

Integrasi Sistem Keamanan Rumah Pintar Berbasis ESP32-CAM dan Sensor PIR dengan Notifikasi Real-Time melalui WhatsApp Bot

Hayadi Hamuda^{1*}, Anjar Setiawan²

¹Fakultas Ilmu Komputer, Sistem Komputer, Universitas Pamulang, Serang, Indonesia

²Fakultas Ilmu Komputer, Sistem Informasi, Universitas Pamulang, Serang, Indonesia

E-mail: ^{1*}dosen02886@unpam.ac.id, ²dosen03046@unpam.ac.id

(*: corresponding author)

Abstrak

Sistem keamanan rumah berbasis *Internet of Things* (IoT) menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan keamanan hunian secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem keamanan yang mampu mendeteksi gerakan di dalam ruangan serta mengirimkan notifikasi berupa pesan teks dan gambar melalui aplikasi WhatsApp. Sistem ini dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM, sensor gerak *Passive Infrared* (PIR), dan perangkat lunak berbasis pesan instan. Metodologi penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pemrograman perangkat lunak, serta pengujian fungsi sistem dalam mendeteksi gerakan dan mengirimkan notifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR mampu mendeteksi gerakan pada jarak satu hingga tiga meter dengan latensi pengiriman pesan rata-rata 1 hingga 3 detik. Selain itu, panjang kabel USB 5-pin terbukti memengaruhi latensi pengiriman, terutama dalam kondisi jaringan internet yang kurang stabil. Integrasi sistem ini dengan platform WhatsApp memungkinkan pengguna menerima notifikasi secara cepat dan efisien. Sistem ini memberikan kontribusi sebagai solusi keamanan rumah yang murah, fleksibel, dan dapat diintegrasikan dengan teknologi komunikasi yang sudah umum digunakan masyarakat.

Kata kunci: ESP32-Cam, Sensor PIR, Rumah Pintar, *Internet of Things*, WhatsApp

Abstract

Home security systems based on the *Internet of Things* (IoT) offer a real-time solution for enhancing residential safety. This study aims to design and evaluate a smart home security system capable of detecting indoor motion and sending notifications via WhatsApp. The system utilizes an ESP32-CAM microcontroller, a *Passive Infrared* (PIR) motion sensor, and a messaging application for alert delivery. The research method involved hardware design, microcontroller programming, and performance testing of detection range and notification latency. The results indicate that the PIR sensor can detect motion within a range of 1 to 3 meters, with an average notification latency of 1 to 3 seconds. Additionally, the length of the 5-pin USB cable was found to influence transmission delay, especially under unstable internet conditions. The integration of WhatsApp enables users to receive alerts quickly and reliably. This system contributes to the development of low-cost, user-friendly home security solutions that integrate seamlessly with commonly used communication platforms.

Keywords: ESP32-Cam, PIR Sensor, Smart Home, *Internet of Things*, Whatsapp

1. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan masyarakat modern, aspek keamanan menjadi salah satu kebutuhan fundamental yang tidak bisa diabaikan, terutama dalam konteks tempat tinggal. Meningkatnya aktivitas di luar rumah baik karena pekerjaan, perjalanan, atau momen liburan seperti Idul Fitri dan Tahun Baru menyebabkan banyak rumah ditinggalkan dalam kondisi kosong. Hal ini menjadikan hunian sebagai target empuk bagi tindak kriminal seperti pencurian [1]. Sistem keamanan konvensional yang hanya mengandalkan kunci mekanik memiliki sejumlah keterbatasan, seperti mudah digandakan, rusak, atau dibobol oleh pelaku kejahatan. Selain itu, ketiadaan sistem deteksi dini menjadikan penghuni rumah tidak dapat merespons secara cepat ketika terjadi gangguan keamanan [2].

Untuk menjawab permasalahan tersebut, teknologi *Internet of Things* (IoT) hadir sebagai solusi yang memungkinkan otomatisasi, konektivitas, dan pemantauan jarak jauh terhadap perangkat rumah. IoT merupakan jaringan perangkat fisik yang dapat berkomunikasi satu sama lain melalui koneksi internet tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung [3]. Dalam konteks sistem keamanan rumah, IoT memungkinkan integrasi antara sensor gerak, kamera, serta

sistem notifikasi sehingga pengguna dapat menerima informasi secara *real-time* melalui perangkat digital seperti smartphone [4]. Ini memberikan nilai tambah berupa fleksibilitas dan efisiensi dalam pengawasan rumah dari jarak jauh, sekaligus mencegah potensi ancaman sebelum berkembang menjadi insiden nyata [5].

Dalam implementasinya, sistem keamanan berbasis IoT memerlukan perangkat yang andal namun tetap efisien secara biaya dan daya. Salah satu komponen yang banyak digunakan adalah ESP32-CAM, sebuah modul mikrokontroler yang telah dilengkapi dengan kamera VGA dan konektivitas Wi-Fi bawaan. ESP32-CAM memiliki ukuran ringkas, harga terjangkau, serta dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman *open-source* seperti Arduino IDE, menjadikannya cocok untuk aplikasi rumah pintar [6]. Selain itu, perangkat ini hemat energi dan dapat bekerja secara independen sebagai pusat pengendali (*stand-alone controller*) [7]. Komponen lain yang tak kalah penting adalah sensor *Passive Infrared* (PIR), yang bekerja dengan mendeteksi pergerakan berdasarkan pancaran sinyal inframerah dari tubuh manusia. Ketika seseorang memasuki jangkauan sensor, maka sistem akan mendeteksi adanya perubahan temperatur dan memicu sinyal aktivitas [8]. Kombinasi ESP32-CAM dan sensor PIR memungkinkan sistem untuk merekam gambar atau video serta mengirimkannya melalui internet ketika gerakan terdeteksi.

Berbagai penelitian telah menunjukkan efektivitas sistem keamanan berbasis ESP32-CAM dan sensor PIR. Penelitian [9] mengembangkan sistem alarm rumah yang menggabungkan ESP32-CAM dan Arduino Uno, di mana kamera akan mengambil foto saat sensor mendeteksi gerakan, dan bel akan menyala. Penelitian lain [10] memanfaatkan ESP32-CAM untuk melakukan streaming IP secara langsung ke server, memungkinkan pemilik rumah memantau secara *real-time* dari ponsel mereka. [11] mengembangkan sistem keamanan dengan notifikasi melalui chatbot Telegram, yang mengirimkan informasi kepada pengguna saat sistem mendeteksi penyusup. Sementara itu, [12] merancang kontrol perangkat rumah melalui chatbot Telegram berbasis Raspberry Pi. Meski teknologi ini berhasil menciptakan sistem keamanan dasar yang cukup andal, aplikasi pengiriman notifikasi masih terbatas pada platform seperti Telegram yang tidak umum digunakan oleh sebagian besar masyarakat Indonesia.

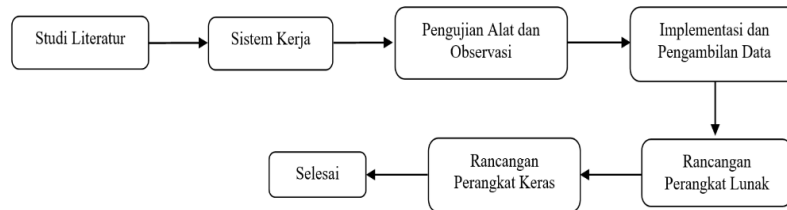
Kelemahan utama dari penelitian-penelitian sebelumnya adalah belum adanya pemanfaatan platform komunikasi yang lebih populer seperti WhatsApp untuk sistem notifikasi. Padahal, WhatsApp merupakan aplikasi perpesanan yang sangat luas digunakan oleh masyarakat Indonesia, sehingga integrasi sistem keamanan dengan WhatsApp Bot akan sangat meningkatkan adopsi teknologi, kemudahan akses, serta efisiensi komunikasi antara perangkat dan pengguna [8][11]. Sampai saat ini, masih sangat jarang penelitian yang mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis IoT yang terintegrasi dengan WhatsApp sebagai sistem peringatan otomatis. Untuk menjawab kekosongan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan rumah pintar yang menggabungkan ESP32-CAM, sensor PIR, dan WhatsApp Bot sebagai media pengiriman notifikasi. Sistem ini diharapkan mampu mendeteksi keberadaan penyusup secara otomatis, merekam gambar atau video, dan langsung mengirimkannya kepada pemilik rumah melalui pesan WhatsApp.

Dengan pendekatan ini, sistem keamanan tidak hanya menjadi reaktif, tetapi juga proaktif dan mudah diakses oleh masyarakat awam. Selain itu, solusi ini juga memiliki nilai kepraktisan karena dapat diterapkan dengan biaya rendah dan instalasi sederhana, sehingga berpotensi besar untuk digunakan dalam skala rumah tangga maupun usaha kecil. Penelitian ini berusaha menawarkan solusi yang layak untuk meningkatkan rasa aman bagi penghuni baik di dalam rumah maupun di luar ruangan. Demikian, proyek ini juga menawarkan kenyamanan bagi pemilik rumah dan kebebasan bagi konsumen untuk memantau kondisi tempat tinggal mereka dari jarak jauh.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode prototipe dalam pengembangan sistem, metode ini menyajikan tahapan sistematis yang diimplementasikan dalam proses penelitian ini, dimulai dari studi literatur, sistem kerja, pengujian alat dan observasi, implementasi dan pengambilan data, rancangan perangkat lunak, dan rancangan perangkat keras yang memastikan sistem ini berjalan

sesuai diinginkan. Ditunjukkan pada Gambar 1 adalah beberapa tahapan yang dilakukan oleh penelitian ini.



Gambar 1. Metode Penelitian

a. Studi Literatur

Studi literatur berfungsi sebagai fondasi konseptual dalam penelitian ini. Tahap ini dilakukan dengan mengkaji berbagai sumber informasi ilmiah yang relevan, termasuk jurnal nasional dan internasional, prosiding konferensi, buku akademik, artikel teknis, serta dokumen spesifikasi perangkat keras (*datasheet*). Penelusuran dilakukan untuk memahami prinsip kerja modul ESP32-CAM, sensor PIR, sistem notifikasi berbasis WhatsApp Bot, serta model arsitektur *smart home* secara umum. Selain sumber akademik, eksplorasi juga mencakup media daring seperti tutorial pengembangan sistem IoT, video demonstrasi implementasi sistem keamanan, hingga wawancara informal dengan praktisi teknologi. Aktivitas ini bertujuan untuk merumuskan landasan teoretis, merinci kebutuhan sistem, dan mengidentifikasi celah penelitian (*research gap*) yang akan ditangani oleh studi ini.

b. Sistem kerja

Sistem kerja alat adalah integrasi antara komponen dan whatsapp bot untuk mengubah *input* menjadi *output* sesuai yang diinginkan, dengan memiliki fungsi dan mencapai tujuan tertentu.

Masukan: Sensor PIR dan Sensor *Buzzer*

Proses : ESP32-Cam

Keluaran: FTDI, LedR dan Sistem notifikasi WhatsApp Bot

c. Pengujian alat dan observasi

Setelah sistem selesai dirakit, dilakukan pengujian untuk mengevaluasi keandalannya dalam mendeteksi gerakan dan mengirimkan notifikasi. Uji coba dilakukan dalam berbagai skenario, misalnya pergerakan dalam radius 1-5 meter, variasi panjang kabel USB, serta kondisi pencahayaan yang berbeda. Hasil pengujian direkam dalam bentuk teks dan gambar, yang dikirimkan secara otomatis ke akun WhatsApp pengguna. Selain pengujian teknis, observasi lapangan dilakukan untuk mencatat respons sistem, stabilitas koneksi internet, serta delay waktu dari deteksi hingga pengiriman pesan. Data dikumpulkan baik secara manual (melalui *stopwatch* dan pencatatan) maupun otomatis (melalui log sistem).

d. Implementasi dan pengambilan data

Tahap ini mencakup pemasangan sistem pada lokasi uji yang menyerupai kondisi nyata (ruang rumah atau simulasi ruangan tertutup). Sistem dioperasikan dalam waktu tertentu untuk mengamati perilaku aktualnya. Data performa dikumpulkan berdasarkan parameter kunci: latensi pengiriman pesan, efektivitas deteksi gerakan, dan stabilitas koneksi sistem dalam berbagai kondisi. Data pengukuran meliputi: (1) jarak efektif deteksi sensor PIR, (2) waktu tanggap sistem dari deteksi hingga notifikasi, dan (3) jumlah notifikasi yang terkirim dengan benar. Hasil ini dianalisis untuk mengetahui sejauh mana sistem memenuhi spesifikasi fungsional dan keandalan.

e. Rancangan perangkat lunak dan perangkat keras

Perancangan ini melibatkan pembuatan sistem terintegrasi yang terdiri dari modul mikrokontroler ESP32-CAM sebagai pusat kendali, sensor PIR sebagai pendeteksi gerakan, dan sistem komunikasi berbasis WhatsApp Bot untuk pengiriman pesan dan gambar. Proses ini dimulai dengan perancangan skematik rangkaian elektronik menggunakan *software* desain (seperti *Fritzing* atau *Proteus*), dilanjutkan dengan pemrograman perangkat keras menggunakan Arduino IDE. Dalam tahap ini, juga dilakukan konfigurasi jaringan Wi-Fi dan pemetaan logika

kerja sistem, termasuk respons terhadap input sensor dan pengambilan serta pengiriman gambar melalui API WhatsApp. Desain mekanik (penempatan sensor dan kamera), layout fisik perangkat, dan manajemen konsumsi daya juga dipertimbangkan dalam tahap ini.

2.1 Desain Alat dan Sistem

Berdasarkan penelitian ini dilakukan dengan rancangan pada sistem, menerapkan ada dua diagram sistem, peralatan dan perlengkapan berikut ini.

a. Diagram Sistem

Diagram sistem pada Gambar 2 dapat dilihat dari alur proses melakukan alat dari esp32 cam melalui empat yang digunakan LED, Buzzer, sensor PIR dan Uploader FTD module yang terhubung ke internet menggunakan laptop/hp koneksi wifi dengan aplikasi whatsapp bot.



Gambar 2. Diagram Sistem

Bot WhatsApp adalah program untuk dirancang khusus yang merespon pesan otomatis. Pemakai hanya membutuhkan melalui *input* kata kunci tertentu, setelah itu notifikasi yang terkait dengan sistem keamanan rumah pintar akan secara otomatis ditampilkan berdasarkan istilah yang dicari. Sensor PIR adalah bagian dari sistem, dan terhubung ke mikrokontroler ESP32-Cam. Rangkaian perangkat terhubung ke sensor PIR, mikrokontroler ESP32-Cam akan secara otomatis merekam atau menangkap dan membunyikan bel jika sensor PIR mendeteksi adanya gerakan di dalam ruangan. Tujuan dari *buzzer* pada sistem ini adalah mampu menghasilkan getaran sebagai gelombang suara untuk memperingatkan pengguna ketika ada gerakan yang terdeteksi tanpa mengharuskan mereka membuka program pemesanan WhatsApp. Setelah gambar ditangkap dan diproses oleh mikrokontroler ESP32-Cam, gambar tersebut akan dikirimkan sebagai notifikasi melalui koneksi internet ke komputer atau *smartphone* yang menjalankan program WhatsApp.

b. Peralatan dan Perlengkapan

Bahan dan instrumen yang digunakan berfungsi sebagai pendukung sistem secara langsung. Bahan-bahan, khususnya bagian desain mekanik, yang digunakan untuk membuat alat perangkat keras (*hardware*) dan instrumen yang diperlukan untuk membuat perangkat lunak (*software*) dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1 menyajikan daftar material yang digunakan dalam perancangan sistem keamanan rumah berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini. Setiap komponen dipilih berdasarkan fungsi spesifik dan kontribusinya terhadap integrasi sistem secara keseluruhan. Mikrokontroler ESP32-CAM digunakan sebagai pusat kendali utama yang bertugas memproses sinyal dari sensor PIR serta mengirimkan data gambar melalui konektivitas internet. Sensor PIR HC-SR501 bertindak sebagai elemen input utama yang mendeteksi pergerakan, yang kemudian memicu sistem untuk mengambil tindakan selanjutnya seperti mengaktifkan kamera dan mengirim notifikasi melalui WhatsApp Bot. Untuk mendukung fungsionalitas pemrograman dan

komunikasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, digunakan FT232RL sebagai modul downloader USB FTDI to TTL. Komponen tambahan seperti *buzzer* digunakan sebagai sinyal suara lokal saat sensor mendeteksi aktivitas, kabel jumper dan breadboard difungsikan untuk perakitan rangkaian elektronik sementara, sedangkan box plastik atau mika digunakan sebagai wadah pelindung agar sistem tetap aman dan portabel. Selotip digunakan sebagai elemen pendukung mekanis untuk pengaturan dan perapian kabel atau komponen ringan lainnya. Pemilihan komponen disesuaikan dengan kebutuhan sistem yang mengedepankan efisiensi, portabilitas, dan kemudahan implementasi di lingkungan rumah tinggal.

Tabel 1. Perlengkapan Yang Dibutuhkan Untuk Membuat Alat

No	Material	Total	Satuan	Ringkasan
1	Mikrokontroler ESP32-Cam	1	pcs	Berfungsi sebagai mikrokontroler dan pengontrol utama sistem
2	Sensor PIR HC-SR501	1	pcs	Sebagai sumber input untuk ESP32-Cam, sensor gerak
3	<i>Buzzer</i>	1	pcs	Sebagai notifikasi awal aktifnya sensor PIR
4	FT232RL USB to TTL FTDI Downloader	1	pcs	Sebagai alat <i>downloader</i> untuk pemrograman
5	Kabel <i>Jumper</i>	1	meter	Sebagai penghubung pada beberapa rangkaian yang digunakan pada sistem
6	Box Mika atau Plastik	1	pcs	Box sebagai tempat rangkaian alat
7	<i>Breadboard</i>	1	pcs	Sebagai terminal dari semua rancangan alat
8	Selotip	1	pcs	Sebagai perekat <i>Mount</i>

Tabel 2. Perangkat Keras Instrumen Penelitian

No	Material	Ringkasan
1	<i>Mechanical tool set</i>	Mencakup sejumlah alat pengembangan perangkat keras yang umum
2	AVO Meter	Alat mengukur tegangan, arus dan hambatan listrik dalam perakitan perangkat keras
3	Laptop Lenovo Core i5	Alat untuk <i>interface</i> antar perangkat lunak dan perangkat keras sistem serta monitoring via <i>website</i>
4	<i>Smartphone</i>	Sebagai media <i>interface</i> notifikasi WhatsApp
5	Kabel USB ke 5-Pin atau <i>Mini USB</i>	Sebagai kabel untuk menghubungkan laptop atau PC ke TTL FTDI

Pada Tabel 2 selain komponen utama yang digunakan dalam perancangan sistem keamanan rumah berbasis ESP32-CAM dan sensor PIR Alat-alat ini digunakan selama proses perakitan, pengujian, pemrograman, dan validasi sistem secara menyeluruh. Set alat mekanik (*mechanical tool set*) digunakan untuk keperluan perakitan fisik, seperti memotong, menyambung, atau memperbaiki posisi komponen pada rangkaian elektronik. AVO Meter berfungsi sebagai alat ukur kelistrikan yang digunakan untuk memverifikasi nilai tegangan, arus, dan hambatan, sehingga memastikan semua sambungan dan komponen berfungsi sesuai spesifikasi. Laptop dengan spesifikasi minimal prosesor Core i5 digunakan sebagai antarmuka utama untuk proses pemrograman ESP32-CAM menggunakan Arduino IDE, serta untuk pengawasan jaringan dan integrasi sistem dengan layanan notifikasi WhatsApp. *Smartphone* berperan sebagai media penerima pesan yang dikirimkan oleh sistem ketika sensor mendeteksi pergerakan untuk menguji dan memastikan keberhasilan komunikasi antara sistem dan pengguna secara *real-time*.

Menunjang proses perancangan, pemrograman, serta dokumentasi sistem keamanan rumah berbasis IoT, penelitian ini juga memanfaatkan sejumlah perangkat lunak pendukung sebagaimana tercantum pada Tabel 3. Setiap perangkat lunak berperan dalam tahap yang berbeda, mulai dari pemrograman mikrokontroler hingga visualisasi sistem dan pembuatan laporan. Arduino IDE versi 1.8.16 digunakan sebagai platform utama dalam proses pemrograman modul ESP32-CAM. Perangkat lunak ini mendukung penulisan, kompilasi, dan pengunggahan kode ke mikrokontroler melalui koneksi serial. Arduino IDE juga kompatibel dengan berbagai pustaka

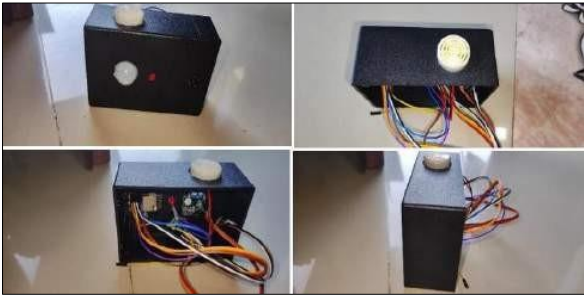
(libraries) yang diperlukan dalam pemrosesan sinyal dari sensor PIR dan pengiriman data melalui internet. Untuk mendukung penyusunan dan pelaporan hasil penelitian, aplikasi Microsoft Office 2021 digunakan, terutama untuk menulis dokumen, mengelola data tabel, serta membuat presentasi. Microsoft Visio Professional 2019 digunakan untuk merancang diagram alir sistem, mencakup alur kerja sistem, relasi antar komponen, dan logika pemrosesan data.

Tabel 3. Perangkat Lunak Instrumen Penelitian

No	Material	Ringkasan
1	Arduino IDE 1.8.16	Software untuk pemrograman mikrokontroler ke board NodeMCU ESP 8266
2	Office 2021	Aplikasi untuk membuat dan mengatur ringkasan penelitian
3	Microsoft Visio Professional 2019	Pembuatan sistem diagram alir
4	WhatsApp	Smartphone untuk menampilkan informasi lokasi berupa link google map
5	Aplikasi Fritzing	Software untuk pembuatan wiring diagram

2.2 Perancang Mekanisme

Perancang Mekanisme ditunjukkan pada Gambar 3, perancang alat rumah pintar menerapkan diagram blok pada sebuah desain dan mengaplikasikannya pada perangkat keras atau perangkat keras yang sudah ada. Daftar persediaan untuk membuat alat perangkat lunak yang akan digunakan membentuk perancang mekanik.



Gambar 3. Desain Mekanik Mikrokontroler ESP32-Cam

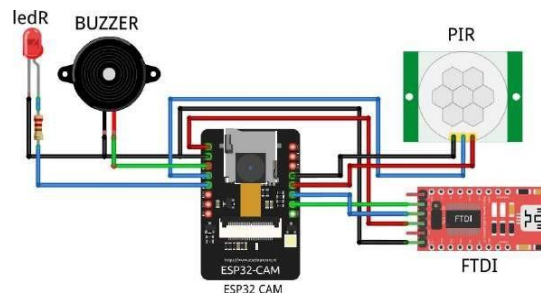
Modul mikrokontroler ESP32-CAM, sensor PIR, buzzer, serta sejumlah kabel penghubung antar komponen disusun dalam satu rangkaian terpadu yang ditempatkan di dalam kotak pelindung. Kotak ini dirancang oleh perancang mekanik sebagai bagian dari sistem proteksi fisik perangkat keras. Fungsi utama penutup ini adalah untuk melindungi rangkaian dari gangguan eksternal seperti debu, sentuhan langsung, dan kelembaban, tanpa mengganggu sensitivitas sensor terhadap lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, material yang digunakan berupa mika atau plastik transparan dengan desain terbuka sebagian pada bagian sensor. Desain ini memungkinkan sensor PIR tetap memiliki jalur pandang langsung untuk mendeteksi gerakan secara optimal, sekaligus memastikan komponen internal tetap aman dari kerusakan mekanis [13].

2.3 Perancang Elektrik

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, diagram pengkabelan sistem dirancang untuk mendukung implementasi perakitan perangkat secara efisien dan terstruktur. Diagram ini disusun guna memberikan representasi visual mengenai koneksi antar komponen dalam sistem keamanan rumah berbasis IoT. Pada bagian ini, dibahas secara rinci hubungan kelistrikan antar elemen utama, termasuk ESP32-CAM sebagai mikrokontroler utama, sensor PIR sebagai pendeteksi gerakan, buzzer sebagai aktuator notifikasi lokal, serta kabel USB ke 5-pin (Mini USB) yang digunakan untuk komunikasi serial dan pemrograman awal perangkat.

Selain itu, kabel jumper digunakan untuk menghubungkan seluruh komponen melalui breadboard atau koneksi langsung, memastikan aliran sinyal dan catu daya berlangsung stabil.

Penyusunan wiring diagram secara sistematis ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan dalam proses implementasi serta mempermudah troubleshooting pada tahap pengujian dan evaluasi sistem [14].



Gambar 4. Wiring Perancangan elektrik ESP32-Cam

Melakukan proses pemrograman terhadap modul mikrokontroler ESP32-CAM, diperlukan perangkat tambahan karena modul ini tidak dilengkapi dengan antarmuka pemrograman USB bawaan. Oleh karena itu, dibutuhkan downloader eksternal, seperti modul FTDI atau USB to TTL converter, yang berfungsi untuk menghubungkan ESP32-CAM dengan komputer melalui Arduino IDE. Perangkat tambahan ini bertugas mentransfer kode program dari komputer ke memori mikrokontroler. Dalam proses ini, beberapa pin penting dari ESP32-CAM harus dihubungkan dengan benar, antara lain: pin 3.3V sebagai sumber tegangan operasi, GPIO12 sebagai pin mode booting, GND (ground), GPIO3 (TX) dan GPIO1 (RX) untuk jalur komunikasi serial, serta pin VCC (5VDC) sebagai catu daya utama. Konfigurasi pengkabelan yang tepat sangat penting untuk memastikan program dapat diunggah dengan sukses dan perangkat dapat berfungsi secara optimal [15].

2.4 Perancang Perangkat Lunak Arduino IDE

Perangkat lunak Arduino IDE digunakan sebagai platform utama dalam proses pengembangan dan pemrograman mikrokontroler ESP32-CAM. Arduino IDE menyediakan antarmuka pemrograman yang intuitif serta mendukung berbagai pustaka (*libraries*) yang dibutuhkan untuk pengolahan data sensor dan komunikasi jaringan berbasis IoT. Penggunaan platform ini bertujuan untuk menyederhanakan proses penulisan, kompilasi, dan pengunggahan kode program ke dalam modul mikrokontroler. Tujuan utama dari pemrograman ini adalah untuk mengatur ESP32-CAM agar mampu menginterpretasikan data yang diterima dari sensor PIR, dan merespons deteksi gerakan dengan mengambil gambar secara otomatis. Gambar tersebut kemudian dikirimkan melalui koneksi internet menggunakan layanan WhatsApp Bot sebagai notifikasi ke perangkat *smartphone* pengguna. Proses ini memungkinkan sistem bekerja secara otonom dalam mendeteksi, merekam, dan melaporkan kejadian di area pemantauan secara *real-time* [16]. Perintah pada ESP32-Cam dalam bahasa C dengan perangkat lunak Arduino IDE merupakan cara pemrograman data pada mikrokontroler. Fitur-fitur berikut ini disertakan dalam program data yang dirancang untuk ESP32-Cam.

- Mengambil informasi gerakan dari sensor PIR.
- Menggunakan ESP32-Cam untuk memproses sinyal input gerakan dari sensor PIR.
- Hasil keluaran ESP32-Cam ditampilkan pada *smartphone* yang terhubung dengan wifi, sehingga memungkinkan perangkat mengirim foto ke aplikasi WhatsApp. Tentu saja, perangkat lunak (*software*) diperlukan untuk pengolahan data dalam perancangan sistem. terdiri dari dua bagian yang pertama adalah menghubungkan WhatsApp Bot, dan yang kedua adalah memprogram mikrokontroler ESP32-Cam menggunakan perangkat lunak Arduino IDE dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

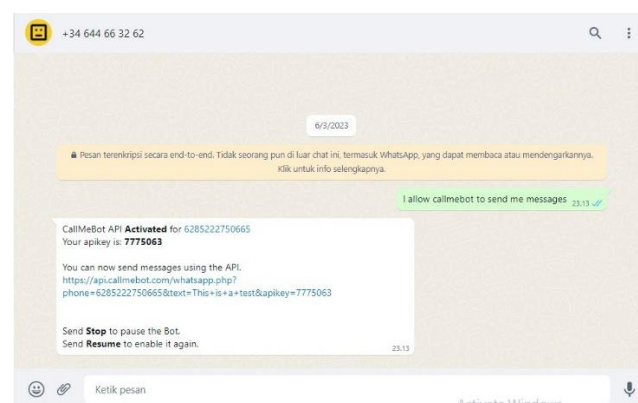


Gambar 5. Pemrograman Mikrokontroler Pada Arduino IDE

Kompilasi kode program di Arduino IDE adalah mengunggah (*upload*) program tersebut ke mikrokontroler ESP32-CAM. Proses ini dilakukan menggunakan kabel USB ke 5-pin (atau Mini USB) yang menghubungkan perangkat ESP32-CAM dengan komputer pemrograman. Kabel ini bekerja sebagai jalur transfer data melalui modul USB FTDI to TTL converter, yang menerjemahkan sinyal komunikasi serial antara komputer dan mikrokontroler. Setelah program berhasil diunggah, perangkat dapat mulai menjalankan fungsi ke dalam kode, seperti mendeteksi gerakan melalui sensor PIR, mengambil gambar, dan mengirimkan notifikasi melalui WhatsApp Bot. Tahap ini menandai transisi dari fase pengembangan ke fase implementasi sistem dalam konteks pengujian dan validasi fungsional [17].

2.5 Menghubungkan Bot WhatsApp ke Mikrokontroler ESP32-Cam

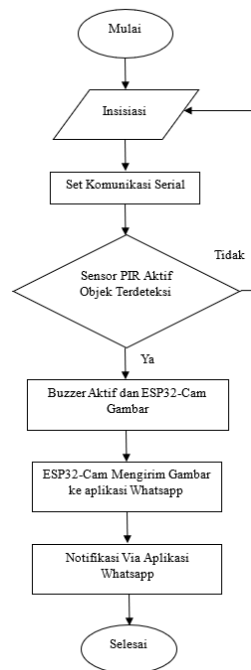
Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6, sebelum sistem dapat mengirimkan notifikasi secara otomatis melalui WhatsApp, diperlukan proses awal berupa konfigurasi dan otentikasi terhadap layanan API WhatsApp. Untuk mengakses layanan ini, peneliti terlebih dahulu harus mendaftarkan nomor layanan resmi, dalam hal ini nomor +34 644 66 32 62, ke dalam daftar kontak pada perangkat *smartphone* dan menetakannya dengan nama identifikasi WhatsApp Bot. Langkah ini bertujuan untuk memperoleh kunci API (API key) yang akan digunakan sebagai otentikator dalam proses komunikasi antara sistem dan server WhatsApp. Kunci API tersebut merupakan komponen penting yang memungkinkan sistem untuk mengirimkan pesan teks maupun media (seperti foto hasil tangkapan kamera ESP32-CAM) ke akun pengguna secara otomatis melalui protokol HTTP atau layanan cloud API yang terintegrasi.



Gambar 6. Bot Aplikasi Pesan Whatsapp

2.6 Diagram Alir

Aplikasi yang dikembangkan adalah algoritma eksak, alat beroperasi seperti yang ditampilkan dalam diagram alir pada Gambar 7. Memperlihatkan diagram alir logika kerja sistem keamanan rumah berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian. Proses dimulai dengan inisialisasi sistem, di mana seluruh komponen perangkat keras, termasuk mikrokontroler ESP32-CAM dan sensor PIR, diaktifkan dan dikonfigurasi untuk mengambil gambar dari area deteksi. Gambar yang diambil kemudian diproses dan dikirimkan secara otomatis oleh ESP32-CAM melalui koneksi internet menggunakan layanan WhatsApp Bot ke akun pengguna yang telah ditentukan sebelumnya. Proses pengiriman gambar disertai dengan notifikasi dalam bentuk teks untuk memastikan pengguna menerima informasi secara real-time. Siklus proses ini akan terus berulang selama sistem berada dalam keadaan aktif, memungkinkan pemantauan keamanan rumah secara berkelanjutan.



Gambar 7. Flowchart

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 8 menyajikan representasi akhir dari implementasi sistem keamanan rumah pintar berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini. Tujuan utama dari penerapan teknologi ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam meningkatkan aspek kenyamanan dan keamanan hunian secara otomatis serta *real-time*. Sistem yang dirancang telah berhasil mengintegrasikan sensor PIR untuk deteksi pergerakan dan modul ESP32-CAM untuk pengambilan gambar serta pengiriman notifikasi digital melalui platform WhatsApp. Desain perangkat telah diselesaikan secara fungsional dan mekanis, di mana seluruh komponen telah dirakit dan diuji sesuai dengan kebutuhan sistem. Notifikasi yang dikirimkan mencakup informasi visual yang diperoleh dari kamera, sehingga pengguna dapat memantau kondisi rumah secara jarak jauh. Dengan demikian, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat peringatan dini terhadap potensi ancaman, tetapi juga sebagai solusi inovatif untuk sistem keamanan berbasis *Internet of Things*.

Desain fisik akhir dari sistem keamanan rumah berbasis IoT yang ditampilkan pada Tabel 4 memperlihatkan tampilan alat dari berbagai sisi, yaitu bagian depan, samping kanan, samping kiri, dan belakang. Semua komponen utama sistem, seperti modul mikrokontroler ESP32-CAM dan sensor PIR, telah terintegrasi secara permanen ke dalam penutup atau casing pelindung yang

dirancang secara fungsional. Penutup ini tidak hanya berperan sebagai pelindung fisik terhadap kerusakan eksternal, komponen beroperasi secara stabil dalam lingkungan pemantauan.



Gambar 8. Desain Alat Akhir

Tabel 4. Komponen di dalam Box

No	Keterangan	Fungsi
1	Mikrokontroler ESP32-Cam	Sebagai mikrokontroler utama dan pengendali utama pada sistem
2	LED	Sebagai tanda bahwa Alat sudah aktif
3	Sensor PIR HC- SR501	Sebagai sensor gerak yang memberikan masukan ke ESP32-Cam
4	Buzzer	Sebagai notifikasi awal aktifnya sensor PIR
5	Kabel USB 5 pin	Kabel penghubung dari adaptor sebagai suply atau power menuju ke FT232RL USB to TTL FTDI yang berfungsi sebagai alat downloader untuk pemrograman
6	Box Dimensi P:8,5cm, L:5cm, T: 12,5cm	Sebagai mount atau cover dari seluruh komponen terpasang

Di dalam *casing*, tersusun sejumlah rangkaian kabel yang terdiri dari kabel *jumper* yang menghubungkan berbagai komponen, seperti sensor, *buzzer*, dan modul downloader. Modul FTDI USB to TTL (tipe FT232RL) juga telah dipasang secara tetap melalui konektor jumper sebagai media pemrograman perangkat. Modul ini kemudian dihubungkan dengan kabel USB ke 5-pin (Mini USB), yang berfungsi sebagai jalur komunikasi antara komputer (PC) dan mikrokontroler ESP32-CAM. Seluruh konfigurasi perangkat keras ini dirancang agar memudahkan proses pemrograman, pemantauan, dan pengujian sistem secara praktis dan efisien.

3.1. Lokasi Alat Rumah Pintar

Gambar 9 menunjukkan posisi penempatan perangkat keamanan rumah pintar berbasis IoT di dalam lingkungan hunian. Penelitian ini secara khusus mengatur titik lokasi pemasangan alat di ruang bagian dalam rumah, yang dianggap sebagai area strategis untuk pengawasan aktivitas mencurigakan. Penempatan ini dipilih berdasarkan pertimbangan teknis agar sensor PIR dapat secara optimal mendeteksi pergerakan manusia dan tidak terhalang oleh objek interior rumah.



Gambar 9. Lokasi Alat Smart Home Di Ruang Depan, Dapur Dan Kamar Di Dalam Rumah

Penempatan alat pada sistem mengidentifikasi potensi ancaman dari dalam rumah ketika penghuni sedang tidak berada di tempat. Selain itu, lokasi ini dinilai ideal untuk memastikan kualitas sinyal konektivitas Wi-Fi yang stabil, sehingga proses pengambilan gambar dan pengiriman notifikasi ke perangkat pengguna melalui WhatsApp dapat dilakukan secara *real-time* tanpa gangguan transmisi data. Panah merah pada Gambar 9 menunjukkan posisi pasti perangkat *smarthome* yang dipasang di dalam rumah, perangkat ditempatkan secara strategis dengan orientasi menghadap langsung ke pintu depan, yang merupakan akses utama menuju area hunian. Posisi ini memungkinkan sensor PIR mendeteksi setiap pergerakan yang terjadi segera setelah seseorang memasuki ruangan, menjadikannya titik deteksi yang sangat krusial, terutama saat rumah dalam keadaan tidak dihuni. Ruang depan dipilih sebagai area pemantauan utama karena secara umum merupakan jalur pertama yang dilalui oleh individu tidak dikenal saat terjadi upaya akses ilegal ke dalam rumah. Dengan konfigurasi ini, perangkat mampu mengidentifikasi gerakan manusia secara *real-time* dan mengaktifkan sistem notifikasi otomatis melalui WhatsApp. Hasil pengujian tersebut dirangkum secara sistematis pada Tabel 5.

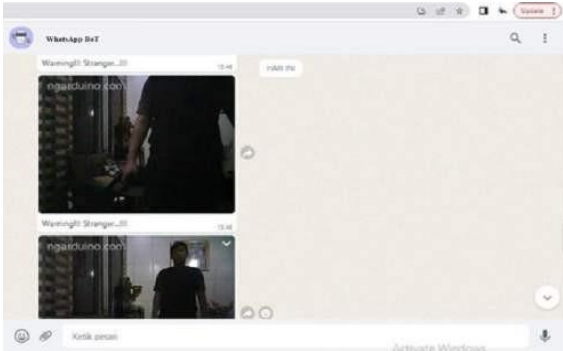
Tabel 5. Lokasi Tempat Pemasangan Alat

No	Lokasi Alat	Tujuan
1	Ruang Depan	Mendeteksi gerakan orang masuk ke dalam rumah yang merupakan pintu satu-satunya untuk akses ke dalam rumah
2	Dapur	Memasukkan rincian komprehensif mengenai aktivitas individu tak dikenal yang memasuki area dapur
3	Kamar	Menambah informasi secara detail jika ada orang yang tidakdikenal masuk ke dalam kamar dengan segala kegiatannya

Tabel 5 merangkum titik-titik strategis penempatan perangkat keamanan rumah pintar berbasis IoT di beberapa ruang utama dalam rumah, pemilihan lokasi ini didasarkan pada potensi risiko keamanan yang berbeda di setiap area serta urgensi pemantauan aktivitas yang mungkin terjadi. Lokasi pertama adalah ruang depan, yang berfungsi sebagai akses utama keluar masuk rumah. Penempatan perangkat pada area ini bertujuan untuk mendeteksi gerakan awal dari orang yang memasuki rumah, karena pintu depan merupakan satu-satunya jalur akses resmi. Sensor PIR pada posisi ini dapat langsung mengaktifkan sistem saat mendeteksi aktivitas, memungkinkan respon cepat dari pengguna melalui notifikasi WhatsApp. Selanjutnya, perangkat juga diposisikan di area dapur. Penempatan ini dirancang untuk menangkap pergerakan individu yang mungkin menyusup lebih jauh ke dalam rumah. Sensor di dapur mendokumentasikan aktivitas yang mencurigakan dan memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai keberadaan orang tak dikenal di area tersebut. Lokasi ketiga adalah kamar tidur, sebagai ruang privat yang memiliki tingkat sensitivitas keamanan tinggi. Deteksi gerakan di dalam kamar memungkinkan sistem memberikan peringatan dini apabila terjadi pelanggaran terhadap privasi penghuni rumah.

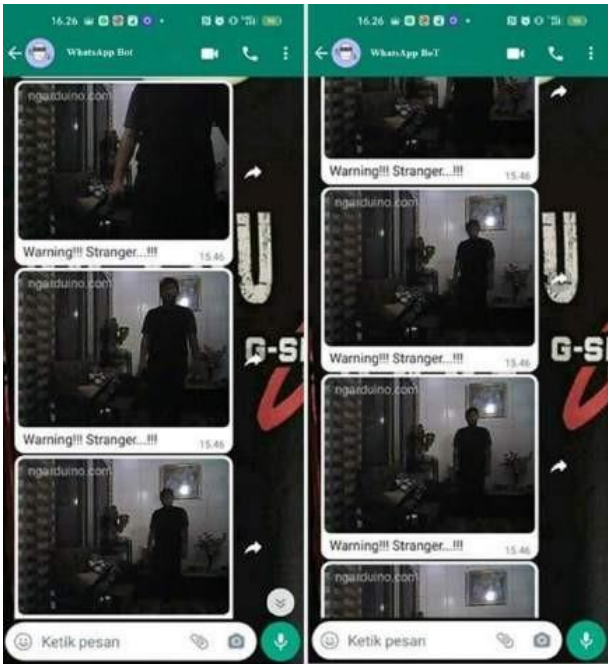
3.2. Pengujian Aplikasi WhatsApp

Tujuan pengujian adalah untuk melihat apakah mikrokontroler ESP32-Cam dapat membuat koneksi dengan aplikasi perpesanan WhatsApp dengan mentransmisikan gambar yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Notifikasi WhatsApp Menggunakan Laptop

Selain dapat digunakan pada *smartphone* untuk berkirim pesan WhatsApp, foto anggota keluarga juga dapat dilihat di PC atau laptop, agar lebih mudah memeriksa notifikasi secara bersamaan pada dua media fisik yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Notifikasi di Aplikasi WhatsApp Menggunakan *Smartphone*

Terdapat *delay* 1-3 detik saat mengirimkan dua foto dari anggota rumah ke program bot WhatsApp. Konektivitas internet atau *wifi* yang digunakan oleh sistem ini, memiliki dampak yang signifikan pada seberapa cepat notifikasi dengan gambar terkirim yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian Ukuran Kabel USB 5 Pin Saat Mendeteksi Gerakan

No	Ukuran Panjang Kabel	Menggunakan Smartphone	Delay Waktu Notifikasi Rata-rata	Menggunakan Laptop	Delay Waktu Notifikasi Rata-rata
1	Panjang 20 cm	Baik, selesai	1 detik	Baik, selesai	1 detik
2	Panjang 50 cm	Baik, selesai	3 detik	Baik, selesai	3 detik
3	Panjang 100 cm	Baik, selesai	10 detik	Baik, selesai	10 detik
4	Panjang 300 cm	Baik, selesai	20 detik	Baik, selesai	20 detik

Dilakukan pengujian dengan panjang kabel USB 5 pin untuk memastikan penggunaan panjang kabel jika sumber tegangan jauh dari alat, pengujian tersebut didapatkan pada aplikasi pesan whatsapp saat mendeteksi gerakan dengan dua media perangkat keras yaitu *smartphone* dan laptop seperti yang Tabel 6. diatas, didapatkan hasil bahwa keduanya menerima notifikasi gambar dan teks secara bersamaan. Kedua media tersebut menerima notifikasi gambar dengan rentan *delay* waktu rata-rata 1 sampai 3 detik untuk kabel panjang 20 sampai 50 cm dan rentan *delay* 10 sampai 20 detik untuk kabel panjang 100 cm sampai 300 cm. Berarti kecepatan notifikasi pengiriman gambar ini selain sangat dipengaruhi dari konektifitas internet. Pada pengujian ini mikrokontroler ESP32-Cam terkoneksi jaringan *wifi hotspot* pribadi dari *smartphone* penulis. Dari hasil pengujian selama 30 hari tersebut, didapatkan bahwa pada setiap ruangan dipasang alat *smarthome* selalu membaca gerakan yang terpasang alat sensor PIR mendeteksi adanya gerakan manusia di ruangan. Penggunaan data storage tidak terlalu memberatkan *smartphone* untuk menyimpan hasil capture gambar yang dilakukan selama 30 hari, jumlahnya yaitu 41.500 KB atau 41.5 MB yang ditunjukkan pada Gambar 12.

Dari implementasi alat *smart home* menggunakan ESP32-Cam dan sensor PIR dengan notifikasi via pesan WhatsApp didapatkan hasil bahwa kondisi ruangan di dalam rumah bisa termonitor dengan baik, yang ditunjukkan pada Tabel 7.



Gambar 12. Penggunaan Data Storage

Tabel 7. Pengujian Selama Satu Bulan

No	Tanggal	Ruang Depan	Dapur	Kamar Tidur	Keterangan
1	01 Juni 2023	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
2	02 Juni 2023	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
3	03 Juni 2023	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
4	04 Juni 2023	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
5	05 Juni 2023	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
6	06 Juni 2023	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
7	07-Jun-23	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
8	08-Jun-23	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
9	09-Jun-23	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
10	10-Jun-23	Kedeteksi	Tidak	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
11	11-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
12	12-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
13	13-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
14	14-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
15	15-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
16	16-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
17	17-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
18	18-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
19	19-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
20	20-Jun-23	Tidak	Kedeteksi	Tidak	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
21	21-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
22	22-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
23	23-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
24	24-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
25	25-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
26	26-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
27	27-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
28	28-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
29	29-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan
30	30-Jun-23	Tidak	Tidak	Kedeteksi	Alat mendeteksi ada gerakan / kegiatan

Implementasi sistem keamanan rumah pintar berbasis ESP32-CAM dan sensor PIR dengan dukungan notifikasi *real-time* melalui WhatsApp telah berhasil dijalankan pada tiga area strategis di dalam rumah: ruang depan, dapur, dan kamar tidur. Tabel 9 menyajikan hasil monitoring selama periode 30 hari (1-30 Juni 2023), yang mencatat aktivitas deteksi gerakan oleh sistem pada masing-masing ruangan. Berdasarkan data yang diperoleh, sistem menunjukkan hasil deteksi yang konsisten dan valid. Pada tanggal 1 hingga 10 Juni 2023, perangkat yang diposisikan di ruang depan berhasil mendeteksi pergerakan setiap hari, sementara dua lokasi lainnya (dapur dan kamar tidur) tidak mencatat aktivitas. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat yang mengawasi ruang depan berfungsi optimal sebagai penjaga akses utama rumah. Selanjutnya, pada tanggal 11 hingga 20 Juni 2023, sistem pada area dapur mulai aktif mendeteksi aktivitas. Sedangkan sensor di ruang depan dan kamar tidak menunjukkan aktivitas signifikan pergeseran ini mengindikasikan adanya perubahan sumber pergerakan dan pengunjung yang bergeser ke area dapur. Mulai tanggal 21 hingga 30 Juni 2023, deteksi berpindah ke area kamar tidur. Sistem menunjukkan konsistensi dalam mendeteksi gerakan pada ruangan tersebut setiap hari selama sepuluh hari berturut-turut. Pola ini memperkuat asumsi bahwa perangkat memiliki kemampuan deteksi yang merata ketika diposisikan pada lokasi yang berbeda, serta keakuratan sistem dalam mengidentifikasi kehadiran manusia berdasarkan pemicu dari sensor PIR.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil merancang sistem keamanan rumah pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32-CAM sebagai pusat kendali, sensor PIR HC-SR501 untuk deteksi pergerakan, dan platform WhatsApp sebagai media notifikasi pengguna. Sistem dirancang menggunakan Arduino IDE dan menunjukkan kinerja yang stabil dan responsif selama proses pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR mampu mendeteksi aktivitas gerakan dalam jarak 1 hingga 3 meter dengan tingkat sensitivitas yang tinggi. Setelah gerakan terdeteksi, modul ESP32-CAM secara otomatis mengaktifkan *buzzer* sebagai alarm lokal, mengambil gambar melalui kamera internal, dan mengirimkan notifikasi berisi pesan teks dan foto ke akun WhatsApp pengguna dengan latensi rata-rata antara 1 hingga 3 detik. Sistem ini juga memiliki efisiensi penyimpanan yang tinggi, dengan rata-rata penggunaan memori sebesar 3,1 MB untuk periode penggunaan satu bulan, yang mendukung kelayakan jangka panjang di lingkungan rumah dengan hasil valid yang menunjukkan keakuratan sensor dan ketepatan pengiriman notifikasi.

Hasil sistem telah menunjukan kinerja yang memuaskan, beberapa aspek masih dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur visualisasi dukungan streaming video *real-time* agar pengguna dapat memantau kondisi rumah secara langsung dengan integrasi sistem platform cloud atau CCTV berbasis IoT dapat meningkatkan skalabilitas dan perekaman video otomatis sebagai bukti digital.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Bachtiar, P. P. Surya, and R. P. Astutik, "Rancang Bangun Dual Keamanan Sistem Wajah Dan Sidik Jari Berbasis Iot (Internet of Things)," *Jurnal POLEKTRO*, vol. 11, no. 1, pp. 102–107, 2022.
- [2] A. Fakhruddin, and D. Irawan, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Pintu Rumah Berbasis Internet of Things Dengan Esp32 Dan Aplikasi Blynk," *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 19, no. 1, p. 53, 2024, doi: 10.30587/e-link.v19i1.7600.
- [3] O. Taiwo and A. E. Ezugwu, "Internet of Things-Based Intelligent Smart Home Control System," *Security and Communication Networks*, vol. 2021, pp. 1-17, 2021, doi: <https://doi.org/10.1155/2021/9928254>.
- [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," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 2, pp. 1080-1089, 2024, doi: <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i2.4126>.

- [5] R. B. Salikhov, V. K. Abdrakhmanov, and I. N. Safargalin, "Internet of things (IoT) security alarms on ESP32-CAM," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2096, no. 1, 2021, pp. 1-7, doi: 10.1088/1742-6596/2096/1/012109.
- [6] A. K. Sikder *et al.*, "A Survey on Sensor-Based Threats and Attacks to Smart Devices and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 2, pp. 1-35, 2021, doi: 10.1109/COMST.2021.3064507.
- [7] N. A. Khan, A. Awang, and S. A. A. Karim, "Security in Internet of Things: A Review," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 104649–104670, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3209355.
- [8] A. S. Fadillah and P. Purwanto, "Prototipe Keamanan Rumah Menggunakan ESP32 Cam dan Sensor PIR Berbasis Android," *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi*, vol. 1, no. 1, pp. 1129–1136, 2022.
- [9] X. Li *et al.*, "Smart Applications in Edge Computing: Overview on Authentication and Data Security," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 6, pp. 4063–4080, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3019297.
- [10] J. Yang and L. Sun, "A Comprehensive Survey of Security Issues of Smart Home System: 'Spear' and 'Shields,' Theory and Practice," *IEEE Access*, vol. 10, no. November, pp. 124167–124192, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3224806.
- [11] H. Raeis, M. Kazemi, and S. Shirmohammadi, "Human Activity Recognition with Device-Free Sensors for Well-Being Assessment in Smart Homes," *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, vol. 24, no. 6, pp. 46–57, 2021, doi: 10.1109/MIM.2021.9513637.
- [12] V. Roviqoh, A. Damayanti, and I. P. Wardhani, "Sistem Human Computer Interaction (HCI) Keamanan Rumah Pintar Berbasis IoT," *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 65–72, 2023, doi: 10.54082/jiki.29.
- [13] F. Fitri *et al.*, "Implementasi Sistem Keamanan IoT Berbasis QR Code pada Loker untuk Peningkatan Keamanan dan Aksesibilitas," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 3, pp. 788–796, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i3.6650.
- [14] R. Septian and S. . Prasetyo, "Sistem Keamanan Menggunakan Kamera dan Sensor Gerak Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Ilmu Komputer dan Sains*, vol. 1, no. 09, pp. 1330–1339, 2022.
- [15] P. W. Rusimamto *et al.*, "Implementation of arduino pro mini and ESP32 cam for temperature monitoring on automatic thermogun IoT-based," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 23, no. 3, pp. 1366–1375, 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v23.i3.pp1366-1375.
- [16] S. O. N. Putri *et al.*, "Sistem Keamanan Rumah Berbasis Iot Dengan Nodemcu Esp8266 Menggunakan Sensor Pir Sebagai Pendeteksi Gerakan," *Jurnal Informatika Komputer Bisnis dan Manajemen*, vol. 20, no. 2, pp. 13–22, 2022, doi: 10.61805/fahma.v20i2.29.
- [17] M. K. Ario *et al.*, "Designing IoT-Based Smarthome System With Chatbot," *Engineering Mathematics and Computer Science (EMACS) Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 113–117, 2022, doi: 10.21512/emacsjournal.v4i3.8787.