masing perintah. Waktu respons perintah `/foto` cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan perintah lainnya, hal ini dikarenakan sistem harus menjalankan proses tambahan berupa pengambilan dan pengiriman gambar. Sementara itu, perintah `/ON`, `/OFF`, `/BUZZER`, dan `/status` menunjukkan waktu respons yang relatif lebih cepat dibandingkan `/foto`, dengan perintah `/status` cenderung lebih tinggi dibandingkan perintah `/ON` dan `/OFF`, karena melibatkan pembacaan status alarm dan kondisi pintu sebelum balasan dikirim. Secara keseluruhan, sistem mampu merespons seluruh perintah Telegram dengan konsisten dalam waktu yang terukur pada kondisi pengujian.

4.6. Comparison with Previous Studies

Perbandingan dengan penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui posisi sistem yang dikembangkan berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah diperoleh. Berbeda dengan pembahasan pada bagian pendahuluan yang menjelaskan perkembangan penelitian sistem keamanan berbasis IoT, perbandingan pada bagian ini difokuskan pada karakteristik dan performa sistem, meliputi kemampuan notifikasi Telegram, penggunaan kamera, alarm, serta metode evaluasi performa yang dilakukan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis IoT menggunakan sensor, kamera, mikrokontroler, dan Telegram sebagai media komunikasi jarak jauh. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengujian fungsi dasar sistem, seperti keberhasilan deteksi, pengiriman notifikasi, dan pengambilan gambar. Sementara itu, karakteristik waktu respons pada beberapa fungsi sistem serta evaluasi konsistensi operasi dalam periode panjang belum banyak dibahas secara kuantitatif. Perbandingan karakteristik dan performa sistem keamanan berbasis IoT dengan penelitian terdahulu ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan karakteristik dan performa sistem keamanan berbasis IoT dengan penelitian terdahulu.

Penelitian	Delay Telegram	Kamera	Alarm	Evaluasi Performa
Haidar (2023)	Tidak dilaporkan	ESP32-CAM	Ya	Evaluasi fungsi sistem
Arifin dan Frenando (2022)	3,244 detik	VC0706	Tidak dilaporkan	Pengujian delay layanan
Kurniawan dan Haryanto (2023)	Tidak dilaporkan	ESP32-CAM	Ya	Pengujian fungsi sistem
Manullang dan Rumere (2024)	Tidak dilaporkan	ESP32-CAM	Ya	Pengujian fungsi sistem
Syaban et al. (2024)	Tidak dilaporkan	Tidak menjadi fokus utama	Tidak dilaporkan	Evaluasi fungsi sistem
Penelitian ini	2,64 detik	ESP32-CAM	Ya	Response time evaluation dan Long-Term Operational Consistency Test

Berdasarkan Tabel 3, penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa sistem keamanan berbasis IoT mampu mengintegrasikan sensor, kamera, dan komunikasi Telegram untuk mendukung pemantauan jarak jauh. Penelitian [2], [6], serta [3] telah memanfaatkan ESP32-CAM dan Telegram untuk mendukung fungsi pengambilan gambar serta pengiriman informasi kepada pengguna. Sementara itu, penelitian [8] melaporkan nilai delay layanan data sebesar 3,244 detik pada sistem keamanan berbasis Telegram.

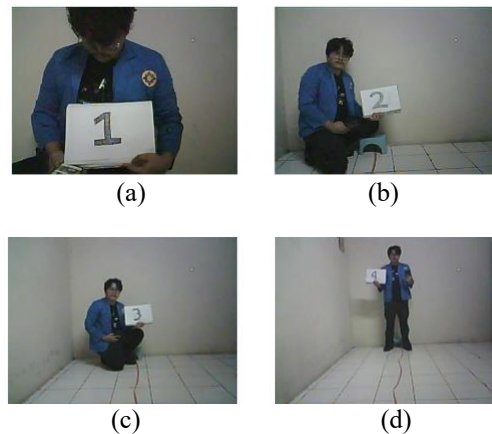
Pada penelitian ini, nilai waktu respons Telegram sebesar 2,64 detik diperoleh melalui pengukuran respons sistem menggunakan stopwatch manual pada kondisi koneksi WiFi yang stabil. Pengukuran tersebut merepresentasikan end-to-end response time, yaitu waktu keseluruhan sejak perubahan kondisi sensor terjadi hingga notifikasi diterima oleh pengguna. Oleh karena itu, nilai yang diperoleh tidak menggambarkan latensi jaringan secara absolut, karena masih mencakup beberapa proses, seperti pembacaan sensor, pengolahan data oleh ESP32-CAM, komunikasi jaringan WiFi, serta proses penerimaan notifikasi melalui Telegram.

Selain notifikasi Telegram, penelitian ini juga melakukan pengukuran waktu respons pada fungsi lain, yaitu aktivasi buzzer dan pengambilan gambar menggunakan ESP32-CAM. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini tidak hanya berfokus pada implementasi sistem keamanan berbasis IoT, tetapi juga melakukan karakterisasi performa berdasarkan waktu respons setiap proses.

Selain evaluasi waktu respons, penelitian ini melakukan Long-Term Operational Consistency Test selama periode Mei hingga Desember 2025 untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mempertahankan fungsi operasional pada penggunaan jangka panjang. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini terletak pada kombinasi antara pengembangan prototipe keamanan berbasis IoT dan evaluasi performa sistem secara terukur, yang belum banyak dibahas pada penelitian terdahulu.

4.7. Pengujian Pengambilan Gambar (ESP32-CAM)

Pengujian pengambilan gambar dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan kamera ESP32-CAM dalam menangkap objek pada variasi jarak pengamatan. Pengambilan gambar dilakukan pada jarak 1 m, 2 m, 3 m, dan 4 m menggunakan penanda visual berupa kertas berisi angka untuk memudahkan identifikasi hasil foto. Pengujian kamera dilakukan pada pencahayaan ruangan yang terang, namun tingkat iluminansi (*lux*) tidak diukur sehingga kinerja pada variasi iluminansi belum dapat dibandingkan secara kuantitatif. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi sistem aktif dan terhubung ke jaringan WiFi yang stabil.



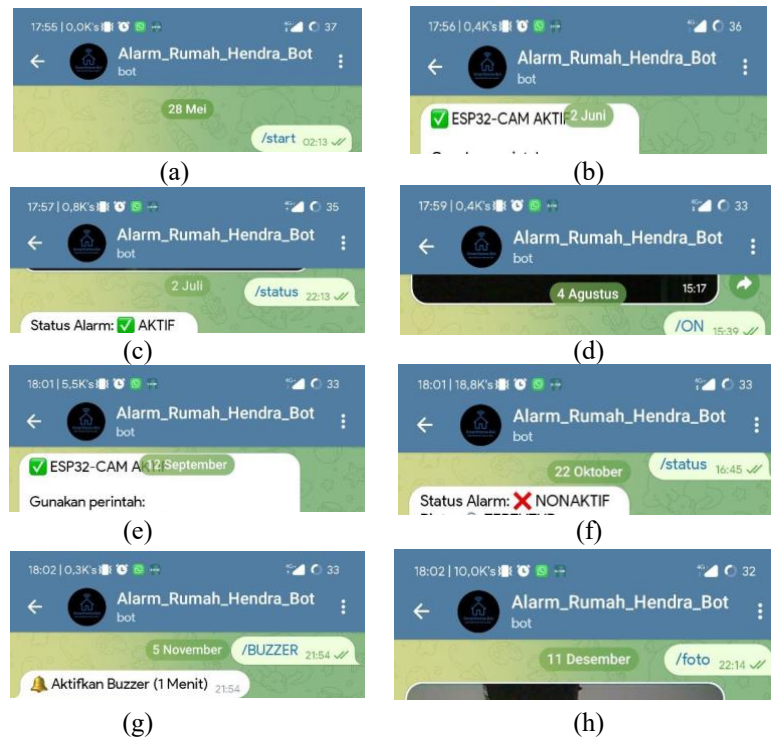
Gambar 14. Hasil pengambilan gambar pada jarak 1 meter sampai 4 meter.

Berdasarkan Gambar 14, objek dan angka penanda masih dapat dikenali pada seluruh jarak pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa kamera ESP32-CAM mampu mendukung kebutuhan pemantauan visual pada rentang jarak 1-4 m pada kondisi pencahayaan pengujian, sehingga memadai untuk digunakan sebagai verifikasi visual ketika sistem mengirimkan notifikasi.

4.8. Long-Term Operational Consistency Test

Long-Term Operational Consistency Test dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem alarm keamanan residensial berbasis ESP32-CAM dan Bot Telegram dalam mempertahankan fungsi operasional selama periode pengamatan jangka panjang. Pengujian dilakukan melalui observasi operasional sistem pada periode Mei hingga Desember 2025 dengan kondisi perangkat aktif dan terhubung pada jaringan WiFi yang stabil.

Evaluasi konsistensi operasi dilakukan berdasarkan riwayat notifikasi Telegram yang tercatat selama periode pengamatan. *Timestamp* pada notifikasi Telegram digunakan sebagai indikator bahwa sistem masih mampu menjalankan fungsi komunikasi jarak jauh, yaitu mengirimkan informasi kondisi sistem kepada pengguna pada waktu yang berbeda. Bukti aktivitas notifikasi Telegram selama periode Mei hingga Desember 2025 ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Bukti *timestamp* notifikasi Telegram dari bulan Mei hingga Desember 2025.

Berdasarkan hasil observasi, sistem tetap menghasilkan notifikasi Telegram selama periode pengamatan pada berbagai waktu. Hal tersebut menunjukkan bahwa mekanisme deteksi kondisi pintu, pemrosesan data oleh ESP32-CAM, serta komunikasi melalui Bot Telegram dapat tetap berjalan secara konsisten pada kondisi pengujian. Hasil ini menunjukkan kemampuan sistem dalam mempertahankan fungsi utama sebagai perangkat keamanan residensial berbasis IoT untuk penggunaan jangka panjang.

Namun, pengujian ini tidak dikategorikan sebagai pengujian *reliability* secara kuantitatif karena penelitian tidak melakukan perhitungan parameter keandalan seperti *Mean Time Between Failures* (MTBF), jumlah kegagalan sistem (*failure event*), tingkat keberhasilan pengiriman notifikasi, maupun durasi *downtime*. Oleh karena itu, hasil pengujian pada bagian ini digunakan untuk menggambarkan konsistensi operasional (*operational consistency*) sistem selama periode pengamatan, bukan untuk menentukan nilai keandalan statistik perangkat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan rangkaian pengujian yang telah dilakukan, sistem keamanan residensial berbasis IoT menggunakan ESP32-CAM dan Telegram Bot mampu menjalankan fungsi deteksi pintu, peringatan lokal, pengiriman notifikasi jarak jauh, serta kontrol sistem sesuai dengan rancangan program pada kondisi koneksi WiFi yang terhubung dan stabil. Evaluasi performa sistem menunjukkan bahwa waktu respons aktivasi buzzer ketika terjadi perubahan kondisi pintu memiliki nilai rata-rata sebesar 5,01 detik dengan rentang 3,98-7,74 detik. Sementara itu, notifikasi Telegram untuk peringatan pintu terbuka memiliki waktu respons rata-rata sebesar 2,64 detik dengan rentang 2,16-3,45 detik, sedangkan *system startup notification response time* memiliki rata-rata 6,34 detik dengan rentang 4,92-7,48 detik. Sistem juga mampu merespons perintah Telegram, yaitu /status, /ON, /OFF, /foto, dan /BUZZER, dengan waktu respons masing-masing sebesar 4,67 detik, 2,32 detik, 2,36 detik, 6,21 detik, dan 2,59 detik. Waktu respons tertinggi terjadi pada perintah /foto karena melibatkan proses akuisisi gambar menggunakan ESP32-CAM dan pengiriman citra melalui jaringan internet. Hasil pengujian kamera menunjukkan bahwa objek dan penanda visual masih dapat dikenali pada jarak 1-4 m dengan kondisi pencahayaan terang. Pengujian tersebut dilakukan pada lingkungan dalam ruangan tanpa pengukuran tingkat *iluminansi* (lux), sehingga hasil pengenalan citra terbatas pada kondisi pengujian yang digunakan. Selain pengujian respons sistem, *Long-Term Operational Consistency Test* dilakukan selama periode Mei hingga Desember 2025 berdasarkan pencatatan notifikasi Telegram. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sistem tetap mampu menjalankan fungsi pengiriman notifikasi selama periode pengujian pada kondisi operasional yang digunakan. Namun, evaluasi tersebut tidak dimaksudkan sebagai pengukuran *Mean Time Between Failure* (MTBF), melainkan sebagai pengamatan konsistensi operasi sistem dalam penggunaan jangka panjang. Secara keseluruhan, penelitian ini tidak hanya mengembangkan prototipe sistem keamanan residensial berbasis IoT, tetapi juga memberikan evaluasi performa melalui karakterisasi dan pengujian konsistensi operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi ESP32-CAM, sensor *reed switch*, buzzer, dan Telegram Bot mampu menyediakan fungsi monitoring, peringatan lokal, serta kendali jarak jauh sesuai rancangan pada kondisi pengujian yang telah ditentukan.

REFERENSI

- [1] "Statistik Kriminal 2024/2025," *Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta*. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/publication/2025/12/12/2edc8ea4c35b19ba912fc7e4/statistik-kriminal-2024-2025.html>
- [2] Andry Haidar, "Sistem keamanan pintu rumah berbasis aplikasi Telegram dan Internet of Things (IoT)," *J. RESTIKOM Ris. Tek. Inform. dan Komput.*, vol. 4, no. 3, pp. 93–99, 2023, doi: 10.35313/jitel.v4.i2.2024.137-144.
- [3] E. V. Manullang and S. Rumere, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet Of Things (IoT) Dengan Menggunakan Sensor Pir Dan Esp32-Cam," *J. Teknol. Inf.*, vol. 12, no. 1, pp. 9–15, 2024, doi: 10.58839/jti.v12i1.1359.
- [4] H. M. Syaban, T. Mufizar, and R. Ruuhwan, "Rancang Bangun Alat Keamanan Rumah Menggunakan Sensor Pir Dengan Notifikasi Telegram Berbasis Iot Dan Catu Daya Plts," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4126.
- [5] H. Touqeer, S. Zaman, R. Amin, and M. Hussain, *Smart home security : challenges , issues and solutions at different IoT layers*, no. 0123456789. Springer US, 2021, doi: 10.1007/s11227-021-03825-1.
- [6] H. Kurniawan and S. Hariyanto, "Designing Home Security With Esp32-Cam and IoT-Based Alarm Notification Using Telegram," vol. 6, no. 2, pp. 0–7, 2023, doi: 10.32877/bt.v6i2.932.
- [7] S. A. Arrahma and R. Mukhaiyar, "Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 60–66, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.347.

- [8] J. Arifin and J. Frenando, "Sistem Keamanan Pintu Rumah Berbasis Internet of Things via Pesan Telegram Home Door Security System Based on Internet of Things Through Telegram Message," *Telka*, vol. 8, no. 1, pp. 49–59, 2022, doi: 10.15575/telka.v8n1.49-59.
- [9] U. Pratiwi and Z. Irayani, "Prototipe Alat Pengujian Gelombang dengan Buzzer Generator Frekuensi Sebagai Alternatif Pengusir Tikus," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 12, no. 4, pp. 526–533, 2023, doi: 10.25077/jfu.12.4.526-533.2023.
- [10] F. R. Saputri and L. B. Rahawarin, "Light Emiting Diode Control System based on the Microcontroller and Smartphone Application," vol. 14, no. 2, pp. 60–67, 2022, doi: 10.31937/sk.v14i2.2815.
- [11] S. Suleman, A. S. Hidayat, D. Ferdiansyah, P. M. Akhirianto, and N. Nuryadi, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi kelembaban tanah dan Penyiram Otomatis Berbasis Arduino Uno," *Indones. J. Softw. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 240–249, 2020, doi: 10.31294/ijse.v6i2.9120.
- [12] Dhodit Rengga Tisna et al., "Telegram untuk monitoring dan kontrol kualitas air menggunakan esp32," vol. 9, no. 3, pp. 1292–1306, 2024, doi: 10.29100/jipi.v9i3.5329.