
Sistem Keamanan Rumah Berbasis Iot Dengan Integrasi *Smart Doorbell* Dan Pengenalan Wajah

Muhammad Tegar Adi Pratama*¹, Oni Yuliani², Trie Handayani³, Suyanta⁴

^{1,2,3,4}Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Teknik dan Perencanaan, Yogyakarta

e-mail: *¹3100210032@students.itny.ac.id, ²oniyluliani@itny.ac.id, ³trie.handayani@itny.ac.id,
⁴suyanta@itny.ac.id

Abstrak

Tingginya angka kejahatan terhadap rumah tinggal mendorong kebutuhan akan sistem keamanan yang cerdas dan dapat diakses dari jarak jauh. Penelitian merancang sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT) dengan integrasi *smart doorbell* dan pengenalan wajah menggunakan modul ESP32-CAM. Sistem mampu mengidentifikasi wajah penghuni yang telah terdaftar dan memberikan akses otomatis melalui solenoid *door lock*, serta mengirimkan notifikasi dan gambar wajah pengunjung secara *real-time* melalui aplikasi Telegram.

Metode rancangan menggunakan pendekatan rekayasa sistem melalui pemrograman Arduino IDE dan Python (Flask + OpenCV) untuk server pengenalan wajah. Sistem dilengkapi metode autentikasi cadangan berupa keypad dan perintah Telegram.

Hasil pengujian menunjukkan sistem memiliki tingkat akurasi pengenalan wajah sebesar 94,44% dalam kondisi terang dan redup, akurasi menurun ke 66,67% dalam kondisi gelap, serta waktu respon rata-rata pengenalan wajah sekitar 2,15 detik. Fitur autentikasi via keypad dan perintah Telegram juga bekerja dengan baik, dan push button bel berhasil memicu notifikasi gambar ke Telegram disertai aktivasi buzzer. Keunikan sistem terletak pada penggunaan teknologi pengenalan wajah secara otomatis sebagai otentikasi utama tanpa bantuan perangkat tambahan, dan beberapa fitur lain seperti keypad dan kontrol telegram yang menjadikannya praktis, aman, dan efisien. Sistem dapat bekerja dan layak diterapkan pada lingkungan rumah tangga sebagai solusi keamanan pintar berbasis IoT.

Kata kunci— Internet of Things, Sistem Keamanan Rumah, Pengenalan Wajah, *Smart Doorbell*

Abstract

The high rate of residential crime has driven the need for a smart, remotely accessible security system. This research design developed an Internet of Things (IoT)-based home security system that integrates a smart doorbell and facial recognition using an ESP32-CAM module. The system is capable of identifying registered occupants' faces and granting automatic access via the door lock solenoid. It also sends notifications and real-time images of visitors' faces via the Telegram app.

The design method employed a systems engineering approach, using Arduino IDE and Python programming (Flask + OpenCV) for the facial recognition server. The system is equipped with a backup authentication method using a keypad and Telegram commands.

Test results showed the system achieved a facial recognition accuracy of 94.44% in both bright and dim conditions, with accuracy dropping to 66.67% in dark conditions, and an average facial recognition response time of approximately 2.15 seconds. The authentication feature via keypad and Telegram commands also performed well, and the doorbell push button successfully triggered an image notification to Telegram and activated a buzzer. The system's uniqueness lies in its use of automatic facial recognition technology as the primary authentication device without the need for additional devices, along with several other features, such as a keypad and Telegram control, that make it practical, secure, and efficient. The system can be implemented and is suitable for household environments as an IoT-based smart security solution.

Keywords— Internet of Things, Home Security System, Facial Recognition, *Smart Doorbell*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan di era industri 4.0 membuka peluang besar di berbagai bidang untuk berinovasi, salah satu inovasi teknologi yang telah diterapkan adalah rumah pintar (smart home) dengan sistem keamanan bel pintu pintar (*smart doorbell*) (Rasyidan et al., 2024). Dewasa ini masyarakat semakin mengutamakan kenyamanan dan keamanan dalam menjalankan kehidupan sehari-hari. Salah satu aspek yang menjadi perhatian utama adalah keamanan rumah, terutama dalam hal pengawasan akses dan kontrol pintu masuk. (Ramadhani, 2021), (Habibullah, 2021).

Rumah merupakan tempat tinggal yang digunakan untuk berlindung dari berbagai ancaman, selain itu rumah menjadi tempat tinggal untuk ditinggali, menyimpan harta benda, melakukan aktivitas dan lain sebagainya. Saat ini masyarakat menggunakan kunci konvensional sebagai sarana keamanan akses keluar masuk rumah, hal tersebut kurang efektif dikarenakan pemilik rumah harus membawa kunci jika berpergian dari rumah dan sering kali pemilik rumah kehilangan atau lupa membawa kunci, selain itu rumah yang ditinggal pemilik menjadi incaran bagi para pencuri dan perampok untuk membobol rumah (Astri Merilsa Fani et al., 2024).

Berdasarkan permasalahan yang ada, dibutuhkan inovasi teknologi yang mampu membuka pintu otomatis tanpa kunci konvensional serta mampu memberikan keamanan rumah dengan pemantauan dari jarak jauh, penerapan keamanan rumah berbasis IoT yang terintegrasi *smart doorbell* dan pengenalan wajah merupakan teknologi yang berkembang saat ini, adapun penelitian-penelitian yang dilakukan untuk rancangan sistem keamanan rumah berbasis IoT dengan integrasi *smart doorbell* dan pengenalan wajah.

Penelitian yang dilakukan oleh Basabilik (2021) yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pemantau Tamu Berbasis Internet of Things” mengintegrasikan ESP32-CAM, infrared sensor, dan solenoid door lock. Sistem ini mengirimkan foto wajah tamu ke aplikasi Telegram dan memungkinkan pengguna untuk membuka pintu secara otomatis melalui perintah teks “/buka”. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem bekerja baik dalam pengiriman data dan kontrol akses secara real-time. Meskipun demikian, sistem ini masih mengandalkan kontrol manual tanpa adanya autentikasi biometrik, sehingga potensi penyalahgunaan tetap ada apabila akses Telegram tidak diamankan secara baik.

Jardian et al. (2025) dalam penelitiannya yang berjudul “Perancangan Smart Door Berbasis ESP32-WROVER dengan Sistem Notifikasi Melalui Aplikasi Blynk” mengembangkan sistem smart door berbasis ESP32-WROVER dengan fitur pendeteksi gerakan, tampilan LCD, pengendali solenoid door lock, dan notifikasi melalui aplikasi Blynk. Sistem ini memiliki kemampuan cukup lengkap dalam hal interaksi dengan pengguna dan sistem kendali akses. Akan tetapi, penelitian ini masih belum menerapkan teknologi pengenalan wajah sebagai metode autentikasi otomatis, sehingga keputusan akses pintu masih mengandalkan intervensi manual pengguna.

Penelitian berjudul “Rancang Bangun Sistem Keamanan Pintu Menggunakan Metode Pengenalan Wajah Berbasis Internet of Things” oleh Handayani et al. (2023) mengembangkan sistem keamanan pintu berbasis pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM yang terhubung dengan aplikasi Telegram. Sistem ini secara otomatis mengenali wajah penghuni rumah dan mengaktifkan solenoid door lock jika wajah cocok dengan data yang tersimpan. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sistem yang baik dan waktu respons yang cepat.

Penelitian Lestari (2024) yang berjudul “Rancang & Bangun Bel Rumah Otomatis Berbasis IoT dan Face Recognition Dengan Aplikasi Android Menggunakan ESP32-CAM” merancang sistem bel otomatis menggunakan ESP32-CAM dan teknologi face recognition yang diintegrasikan dengan aplikasi Android. Sistem ini mampu membedakan wajah pengguna berdasarkan nilai confidence dan mengirimkan notifikasi ke perangkat seluler. Penelitian ini menunjukkan keunggulan dalam aspek pemrosesan wajah dan interaksi melalui aplikasi mobile,

namun belum diintegrasikan dengan perangkat pengendali fisik seperti solenoid door lock. Hal ini membuat sistem belum sepenuhnya otomatis dalam mengatur akses fisik.

Penelitian oleh Riawan et al. (2024) dengan judul “Perancangan Prototype Sistem Deteksi Wajah untuk Keamanan Rumah menggunakan Smart Bell dengan ESP 32 Cam” merancang sistem keamanan rumah menggunakan Smart Bell yang terhubung ke ESP32-CAM dan aplikasi Telegram. Sistem ini dapat mengambil foto pengunjung dan mengirimkannya ke Telegram saat tombol bel ditekan, dengan waktu delay pengiriman sekitar 1–3 detik. Sistem berjalan stabil dalam kondisi pencahayaan normal dan mampu memberikan notifikasi real-time. Namun, sistem ini masih belum dilengkapi dengan fitur pengenalan wajah atau autentikasi lainnya yang dapat meningkatkan tingkat keamanan akses ke dalam rumah.

Penelitian bertujuan untuk memberikan fleksibilitas dalam penggunaan kunci konvensional serta keamanan rumah yang dapat dipantau dari jarak jauh. Penelitian dilakukan dengan merancang dan mengembangkan alat prototipe yang terintegrasi internet of things (IoT). Alat prototipe dirancang untuk membuka pintu otomatis serta pengenalan wajah yang dapat dikontrol dan dipantau melalui ponsel, pengontrolan dan pemantauan dilakukan menggunakan aplikasi Telegram yang terhubung dengan prototipe, sehingga prototipe dapat memantau secara real-time dari jarak jauh. Rancangan menggunakan Esp32 Cam sebagai mikrokontroler sekaligus kamera pengenalan wajah, serta dilengkapi sensor-sensor dan aktuator seperti Lcd i2c, Keypad 4x3, Relay, *Buzzer*, *Push Button*, dan Led. Adapun rancangan menggunakan baterai 18560 dengan daya 12 volt sebagai sumber daya rancangan.

2. METODE PENELITIAN

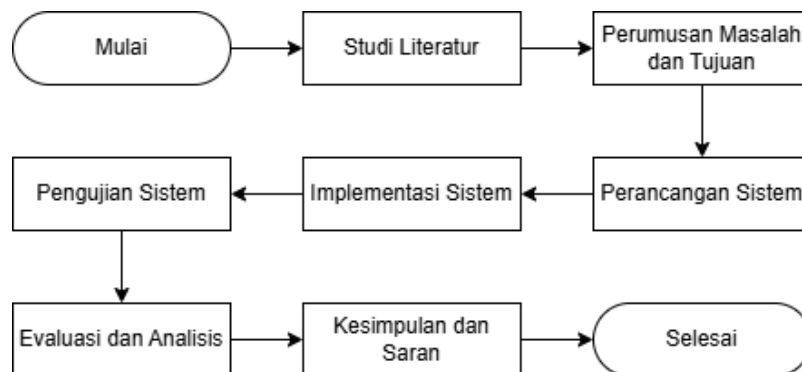
Penelitian dilakukan menggunakan metode pengumpulan data dan analisis data, adapun dalam metode penelitian dilakukan pencarian data literatur hingga perancangan prototipe.

2.1. Alat dan Bahan

Perancangan dilakukan dengan alat dan bahan seperti Esp32-Cam, Arduino IDE, solenoid *door lock*, relay, *push button*, *buzzer*, lcd i2c, led, resistor, keypad 4x3, saklar, baterai 18650, pc8574 extender, *step down*, multimeter digital, dan ponsel.

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian menggunakan tahapan mulai dari pendekatan rekayasa sistem hingga implementasi prototipe. Gambar 1. merupakan tahapan dalam penelitian ini.



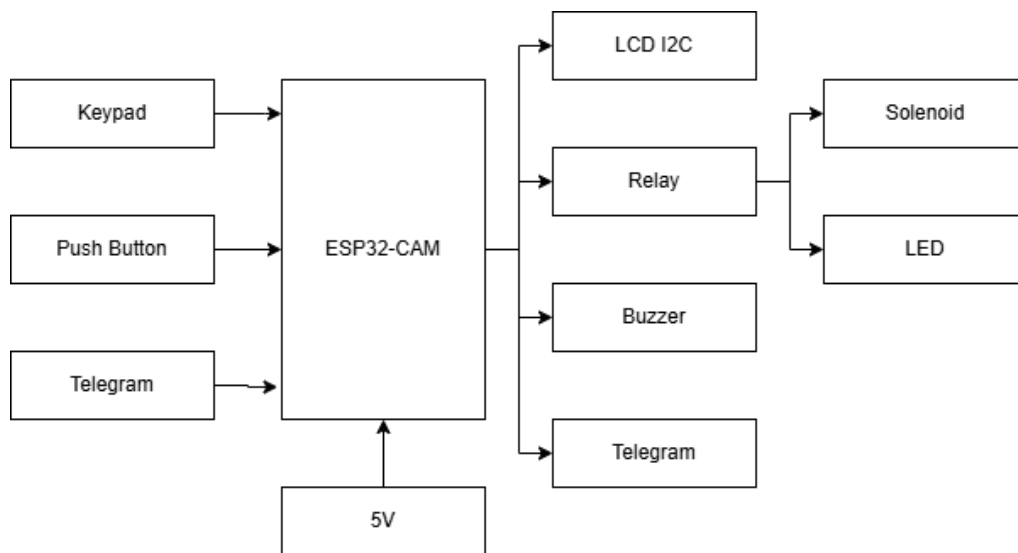
Gambar 1. Tahapan penelitian

1. Studi Literatur: Pengumpulan referensi dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, artikel online, dan dokumentasi teknis. Informasi yang dikumpulkan mencakup teknologi ESP32-CAM, sistem pengenalan wajah (face recognition), penggunaan solenoid door lock, serta komunikasi melalui Telegram Bot API
-

-
2. Perumusan Masalah dan Tujuan: Identifikasi permasalahan yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini, khususnya terkait kelemahan sistem keamanan rumah konvensional. Berdasarkan masalah tersebut, ditentukan tujuan dari penelitian, yaitu merancang sistem keamanan rumah otomatis berbasis autentikasi wajah dan komunikasi IoT.
 3. Perancangan Sistem: Perancangan sistem dilakukan dalam bentuk skematik rangkaian elektronik serta alur kerja logika sistem.
 4. Implementasi Sistem: Perakitan perangkat keras seperti ESP32-CAM, relay, dan solenoid door lock. Proses pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE. Program ditulis untuk mengatur fungsi ESP32-CAM dalam mengambil gambar, mengenali wajah, mengirimkan data ke Telegram, dan mengaktifkan kunci otomatis bila wajah dikenali.
 5. Pengujian Sistem: Sistem yang telah dibangun diuji untuk mengetahui tingkat keberhasilan fungsi-fungsinya. Pengujian dilakukan terhadap akurasi pengenalan wajah, waktu respons sistem terhadap perintah dari Telegram, serta kestabilan sistem dalam bekerja secara berkelanjutan.
 6. Evaluasi dan Analisis: Hasil dari pengujian dianalisis baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Analisis mencakup pengukuran akurasi, delay waktu, dan tingkat keberhasilan sistem.
 7. Kesimpulan dan Saran: Setelah dilakukan evaluasi, disusun kesimpulan mengenai pencapaian tujuan penelitian serta tingkat keberhasilan sistem yang dirancang. Saran juga diberikan untuk pengembangan lebih lanjut, baik dalam hal peningkatan fitur maupun efisiensi sistem untuk implementasi skala lebih luas.

2.3. Perancangan sistem

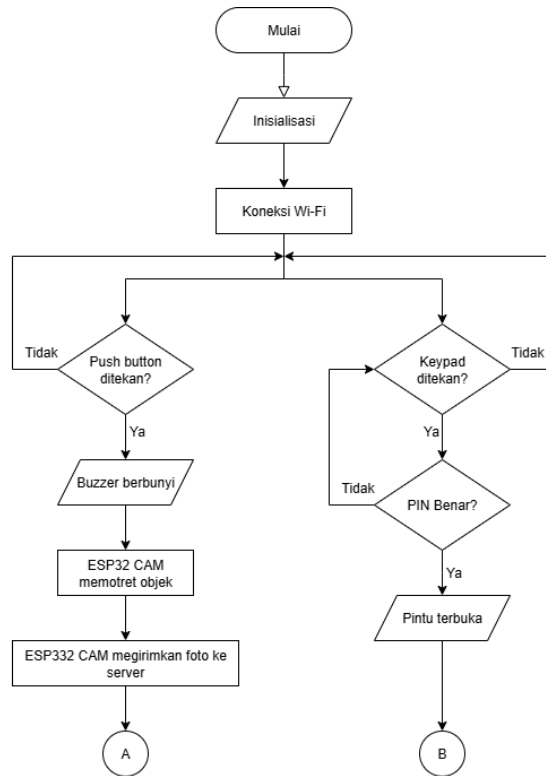
Perancangan sistem dilakukan dengan komponen-komponen utama sistem keamanan rumah berbasis IoT seperti ESP32-CAM, solenoid door lock, keypad, dan integrasi aplikasi Telegram. Gambar 2. merupakan blok diagram yang digunakan dalam rancangan sistem keamanan rumah berbasis IoT dan pengenalan wajah.



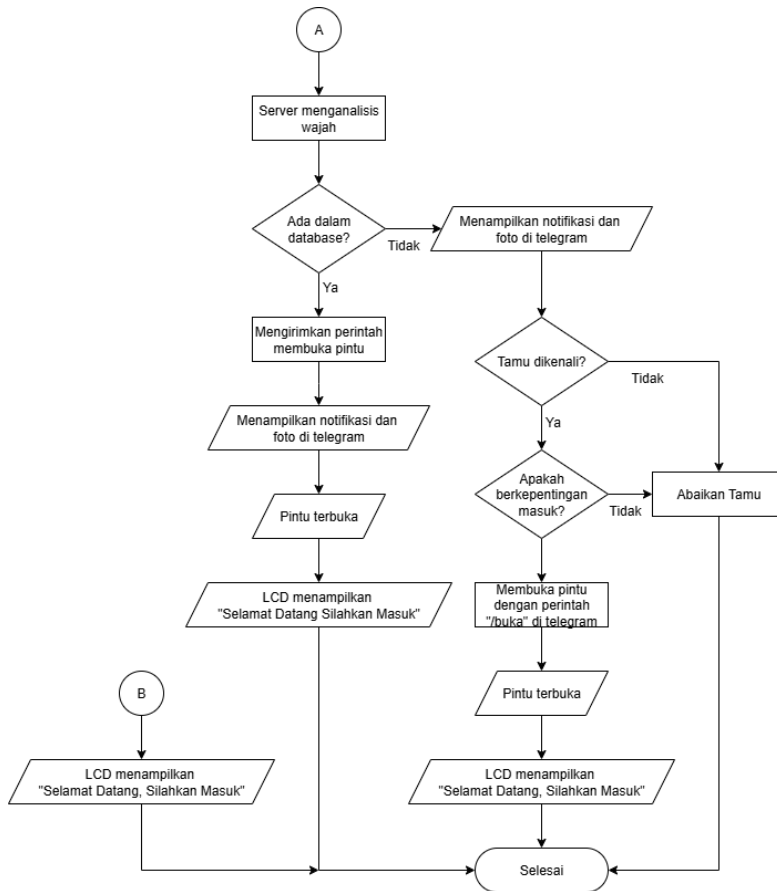
Gambar 2. Blok diagram sistem

2.4. Alur Sistem

Rancangan menggunakan alur sistem dengan mikrokontroler Esp32-Cam sebagai pengolah data sekaligus pengontrol aktuator pada rancangan. Gambar 3. merupakan alur sistem dalam perancangan sebagai proses implementasi koding pada mikrokontroler.



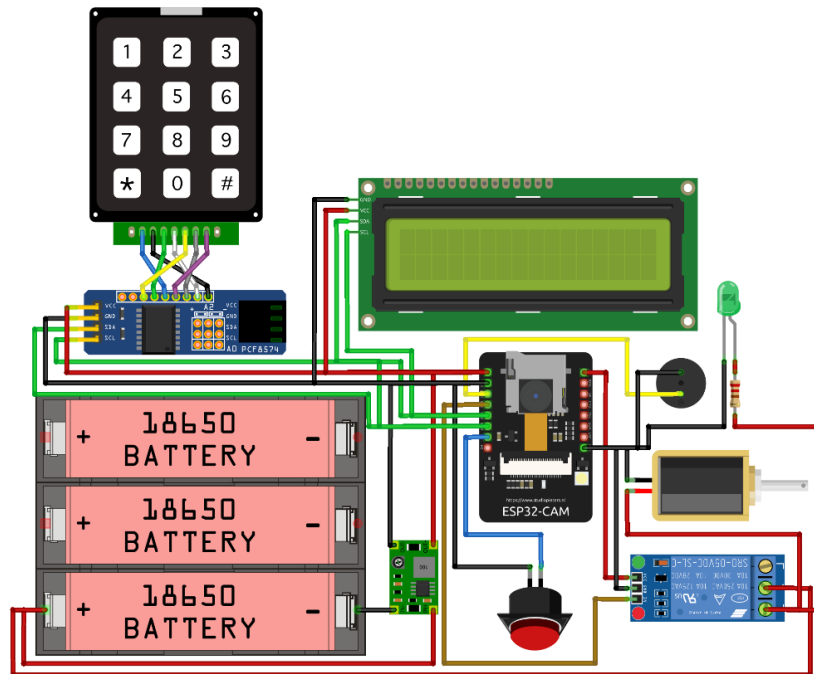
Gambar 3. Alur sistem



Gambar 3.1. Alur sistem

2.5. Skematik Rangkaian

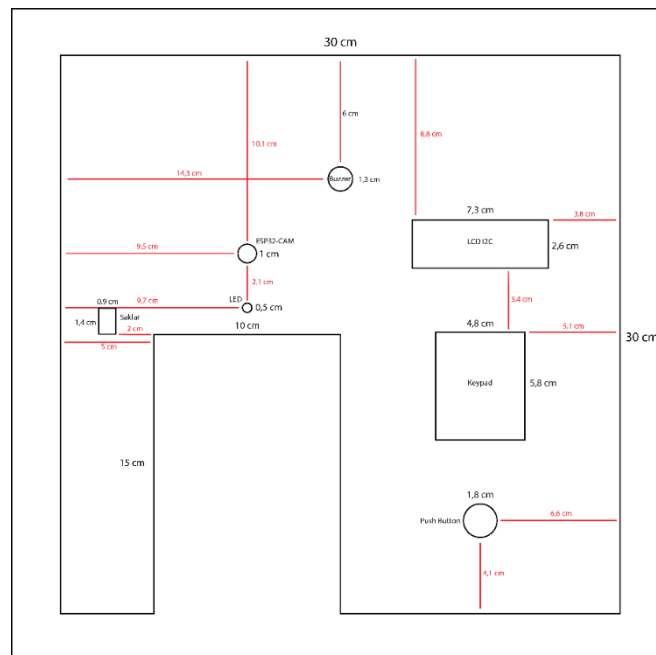
Rancangan menggunakan skematik rangkaian dengan aplikasi fritzing, rancangan menggunakan komponen utama seperti Esp32-cam yang terhubung pada sensor dan aktuator. Gambar 4. merupakan rangkaian skematik yang digunakan dalam perancangan sistem.



Gambar 4. Rangkaian alat

2.6. Desain alat

Berikut merupakan desain rancangan yang diterapkan. Gambar 5. merupakan desain dalam rancangan prototipe, didalamnya memuat ukuran yang digunakan rancangan serta peletakan komponen yang sesuai.



Gambar 5. Desain prototipe alat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

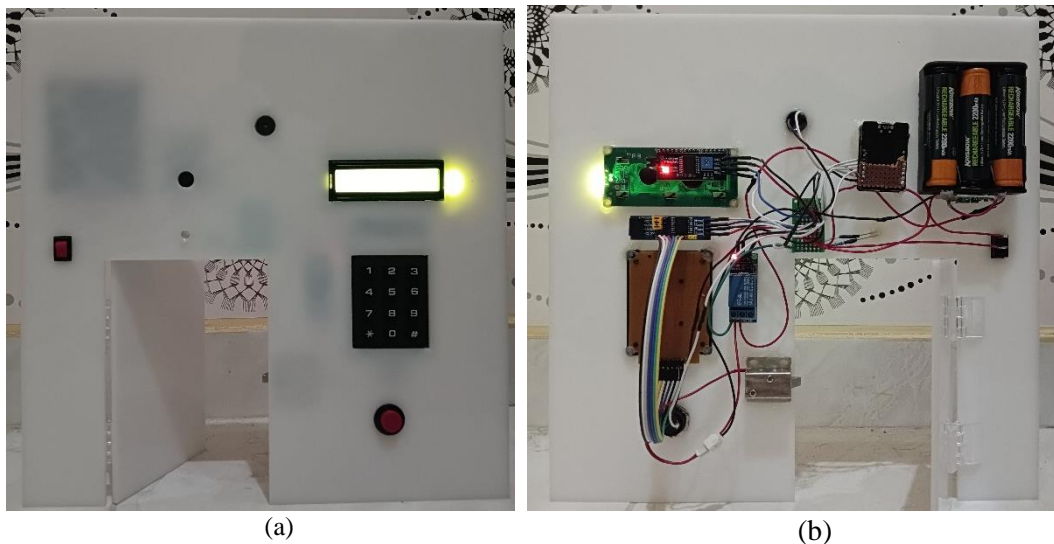
Rancangan dalam penelitian ini memiliki beberapa hasil yang dibagi menjadi hasil rancangan sistem, hasil rancangan perangkat keras dan hasil rancangan perangkat lunak.

3.1.1. Hasil Rancangan Sistem

Rancangan dapat mendeteksi wajah dan autentikasi wajah yang dikenali dengan kamera pada Esp32-cam. Sistem dimulai dengan mendeteksi wajah yang telah dimasukkan dalam database selanjutnya relay akan aktif membuka pintu secara otomatis jika sesuai dengan database, selain itu rancangan menggunakan keypad sebagai alternatif lain untuk membuka pintu dengan memasukkan PIN atau dapat menggunakan kontrol perintah menggunakan Telegram dengan perintah seperti /foto, /buka, dan /tutup. Push button bel digunakan sebagai pemicu utama ketika ada tamu, yang secara otomatis memicu pengambilan gambar dan mengirimkannya ke Telegram.

3.1.2. Hasil Rancangan Perangkat Keras

Rancangan menerapkan fungsi perangkat keras pada pintu rumah sebagai penggunaan prototipe yang andal, efisien, dan mudah diimplementasikan. Gambar 6. merupakan prototipe rancangan perangkat keras yang telah di uji.



Gambar 6. (a). Tampak depan, (b). Tampak belakang

3.1.3. Hasil Rancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada rancangan menggunakan Arduino IDE dan program server yang dijalankan menggunakan Python Flask. Program pada ESP32-CAM berfungsi untuk mengelola pengambilan gambar, membaca input dari keypad, menangani interrupt dari push button, serta mengatur logika pembukaan pintu menggunakan relay. Sedangkan program server sebagai framework Python ringan yang bertugas menerima foto dari ESP32-CAM dan menjalankan proses pengenalan wajah menggunakan library face_recognition, yang berbasis pustaka OpenCV. Server Flask akan mengembalikan hasil klasifikasi wajah berupa “recognized” atau “unrecognized” sebagai respon terhadap ESP32-CAM, yang kemudian menentukan apakah relay akan diaktifkan. Gambar 7. merupakan tampilan pada aplikasi telegram yang telah dikoding berdasarkan kebutuhan. Gambar 8. merupakan koding pada rancangan prototipe.



Gambar 7. Tampilan antarmuka Telegram

```
Windows PowerShell
Membaca file: Gilang/Gilang1.jpg
Wajah berhasil dibaca: Gilang1.jpg
Membaca file: Gilang/Gilang2.jpg
Wajah berhasil dibaca: Gilang2.jpg
Membaca file: Gilang/Gilang3.jpg
Wajah berhasil dibaca: Gilang3.jpg
Membaca file: Gilang/Gilang4.jpg
Wajah berhasil dibaca: Gilang4.jpg
Membaca file: Gilang/Gilang5.jpg
Wajah berhasil dibaca: Gilang5.jpg
Membaca file: Tegar/Tegar1.jpg
Wajah berhasil dibaca: Tegar1.jpg
Membaca file: Tegar/Tegar2.jpg
Wajah berhasil dibaca: Tegar2.jpg
Membaca file: Tegar/Tegar3.jpg
Wajah berhasil dibaca: Tegar3.jpg
Membaca file: Tegar/Tegar4.jpg
Wajah berhasil dibaca: Tegar4.jpg
Membaca file: Tegar/Tegar5.jpg
Wajah berhasil dibaca: Tegar5.jpg
[INFO] Total wajah dikenali: 14
* Serving Flask app 'app'
* Debug mode: off
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment. Use a production WSGI server instead.
* Running on all addresses (0.0.0.0)
* Running on http://127.0.0.1:5000
* Running on http://10.139.39.10:5000
Press CTRL+C to quit
```

Gambar 8. Tampilan server

3.2. Hasil Pengujian Kamera dan Pengenalan Wajah

Adapun hasil pengujian yang dilakukan didapati akurasi sebesar 94,44% dalam pengenalan wajah kondisi pencahayaan yang terang adapun pencahayaan redup memiliki akurasi 66,67% dengan respon pengenalan wajah sebesar 2,15 detik. Hasil pengujian dapat dilihat dalam tabel 1. berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Alat Prototipe

No	Nama	Status Wajah	Output Relay	Hasil	Dokumentasi
1.	Tegar	Terdaftar	Aktif	Sesuai	 Screenshot of a mobile application interface showing a face recognition result for 'Tegar'. The status is 'Wajah dikenali: Tegar' with a green checkmark and a timestamp of 07:21.
2.	Gilang	Terdaftar	Aktif	Sesuai	 Screenshot of a mobile application interface showing a face recognition result for 'Gilang'. The status is 'Wajah dikenali: Gilang' with a green checkmark and a timestamp of 11:27.
3.	Fikri	Terdaftar	Aktif	Sesuai	 Screenshot of a mobile application interface showing a face recognition result for 'Fikri'. The status is 'Wajah dikenali: Fikri' with a green checkmark and a timestamp of 07:30.
4.	Pras	Tidak Terdaftar	Nonaktif	Sesuai	 Screenshot of a mobile application interface showing a face recognition result for 'Pras'. The status is 'Wajah tidak dikenali.' with a red X and a timestamp of 10:55.
5.	Agus	Tidak Terdaftar	Nonaktif	Sesuai	 Screenshot of a mobile application interface showing a face recognition result for 'Agus'. The status is 'Wajah tidak dikenali.' with a red X and a timestamp of 07:12.
6.	Novan	Tidak Terdaftar	Nonaktif	Sesuai	 Screenshot of a mobile application interface showing a face recognition result for 'Novan'. The status is 'Wajah tidak dikenali.' with a red X and a timestamp of 14:53.

Tabel 1. menunjukkan sistem mampu membedakan wajah yang terdaftar dan tidak terdaftar dalam database. Untuk ketiga pengguna yang wajahnya telah terdaftar (Tegar, Gilang, Fikri), sistem secara konsisten mengaktifkan relay dan membuka kunci pintu. Sementara itu, untuk tiga pengguna yang tidak terdaftar (Pras, Agus, Novan), sistem tidak mengaktifkan relay dan mempertahankan kondisi pintu tetap terkunci. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi deteksi 100% pada skenario uji ini.

Keberhasilan ini menunjukkan bahwa integrasi antara ESP32-CAM dan server Flask berjalan optimal, dengan proses pengambilan gambar dan pengenalan wajah yang cepat dan akurat. Sistem juga menunjukkan kemampuan validasi yang baik, serta mekanisme pengamanan yang mencegah orang yang tidak dikenal masuk.

3.3. Hasil Pengujian Keypad dan Verifikasi PIN

Didapatkan hasil pengujian menggunakan keypad dan PIN adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Keypad

No	Input PIN	Status PIN	Output Relay	Hasil
1.	1234	Benar	Aktif	Sesuai
2.	1111	Salah	Nonaktif	Sesuai
3.	4321	Salah	Nonaktif	Sesuai

Tabel 2. merupakan hasil pengujian dengan aktivasi PIN dimulai dengan tombol #. Jika PIN yang dimasukkan sesuai dengan kode yang telah ditentukan di sistem, maka relay akan aktif dan pintu terbuka. Jika PIN salah, sistem akan menolak akses dan menampilkan status pada LCD.

Rancangan sistem mampu memverifikasi PIN dengan input 1234 adalah PIN sistem. Sementara itu, dua input lainnya (1111 dan 4321) ditolak oleh sistem karena tidak sesuai, dan relay tetap dalam kondisi nonaktif. Sistem juga menampilkan status input pada LCD 16x2, seperti "PIN Benar" atau "PIN Salah", sehingga pengguna mendapatkan umpan balik secara langsung atas hasil verifikasi. Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa modul keypad bekerja dengan baik dan komunikasi antara input keypad, proses verifikasi, serta kendali relay telah berjalan secara sinkron dan andal.

3.4. Hasil Pengujian Aplikasi Telegram

Pengujian aplikasi Telegram dapat berfungsi untuk mengontrol sistem pintu secara jarak jauh. Berikut tabel hasil dari pengujian aplikasi Telegram.

Tabel 3. Pengujian Aplikasi Telegram

No	Perintah	Respon Sistem	Output	Hasil
1.	/foto	Foto dikirim ke Telegram	Notifikasi Foto	Sesuai
2.	/buka	Relay aktif	Kunci Pintu Terbuka	Sesuai
3.	/tutup	Relay nonaktif	Kunci Pintu Tertutup	Sesuai

Tabel 3. Merupakan hasil pengujian pada perintah kontrol melalui aplikasi Telegram. Sistem mampu menjalankan perintah yang dikirimkan sesuai dengan yang di program. Perintah /foto menghasilkan gambar yang dikirim dari ESP32-CAM ke Telegram dalam bentuk foto langsung, membuktikan bahwa sistem komunikasi dua arah antara ESP32 dan server Telegram berfungsi dengan baik. Perintah /buka dan /tutup juga memberikan respons nyata berupa aktivasi dan deaktivasi relay yang mengendalikan pintu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT) dengan integrasi ESP32-CAM, pengenalan wajah, keypad, dan bot Telegram, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem berhasil diimplementasikan secara fungsional, ditandai dengan kemampuan ESP32-CAM untuk mengenali wajah pengguna terdaftar dan membuka kunci pintu secara otomatis menggunakan relay.
2. Hasil pengujian menunjukkan sistem memiliki tingkat akurasi pengenalan wajah sebesar 94,44% dalam kondisi terang dan redup, akurasi menurun ke 66,67% jika cahaya gelap disertakan, serta waktu respon rata-rata pengenalan wajah sekitar 2,15 detik.
3. Dalam sistem yang dirancang keypad berfungsi sebagai alternatif autentikasi apabila wajah pengguna tidak dikenali, dengan input PIN melalui tombol dan umpan balik dari LCD yang informatif.
4. Telegram Bot dapat mengontrol sistem jarak jauh melalui perintah teks seperti /foto, /buka, dan /tutup, serta dapat mengirim notifikasi dan foto pengunjug secara real-time.
5. Waktu respon dari fitur-fitur yang diuji masih dalam kategori layak digunakan. Pengenalan wajah rata-rata merespon dalam waktu kurang dari 3 detik, keypad merespon selama 20 detik, sementara perintah Telegram memiliki rata-rata delay 3–6 detik tergantung jenis perintah.
6. Sistem ini juga telah menunjukkan tingkat akurasi yang baik dalam mengenali wajah pengguna terdaftar dan menolak akses wajah tidak dikenal, serta mampu menangani input PIN yang salah dengan aman.

5. SARAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan dan evaluasi tugas akhir ini, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut agar sistem menjadi lebih optimal, yaitu:

1. Ditemukan bahwa sistem membutuhkan waktu cukup lama untuk memproses input PIN melalui keypad, terutama saat pengguna menekan tombol * sebagai pemicu awal. Hal ini disebabkan oleh metode polling sekuensial yang berjalan di dalam loop utama. Disarankan menggunakan interrupt-based keypad (jika hardware mendukung).
2. Waktu respons Telegram, khususnya pada perintah /foto, terpantau cukup lama (5–8 detik) karena melibatkan proses kamera dan unggahan data ke server.
3. Sistem sangat bergantung pada koneksi Wi-Fi untuk komunikasi Telegram. Jika jaringan tidak stabil, sistem tidak dapat diakses dari jarak jauh.
4. Sistem belum memiliki logika pembatasan percobaan PIN atau wajah yang salah secara berulang. Disarankan menambahkan fitur penguncian sementara (lockout) jika percobaan akses gagal dilakukan lebih dari tiga kali, untuk meningkatkan keamanan.
5. Untuk meningkatkan fungsionalitas dan audit trail sistem, perlu ditambahkan penyimpanan log lokal atau cloud yang merekam semua aktivitas, seperti waktu buka pintu, wajah yang dikenali, serta input PIN yang digunakan.
6. Disarankan agar LCD dapat menampilkan informasi secara lebih real-time dan jelas, termasuk status jaringan, percobaan akses terakhir, atau instruksi saat input tidak dikenali, agar memudahkan pengguna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut, keluarga, dan rekan-rekan yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul. (2023). *Memahami Baterai 18650: Semua yang Perlu Anda Ketahui*. Cina.
- Adhikari, A. (2019). *PCF8574 GPIO Extender - With Arduino and NodeMCU*.
- Allelco. (2024). *PCF8574 I/O Expander: Pinout, Fitur, dan Aplikasi*. Hongkong.
- Deerawan. (2022). *Pengertian, Fungsi, dan Simbol LED (Light Emmiting Diode)*. Indonesia.
- Hanif, L. (2024). *Apa Itu Python? Pengertian, Fungsi, Kelebihan, dan Contohnya*. Indonesia.
- Huda, N. (2022). *Visual Studio Code: Pengertian, Fitur, Keunggulan dan Jenisnya*. Indonesia.
- Intern, D. (2023). *Python: Pengertian, Contoh Penggunaan, dan Manfaat Mempelajarinya*. Indonesia.
- Irpah. (2021). *Menggunakan Keypad 4×4 Arduino Dan LCD 16×2 I2C*. Indonesia.
- Keheng. (2024). *Baterai 18650 Panduan Lengkap*. Cina.
- KUSUMA, B. (2021). *RANCANG BANGUN SMART DOORBELL BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ARDUINO DAN ESP32CAM*.
- Murtafi. (2024). *Pengertian, Fitur, kelebihan, dan Cara Menggunakan Vscod*. Indonesia.
- Prastyo, E. (2023). *Step Down dalam Bidang Elektronika*. Indonesia.
- Toby Sathya Pratika, M., Nyoman Piarsa, I., & Kt Agung Cahyawan Wiranatha, A. (2021). *Rancang Bangun Wireless Relay dengan Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet of Things*.
- Arri Ape Pane Basabilik Prodi Fisika, P., Fisika, J., & Tanjungpura, U. (2021). RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAU KEDATANGAN TAMU BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT). 9(2), 110–116.
- BASUKI MUHAMAD RAFI ARDRA KUSUMA. (2021). RANCANG BANGUN SMART DOORBELL BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ARDUINO DAN ESP32CAM.
- Handayani, F. O. (2023). Implementasi Smart Video Doorbell untuk keamanan rumah berbasis Internet of Things (Vol. 10, Issue 5).
- Handayani, T., Basuki, A., Sudiana, S., & Dirgantara, I. (2022). Rancang Bangun Sistem Keamanan Pintu menggunakan Metode Pengenalan Wajah berbasis Internet of Things. AVITEC, 5(1), 1.
- Hardiyani Firmansyah, R., & Mukmin, C. (2023). SISTEM SMART LOCK DOOR BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN ESP32 SMART LOCK DOOR SYSTEM BASAED ON INTERNET OF THINGS (IOT) USING ESP32. Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS), 6(2).
- Jardian, J., & Owen, M. (n.d.). Perancangan Smart Door Berbasis ESP32-WROVER dengan Sistem Notifikasi Melalui Aplikasi Blynk.
- Koroy, A. M. S. M., Mandar, G., & Muhammad, A. H. (2020). RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANAN PINTU RUMAH MENGGUNAKAN ESP32-CAM. Jurnal Teknik Informatika (J-Tifa), 3(2), 32–36.
- Lestari, R. A. (n.d.). RANCANG & BANGUN BEL RUMAH OTOMATIS BERBASIS IOT DAN FACE RECOGNITION DENGAN APLIKASI ANDROID MENGGUNAKAN ESP32-CAM. 29(2), 2024.
- Penulis, I., & Riawan, A. (2024). Arus Jurnal Sains dan Teknologi (AJST) Perancangan Prototype Sistem Deteksi Wajah untuk Keamanan Rumah menggunakan Smart Bell dengan ESP 32 Cam. 2(2).
- Wijanarko, D., & Hariyanto, A. (2022a). Rancang Bangun Bel Pintu Tanpa Sentuh Menggunakan Microcontroller dan Sensor Infra Merah Berbasis Internet of Things. PoliGrid, 3(1), 29.
-