

Implementasi Sistem Keamanan Rumah Cerdas Berbasis IOT Menggunakan ESP32-CAM Dengan Pengiriman Notifikasi Gambar Secara Real-Time

Kristianus Catur Prasetya Ajang¹, Azahari², Heny Pratiwi³

^{1,2} Program Studi Teknik Informatika, ³ Program Studi Sistem Informasi - STMIK Widya Cipta Dharma

Jl. M. Yamin No.25, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur
2143057@wicida.ac.id, azahari@wicida.ac.id, henypratiwi@wicida.ac.id

Abstrak— Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* mendorong pengembangan sistem keamanan rumah yang lebih responsif, terintegrasi, dan mampu memberikan informasi secara cepat kepada pengguna. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem keamanan rumah cerdas berbasis ESP32-CAM yang mampu mendeteksi pergerakan dan mengirimkan notifikasi berupa gambar secara real-time melalui aplikasi Telegram. Sistem dirancang dengan memanfaatkan sensor *Passive Infrared (PIR)* sebagai pendeteksi gerakan yang berfungsi sebagai pemicu aktivasi kamera pada modul ESP32-CAM untuk mengambil gambar. Gambar kemudian dikirimkan kepada pengguna melalui jaringan internet menggunakan Telegram Bot API. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, serta pengujian sistem secara langsung dengan mengukur kinerja deteksi dan waktu respons pengiriman data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi pergerakan secara akurat dan mengirimkan notifikasi gambar dengan waktu tunda rata-rata kurang dari 5 detik, bergantung pada kondisi jaringan. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi ESP32-CAM dan Telegram Bot API dapat menjadi solusi sistem keamanan rumah berbasis IoT yang efektif, ekonomis, dan mudah diimplementasikan.

Kata kunci—*Internet of Things (IoT)*, ESP32-CAM, sistem keamanan rumah, deteksi gerakan, Telegram Bot API, notifikasi real-time.

Abstract—The development of *Internet of Things (IoT)* technology is driving the development of more responsive, integrated home security systems capable of providing users with information quickly. This research aims to implement an ESP32-CAM-based smart home security system capable of detecting movement and sending real-time image notifications via the Telegram application. The system is designed using a *Passive Infrared (PIR)* sensor as a motion detector, which functions as a trigger for activating the camera on the ESP32-CAM module to capture images. The images are then sent to users over the internet using the Telegram Bot API. The research methods include hardware design, software development, and direct system testing by measuring detection performance and data transmission response time. The test results show that the system is able to accurately detect movement and send image notifications with an average delay of less than 5 seconds, depending on network conditions. These results demonstrate that the integration of the ESP32-CAM and the Telegram Bot API can be an effective, economical, and easy-to-implement IoT-based home security system solution.

Keywords—*Internet of Things (IoT)*, ESP32-CAM, home security system, motion detection, Telegram Bot API, real-time notification.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* telah membawa perubahan besar dalam berbagai bidang kehidupan, khususnya pada sistem keamanan rumah modern [1]. IoT memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data dan pengendalian secara otomatis tanpa memerlukan interaksi langsung manusia [2]. Teknologi ini memberikan kemudahan dalam proses monitoring dan pengendalian perangkat dari jarak jauh secara real-time sehingga mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem keamanan rumah [3].

Sistem keamanan rumah konvensional yang masih mengandalkan alarm suara atau pengawasan manual memiliki berbagai keterbatasan dalam memberikan informasi secara cepat dan akurat kepada pengguna [4]. Sistem tersebut umumnya hanya memberikan peringatan berupa bunyi alarm tanpa disertai informasi visual mengenai kondisi yang terjadi di area pemantauan [5]. Selain itu, pengguna tetap harus melakukan pengecekan secara langsung untuk memastikan sumber gangguan yang menyebabkan alarm aktif [4]. Kondisi tersebut menyebabkan sistem keamanan menjadi kurang efektif, terutama ketika pengguna berada di luar rumah atau lokasi yang jauh dari area monitoring [6]. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan rumah yang mampu memberikan informasi secara otomatis, cepat, dan dilengkapi bukti visual secara real-time [7].

Berbagai penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis IoT menggunakan sensor, kamera, dan media komunikasi berbasis internet. Penelitian yang dilakukan oleh Bartolomius Harpad, Salmon Salmon, dan Rizky Meizal Saputra dari STMIK Widya Cipta Dharma menunjukkan bahwa penggunaan NodeMCU ESP32 berbasis IoT mampu meningkatkan efektivitas monitoring lingkungan secara real-time melalui jaringan internet [8]. Penelitian lain oleh Salmon Salmon, Andi Yusika Rangan, dan Bagus Ari Ramadhan dari STMIK Widya Cipta Dharma berhasil mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis IoT menggunakan NodeMCU yang mampu

memberikan notifikasi otomatis ketika terjadi aktivitas mencurigakan [9].

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Jenifer Theresia Sirait dan Ahmad Imam Santoso dengan mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis IoT menggunakan sensor PIR dan aplikasi Telegram sebagai media notifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor PIR mampu mendeteksi aktivitas manusia secara otomatis dan mengirimkan notifikasi kepada pengguna dengan waktu respons yang cepat [10]. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Evanita Veronica Manullang dan S. Rumere menggunakan ESP32-CAM dan sensor PIR untuk mendukung sistem monitoring rumah berbasis internet. Sistem tersebut mampu melakukan pengambilan gambar secara otomatis ketika sensor mendeteksi adanya gerakan, kemudian mengirimkan gambar kepada pengguna secara real-time [11].

Selain itu, penelitian oleh Rio Wahyudi dan Edidas mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis ESP32-CAM menggunakan sensor PIR dan Telegram sebagai media komunikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi kamera dan sensor gerak mampu membantu pengguna dalam melakukan monitoring rumah secara otomatis dengan biaya implementasi yang relatif rendah [12]. Penelitian lain oleh Hollanda Arief Kusuma, S. B. Wijaya, dan D. Nusyirwan juga menunjukkan bahwa penggunaan ESP32-CAM dan Telegram efektif digunakan sebagai sistem notifikasi keamanan rumah berbasis IoT karena mampu mengirimkan informasi visual secara cepat kepada pengguna [13].

Penggunaan ESP32-CAM dalam sistem keamanan rumah memberikan berbagai keuntungan karena modul ini telah dilengkapi dengan kamera, WiFi, dan Bluetooth dalam satu perangkat. Selain memiliki ukuran yang ringkas, ESP32-CAM juga memiliki biaya implementasi yang relatif murah dibandingkan perangkat monitoring lainnya [14]. Modul ini mampu melakukan pengambilan gambar dan pengiriman data secara real-time melalui jaringan internet sehingga sangat cocok diterapkan pada sistem keamanan rumah berbasis IoT.

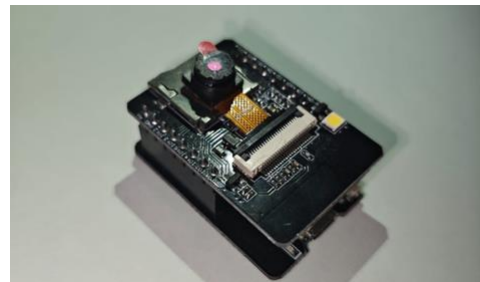
Dalam implementasi sistem keamanan rumah berbasis IoT, sensor Passive Infrared (PIR) berperan sebagai komponen utama untuk mendeteksi adanya aktivitas manusia. Sensor PIR bekerja dengan mendeteksi perubahan radiasi inframerah yang dipancarkan oleh tubuh manusia sehingga mampu mengenali adanya pergerakan di area pemantauan. Penggunaan sensor PIR memberikan keuntungan karena memiliki sensitivitas yang cukup baik terhadap gerakan manusia dengan konsumsi daya yang rendah [15]. Selain itu, sensor PIR memungkinkan sistem bekerja secara efisien karena kamera hanya aktif ketika terdapat gerakan yang terdeteksi.

Media komunikasi pada sistem keamanan rumah berbasis IoT juga menjadi faktor penting dalam mendukung proses pengiriman informasi secara real-time. Salah satu platform yang banyak digunakan adalah Telegram karena menyediakan Telegram Bot API yang mendukung pengiriman pesan, gambar, dan dokumen secara otomatis. Penggunaan Telegram sebagai media notifikasi memberikan beberapa keuntungan, seperti kemudahan implementasi, respons pengiriman data yang cepat, serta tidak memerlukan biaya tambahan seperti SMS gateway. Selain itu, Telegram dapat diakses melalui

berbagai perangkat mobile sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan monitoring keamanan rumah dari berbagai lokasi.

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah berhasil mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis IoT, sebagian besar implementasi masih memiliki beberapa keterbatasan. Beberapa sistem hanya mampu mengirimkan notifikasi berupa teks atau alarm tanpa menyertakan informasi visual secara langsung. Selain itu, beberapa implementasi masih memerlukan server tambahan atau perangkat pendukung lain yang meningkatkan kompleksitas dan biaya implementasi sistem. Faktor kestabilan jaringan internet juga menjadi salah satu kendala utama dalam proses pengiriman data secara real-time pada sistem IoT. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan rumah yang sederhana, ekonomis, mudah diimplementasikan, namun tetap mampu memberikan informasi visual secara cepat kepada pengguna.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem keamanan rumah cerdas berbasis IoT menggunakan ESP32-CAM yang terintegrasi dengan sensor Passive Infrared (PIR) dan Telegram Bot API. Sensor PIR digunakan sebagai pendeteksi gerakan yang berfungsi sebagai pemicu aktivasi kamera pada ESP32-CAM untuk mengambil gambar ketika terdapat aktivitas mencurigakan. Selanjutnya, gambar hasil deteksi dikirimkan secara otomatis kepada pengguna melalui aplikasi Telegram menggunakan jaringan internet. Dengan integrasi tersebut, sistem diharapkan mampu memberikan notifikasi keamanan rumah secara real-time, efektif, ekonomis, dan mudah diterapkan pada lingkungan rumah tangga.



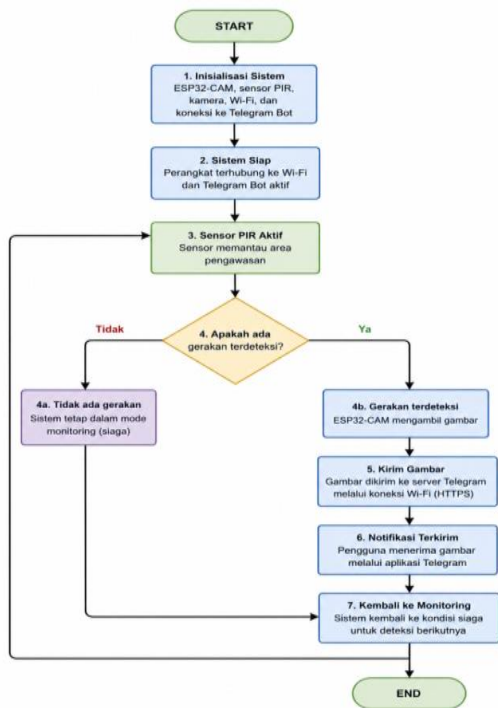
Gbr 1. ESP32-CAM

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan perancangan dan implementasi sistem Internet of Things (IoT) untuk keamanan rumah. Metode ini dipilih untuk mengevaluasi kinerja sistem melalui pengujian langsung terhadap parameter deteksi, akuisisi citra, dan pengiriman notifikasi.

A. Flowchart Alur Kerja Sistem

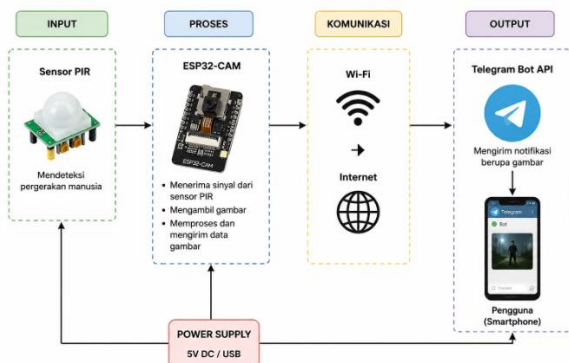
Alur kerja sistem yang dikembangkan bisa dilihat pada gambar 2. Proses dimulai dari inisialisasi perangkat, kemudian sensor Passive Infrared (PIR) melakukan pemantauan terhadap perubahan radiasi inframerah di lingkungan.



Gbr 2 Flowchart Alur Kerja sistem

Apabila tidak terdeteksi pergerakan, sistem berada dalam kondisi siaga. Ketika terdeteksi pergerakan, ESP32-CAM melakukan akuisisi citra dan mengirimkan data gambar ke pengguna melalui Telegram Bot API. Setelah proses pengiriman selesai, sistem kembali ke kondisi awal untuk melakukan pemantauan ulang.

B. Diagram Blok



Gbr 3 Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 3 Diagram blok tersebut menjelaskan alur kerja sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT) yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor PIR, ESP32-CAM, jaringan Wi-Fi/internet, Telegram Bot API, dan smartphone pengguna. Setiap komponen memiliki fungsi yang saling terhubung untuk menghasilkan sistem monitoring keamanan secara real-time.

Pada bagian input, sensor Passive Infrared (PIR) berfungsi untuk mendeteksi adanya pergerakan di area pemantauan.

Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan radiasi inframerah yang dipancarkan oleh tubuh manusia atau objek bergerak. Ketika tidak ada pergerakan, sistem berada dalam kondisi siaga (standby).

Setelah sensor PIR mendeteksi gerakan, sinyal akan dikirimkan ke ESP32-CAM sebagai pusat pemrosesan sistem. ESP32-CAM berfungsi sebagai mikrokontroler sekaligus perangkat akuisisi citra. Modul ini akan memproses data dari sensor PIR, kemudian mengaktifkan kamera untuk mengambil gambar kondisi lingkungan pada saat gerakan terdeteksi.

Selanjutnya, gambar yang telah diambil akan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi atau internet. Koneksi internet berperan sebagai media komunikasi data antara perangkat ESP32-CAM dan layanan Telegram Bot API. Proses pengiriman dilakukan menggunakan protokol HTTP/HTTPS sehingga data dapat dikirim secara online dan real-time.

Telegram Bot API berfungsi sebagai media notifikasi yang menerima data gambar dari ESP32-CAM dan meneruskannya ke akun Telegram pengguna. Dengan memanfaatkan Telegram Bot API, sistem tidak memerlukan aplikasi tambahan karena notifikasi dapat langsung diterima melalui aplikasi Telegram yang sudah tersedia pada smartphone.

Pada bagian output, pengguna menerima notifikasi berupa gambar hasil tangkapan kamera melalui smartphone. Informasi visual tersebut memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi rumah secara langsung dari jarak jauh ketika terjadi pergerakan yang terdeteksi oleh sensor PIR.

Secara keseluruhan, diagram blok menunjukkan bahwa sistem bekerja secara otomatis mulai dari proses deteksi gerakan, pengambilan gambar, hingga pengiriman notifikasi secara real-time kepada pengguna melalui jaringan internet.

C. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari tiga komponen utama, yaitu input, proses, dan output. Komponen input berupa sensor PIR yang mendeteksi pergerakan, komponen proses menggunakan ESP32-CAM sebagai pengendali utama sekaligus perangkat akuisisi citra, dan komponen output berupa notifikasi gambar yang dikirimkan ke pengguna melalui aplikasi Telegram menggunakan jaringan internet.

D. Implementasi Perangkat

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ESP32-CAM sebagai mikrokontroler, sensor PIR sebagai pendeteksi gerakan, serta sumber daya listrik. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE untuk pemrograman sistem, dengan dukungan library WiFi, kamera ESP32, dan komunikasi HTTP/HTTPS. Program yang dikembangkan mencakup proses pembacaan sensor, pengambilan gambar, serta pengiriman data ke Telegram.

E. Skenario dan Parameter Pengujian

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja berdasarkan parameter yang telah ditentukan, yaitu:

1. Jarak efektif deteksi sensor PIR
2. Keberhasilan akuisisi citra oleh ESP32-CAM

3. Waktu respons pengiriman notifikasi ke Telegram

4. Stabilitas sistem selama pengoperasian

Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan pergerakan manusia pada beberapa jarak (1–5 meter) dari sensor, kemudian mengukur waktu yang dibutuhkan sejak deteksi hingga notifikasi diterima oleh pengguna.

F. Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung waktu respons rata-rata serta tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi dan mengirimkan data. Analisis ini digunakan untuk menilai efektivitas sistem dalam memberikan notifikasi secara real-time serta keandalan sistem dalam kondisi penggunaan aktual.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

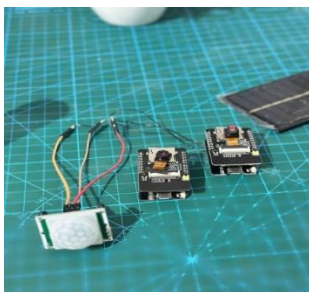
A. Hasil Implementasi Sistem

Sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT) telah berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32-CAM sebagai pengendali utama, sensor Passive Infrared (PIR) sebagai pendeteksi gerakan, serta Telegram Bot API sebagai media notifikasi. Sistem dirancang untuk bekerja secara otomatis, di mana sensor PIR akan mendeteksi adanya pergerakan, kemudian ESP32-CAM melakukan akuisisi citra dan mengirimkan hasilnya kepada pengguna melalui jaringan internet.

Implementasi sistem menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat terintegrasi dengan baik, mulai dari proses deteksi, pengambilan gambar, hingga pengiriman notifikasi secara real-time. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan perancangan yang telah ditetapkan pada tahap metodologi.

B. Hasil Implementasi Perangkat

Implementasi Perangkat yang telah dirancang dapat terlihat pada Gambar 4. Perangkat terdiri dari modul ESP32-CAM dan sensor PIR yang dihubungkan dalam satu sistem. Sensor PIR berfungsi sebagai pendeteksi gerakan, sedangkan ESP32-CAM berfungsi sebagai pengendali utama dan perangkat akuisisi citra.

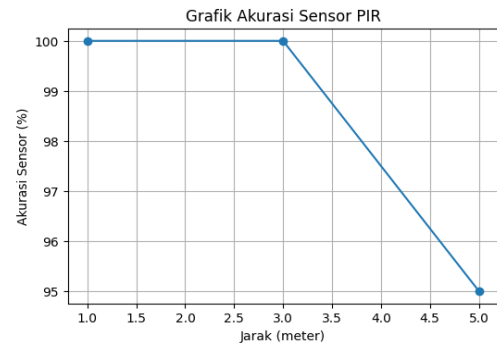


Gbr 4 Perancangan ESP32 dan PIR

Sistem dirakit dalam bentuk prototipe sederhana yang dapat ditempatkan pada area tertentu untuk melakukan pemantauan lingkungan. Berdasarkan hasil implementasi, perangkat mampu bekerja secara stabil selama pengujian berlangsung.

C. Hasil Pengujian Sensor PIR

Pengujian sensor PIR dilakukan untuk mengetahui kemampuan deteksi terhadap pergerakan manusia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi pergerakan pada jarak efektif antara 3 hingga 5 meter dengan respons yang cepat. Sensor bekerja dengan baik dalam kondisi normal, namun pada kondisi suhu lingkungan yang tinggi, sensitivitas sensor mengalami sedikit penurunan.

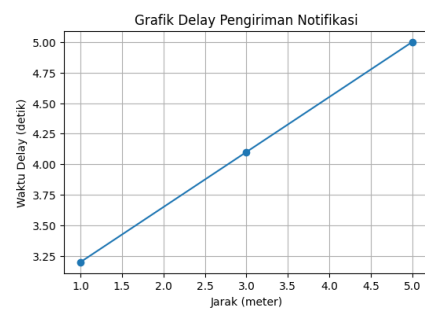


Gbr 5 Grafik Pengujian Sensor PIR

D. Hasil Pengiriman Notifikasi

Pengujian pengiriman notifikasi dilakukan untuk mengukur waktu respons sistem sejak terdeteksi pergerakan hingga pengguna menerima notifikasi berupa gambar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu pengiriman rata-rata berada pada rentang 3 hingga 5 detik, tergantung pada kualitas jaringan internet.

Pada kondisi jaringan yang stabil, notifikasi dapat diterima dengan cepat dan tanpa kegagalan pengiriman. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara real-time sesuai dengan tujuan penelitian.



Gbr 6 Grafik Pengujian Pengiriman Notifikasi

E. Tampilan Notifikasi Sistem

Gambar 7 menunjukkan hasil notifikasi yang diterima oleh pengguna melalui aplikasi Telegram. Notifikasi berupa gambar dikirim secara otomatis ketika sistem mendeteksi adanya pergerakan. Informasi visual ini memberikan bukti langsung kepada pengguna mengenai kondisi lingkungan yang dipantau.



Gbr 7 Pengiriman Gambar dari ESP32

Berdasarkan Tabel I, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan notifikasi gambar dengan waktu respons yang bervariasi tergantung pada jarak objek dari sensor. Pada jarak 1 meter, waktu pengiriman tercatat sebesar 3,2 detik, sedangkan pada jarak 3 meter meningkat menjadi 4,1 detik, dan pada jarak 5 meter mencapai 5,0 detik.

Tabel I. Hasil Pengujian

Percobaan	Jarak (m)	Waktu Kirim (detik)	Status
1	1	3.2	Berhasil
2	3	4.1	Berhasil
3	5	5.0	Berhasil

Jika dihitung secara keseluruhan, rata-rata waktu respons sistem adalah sebesar 4,1 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan pengiriman data yang cukup cepat untuk kebutuhan monitoring keamanan rumah secara real-time.

Selain itu, terdapat kecenderungan bahwa semakin jauh jarak deteksi, maka waktu respons sistem mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh proses tambahan yang terjadi pada saat deteksi dan pengolahan citra, serta kemungkinan pengaruh kondisi jaringan internet pada saat pengiriman data. Meskipun demikian, seluruh percobaan menunjukkan status berhasil, yang menandakan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam mendeteksi pergerakan dan mengirimkan notifikasi.

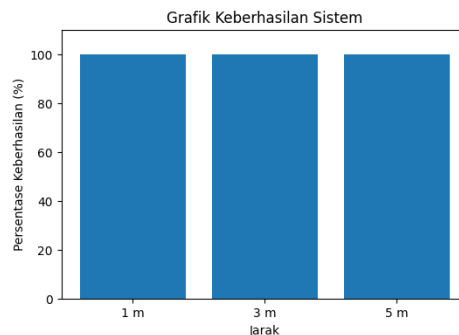
Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara konsisten dengan waktu respons yang relatif stabil dan masih dalam batas yang dapat diterima untuk sistem keamanan berbasis IoT.

F. Analisis Kinerja Sistem

Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi dalam mendeteksi pergerakan dan mengirimkan notifikasi gambar.

Integrasi antara sensor PIR dan ESP32-CAM memungkinkan sistem bekerja secara efisien karena hanya aktif ketika diperlukan.

Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan dalam sistem, di antaranya ketergantungan terhadap kestabilan jaringan internet serta keterbatasan kualitas gambar yang dihasilkan oleh ESP32-CAM. Faktor-faktor ini mempengaruhi kecepatan dan kualitas informasi yang diterima oleh pengguna.



Gbr 8 Grafik Keberhasilan Pengiriman

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengatasi keterbatasan sistem keamanan konvensional yang hanya mengandalkan alarm tanpa memberikan informasi visual. Dengan adanya notifikasi berupa gambar secara real-time, pengguna dapat memperoleh informasi yang lebih akurat mengenai kondisi yang terjadi.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini lebih sederhana dalam implementasi karena tidak memerlukan server tambahan serta memanfaatkan aplikasi Telegram sebagai media komunikasi. Hal ini menjadikan sistem lebih efisien dan efektif dan mudah diterapkan pada lingkungan rumah tangga.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT), dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan menggunakan ESP32-CAM, sensor Passive Infrared (PIR), dan Telegram Bot API mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang. Sistem berhasil mendeteksi pergerakan dan mengirimkan notifikasi berupa gambar kepada pengguna secara otomatis melalui jaringan internet.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR mampu mendeteksi pergerakan secara efektif pada jarak 3 hingga 5 meter, sedangkan waktu respons pengiriman notifikasi berada pada rentang 3 hingga 5 detik, tergantung pada kualitas jaringan yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan respons yang cukup cepat untuk kebutuhan pemantauan keamanan rumah secara real-time.

Selain itu, penggunaan Telegram sebagai media notifikasi memberikan kemudahan dalam implementasi karena tidak memerlukan pengembangan aplikasi tambahan. Integrasi antara perangkat keras dan layanan komunikasi berbasis internet menghasilkan sistem yang sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan pada lingkungan rumah tangga.

Namun demikian, kinerja sistem masih dipengaruhi oleh kestabilan jaringan internet serta keterbatasan kualitas citra yang dihasilkan oleh ESP32-CAM. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut dapat difokuskan pada peningkatan kualitas gambar serta optimalisasi koneksi jaringan untuk meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya. Pertama, peningkatan kualitas kamera dan optimasi resolusi citra pada ESP32-CAM perlu dilakukan agar gambar yang dihasilkan memiliki tingkat kejernihan yang lebih baik sehingga informasi visual yang diterima pengguna menjadi lebih jelas dan akurat. Kedua, optimalisasi koneksi jaringan internet dan proses kompresi data juga diperlukan untuk mengurangi keterlambatan pengiriman notifikasi serta meningkatkan stabilitas sistem dalam kondisi penggunaan real-time.

Selain itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan menambahkan penyimpanan berbasis cloud atau database sehingga data hasil deteksi dapat tersimpan secara otomatis sebagai arsip keamanan. Penggunaan sensor tambahan seperti sensor magnetik pintu, sensor asap, atau sensor suara juga dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kemampuan monitoring sistem secara lebih menyeluruh.

Pengembangan berikutnya juga dapat diarahkan pada integrasi teknologi *machine learning* atau computer vision sehingga sistem tidak hanya mampu mendeteksi gerakan, tetapi juga dapat melakukan identifikasi objek atau mengenali aktivitas tertentu secara otomatis. Dengan penerapan teknologi tersebut, sistem keamanan rumah berbasis IoT dapat berkembang menjadi sistem monitoring cerdas yang memiliki kemampuan analisis visual secara lebih akurat dan adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Atzori, A. Iera, dan G. Morabito, "The Internet of Things: A Survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [2] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, dan M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [3] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, dan M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [4] Bartolomius Harpad, Salmon Salmon, dan Rizky Meizal Saputra, "Sistem Monitoring Kualitas Udara di Kawasan Industri Dengan NodeMCU ESP32 Berbasis IoT," *Jurnal Informatika Wicida*, vol. 12, no. 2, pp. 45–52, 2022.
- [5] Salmon Salmon, Andi Yusika Rangan, dan Bagus Ari Ramadhan, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Dengan Menggunakan Module NodeMCU Berbasis IoT (Internet of Things)," *Jurnal Informatika Wicida*, vol. 12, no. 2, pp. 61–68, 2022.
- [6] Y. Firmansyah dan T. Wahyudi, "Implementasi Sensor PIR untuk Sistem Keamanan Rumah Otomatis," *Jurnal Sistem Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 12–18, 2020.
- [7] I. Gunawan dan E. Prabowo, "Pemanfaatan ESP32-CAM dalam Sistem Monitoring Berbasis IoT," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 120–126, 2021.
- [8] Jenifer Theresia Sirait dan Ahmad Imam Santoso, "Perancangan Sistem Keamanan Rumah Berbasis IoT dan Aplikasi Telegram," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 14, no. 1, pp. 676–681, 2025.
- [9] Evanita Veronica Manullang dan S. Rumere, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) Dengan Menggunakan Sensor PIR dan ESP32-CAM," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 12, no. 1, pp. 9–15, 2024.
- [10] Rio Wahyudi dan Edidas, "Perancang dan Pembuatan Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things Menggunakan ESP32-CAM," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 6, no. 1, pp. 11234–11241, 2022.
- [11] Hollanda Arief Kusuma, S. B. Wijaya, dan D. Nusyirwan, "Sistem Keamanan Rumah Berbasis ESP32-CAM dan Telegram Sebagai Notifikasi," *Infotronik*, vol. 8, no. 1, pp. 22–29, 2023.
- [12] Espressif Systems, *ESP32-CAM AI-Thinker Datasheet*, Shanghai, China, 2019.
- [13] F. Andriani dan R. Saputra, "Perancangan Sistem Notifikasi Real-Time Berbasis Telegram," *Jurnal Sistem Informasi Indonesia*, vol. 7, no. 2, pp. 55–63, 2021.