

Door Security System with Fingerprint and Face Recognition Using Esp32 Cam

[Sistem Keamanan Pintu dengan Sidik Jari dan Pengenal Wajah Menggunakan Esp32 Cam]

Muhammad Faizi Munir ¹⁾, Azmuri Wahyu Azinar ²⁾

¹⁾ Program Studi Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: azmuri@umsida.ac.id

Abstract. *As Internet of Things (IoT) technology advances, this research aims to design and develop a door security system that integrates two biometric authentication methods: fingerprint and facial recognition, utilizing an ESP32-CAM module. This system is engineered to enhance security by implementing two-factor authentication (2FA), requiring users to first be verified via fingerprint, followed by a facial scan to gain access. Employing a prototype methodology, the system comprises hardware components including an ESP32-CAM module, a fingerprint sensor, and a door solenoid, alongside an online server for data processing and a web-based monitoring interface. A key advantage of this system, distinguishing it from previous research, is its history log feature, accessible via the website for real-time access monitoring. Testing results indicate successful system implementation. The optimal effective camera range for facial recognition was found to be 40-50 cm, achieving a 70% match rate. Furthermore, the dual authentication functionality successfully verified users with a 100% success rate according to the designed scenarios tested on 11 people.*

Keywords - ESP32-CAM; Face Recognition; Fingerprint; Two-Factor Authentication (2FA); Internet of Things (IoT)

Abstrak. *Seiring berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT), penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem keamanan pintu yang mengintegrasikan dua metode autentikasi biometrik, yaitu sidik jari dan pengenalan wajah, menggunakan modul ESP32-CAM. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan keamanan dengan menerapkan autentikasi dua faktor (2FA), di mana pengguna harus diverifikasi melalui sidik jari terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan pemindaian wajah untuk mendapatkan akses. Dengan menggunakan metodologi prototipe, sistem ini terdiri dari perangkat keras berupa modul ESP32-CAM, sensor sidik jari, dan solenoid pintu, serta server online untuk pemrosesan data dan antarmuka monitoring berbasis web. Salah satu keunggulan sistem adalah adanya fitur history log yang dapat diakses melalui website untuk memantau riwayat akses secara real-time, yang menjadi pembeda dari penelitian sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil diimplementasikan, dengan jarak efektif kamera optimal pada rentang 40-50 cm yang mencapai tingkat kecocokan 70%, dan fungsionalitas autentikasi ganda yang berhasil memverifikasi pengguna dengan tingkat keberhasilan 100% dari sesuai skenario yang dirancang dengan diuji kepada 11 orang.*

Kata Kunci - ESP32-CAM; Pengenalan Wajah; Sidik Jari; Autentikasi Dua Faktor (2FA); Internet of Things (IoT)

I. PENDAHULUAN

Keamanan rumah dan gedung merupakan aspek krusial dalam kehidupan modern. Seiring perkembangan teknologi, sistem keamanan konvensional seperti kunci mekanis semakin rentan terhadap pencurian atau duplikasi, mendorong adopsi teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT). IoT memungkinkan interkoneksi antar benda, mendukung pengembangan sistem keamanan pintu dengan metode autentikasi biometrik seperti sidik jari dan pengenalan wajah. Modul ESP32-CAM menjadi pilihan populer dalam pengembangan sistem keamanan berbasis IoT karena mendukung transfer data via *WiFi* dan *Bluetooth*, serta memiliki kemampuan pemrosesan gambar yang baik.

Penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi penggunaan ESP32-CAM untuk deteksi wajah *real-time*, dan beberapa studi juga menggabungkannya dengan fitur pendeteksi gerakan atau penggunaan keypad sebagai alternatif. Namun, ditemukan kesenjangan bahwa sebagian besar sistem keamanan sebelumnya belum sepenuhnya mengimplementasikan autentikasi dua faktor secara komprehensif, dan belum memiliki fitur histori penyimpanan data akses yang dapat dipantau. Konsep autentikasi dua faktor (2FA) yang memerlukan dua bentuk identifikasi, seperti sidik jari dan pengenalan wajah, dapat secara signifikan meningkatkan keamanan dan mengurangi risiko kesalahan identifikasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem keamanan pintu yang menggabungkan teknologi sidik jari dan pengenalan wajah menggunakan modul ESP32-CAM. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menguji efektivitas kombinasi kedua metode autentikasi tersebut dalam meningkatkan keamanan akses pintu. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan keamanan akses masuk,

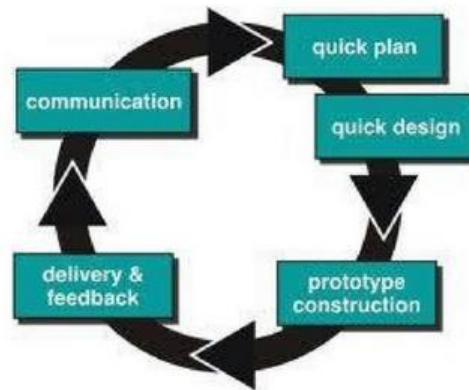
Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

serta memberikan alternatif solusi keamanan yang lebih andal dan modern dengan menyediakan fitur pemantauan histori akses.

II. METODE

Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan pengembangan prototipe (Prototyping Model) yang terdiri dari lima tahap utama: *Communication*, *Quick Plan*, *Modelling Quick Design*, *Construction*, dan *Delivery & Feedback* seperti yang terlihat dalam Gambar 1.



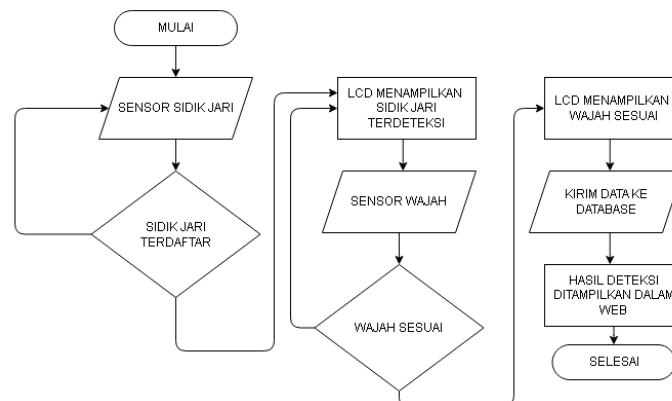
Gambar 1. Model Prototyping [7]

A. Communication

pada tahapan ini pengembang dan klien bertemu dan menentukan tujuan umum, kebutuhan yang diinginkan dan gambaran bagian-bagian yang akan dibutuhkan berikutnya.

B. Quick Plan

Pada tahapan ini perancangan dilakukan cepat dan mewakili semua aspek perangkat yang dibutuhkan, dan rancangan ini menjadi dasar pembuatan prototipe. Setelah melakukan komunikasi dengan klien dan juga mempersiapkan rancangan sesuai dengan permintaan dari klien. Maka peneliti menggambarkan bagaimana alur sistem keamanan pintu bekerja yang bisa dilihat di Gambar 2.



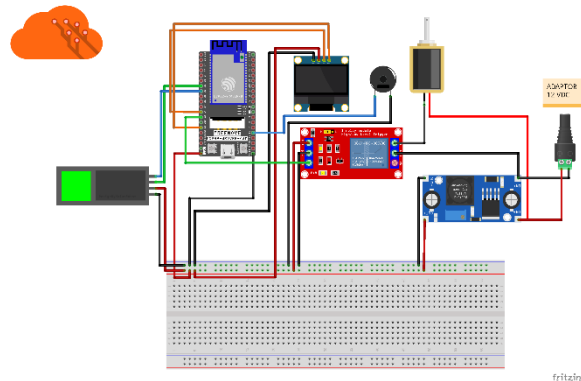
Gambar 2. Diagram alur sistem

Seperti yang terlihat dalam blok diagram pada gambar 3.2 menjelaskan bahwa proses diawali dengan sensor sidik jari melakukan deteksi sidik jari, ketika sidik jari terdeteksi maka lcd akan menampilkan hasil terdeteksi. Selanjutnya akan menuju tahap selanjutnya, wajah akan di deteksi, jika wajah sesuai dengan data dan sesuai dengan sidik jari pemilik wajah, maka lcd akan menampilkan wajah sesuai, dan pintu akan terbuka. Selanjutnya data *history* akan dikirimkan ke *database* yang akan bisa terlihat di *website*.

C. Modelling Quick Design

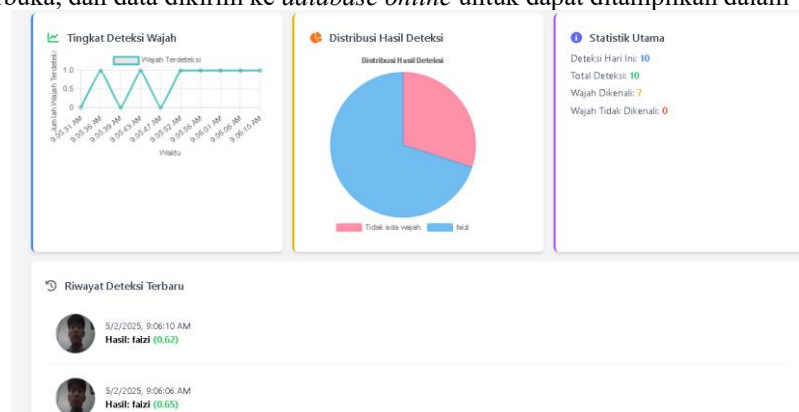
Setelah membuat rancangan *quick plan* sebagai landasan untuk pembuatan prototipe. Saat ini peneliti akan melakukan pembuatan *modelling* prototipe sesuai dengan yang dirancang dalam *quick plan* yang akan dibagi menjadi

2 model, yang pertama akan menggambarkan bagian dari perangkat fisik yang digunakan dapat dilihat di Gambar 4 dan kedua menggambarkan tampilan web yang akan ditampilkan dapat dilihat di Gambar 5.



Gambar 4. Desain Konsep Prototipe

Dalam gambar diatas menunjukkan konsep perangkat fisik yang akan digunakan sebagai prototipe sistem keamanan pintu. Dimana semua program utama akan dimasukkan dalam modul ESP32-CAM, yang kemudian ESP32-CAM akan memberikan inputan dari kamera dan *fingerprint* untuk di proses datanya. Setelah data diproses akan dievaluasi dan akan menghasilkan *output* di LCD. Jika data *input* sesuai dengan database yang diberikan, maka *solenoid* pintu akan terbuka, dan data dikirim ke *database online* untuk dapat ditampilkan dalam *website*.



Gambar 5. Desain Konsep *User Interface Website*

Gambar 5 merupakan desain konsep awal untuk *website* yang digunakan memonitor siapa saja yang telah masuk atau mengakses pintu. Sehingga pihak terkait bisa dengan mudah jika ada kejadian yang terjadi di dalam ruangan yang sedang diamankan. Setelah tahap modelling prototipe sudah dibuat, maka peneliti akan melanjutkan proses yaitu dengan mulai membuat prototipe sesuai dengan rancangan yang telah dibuat di atas.

D. Construction of Prototype

Pada tahap ini pengembang akan membangun kerangka atau rancangan prototipe dari hasil konsep yang sudah dijelaskan pada tahapan sebelumnya. Tahap ini adalah tahapan pembuatan prototipe secara nyata. Pada tahap pembuatan prototipe ini peneliti akan menguji akurasi dari kamera dalam mengenali wajah berdasarkan jarak orang dengan kameranya dengan rincian seperti Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Pengujian Jarak Efektif Kamera

No	Jarak (cm)	Jumlah uji coba	Presentase keberhasilan
1	10		
2	20		
3	30		
4	40		
5	50		

E. *Delivery & Feedback*

Delivery & Feedback, prototipe yang telah dibuat oleh peneliti akan disebarakan kepada pengguna/klien untuk dievaluasi, kemudian klien akan memberikan *feedback* yang akan digunakan untuk merevisi kebutuhan *software* yang akan dibangun. Dalam proses evaluasi akan dijabarkan dalam bentuk Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Pengujian Fungsi 2 Autentifikasi

No	Percobaan	Sensor kamera	Sensor sidik jari	Keterangan
1	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 1)			
2	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 2)			
3	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 3)			
4	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 4)			
5	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 5)			
6	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 6)			
7	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 7)			
8	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 8)			
9	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 9)			
10	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 10)			
11	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 1)			
12	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 2)			
13	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 3)			
14	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 4)			
15	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 5)			
16	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 6)			
17	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 7)			
18	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 8)			
19	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 9)			
20	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 10)			

Tabel di atas dilakukan untuk menguji kombinasi dari kamera dan juga sidik jari, apakah sudah sesuai atau tidak.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Pada tahap *Construction of Prototype*, sistem keamanan pintu dengan sidik jari dan pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM telah berhasil diimplementasikan berdasarkan tahapan metodologi prototipe. Implementasi mencakup integrasi perangkat keras utama seperti :

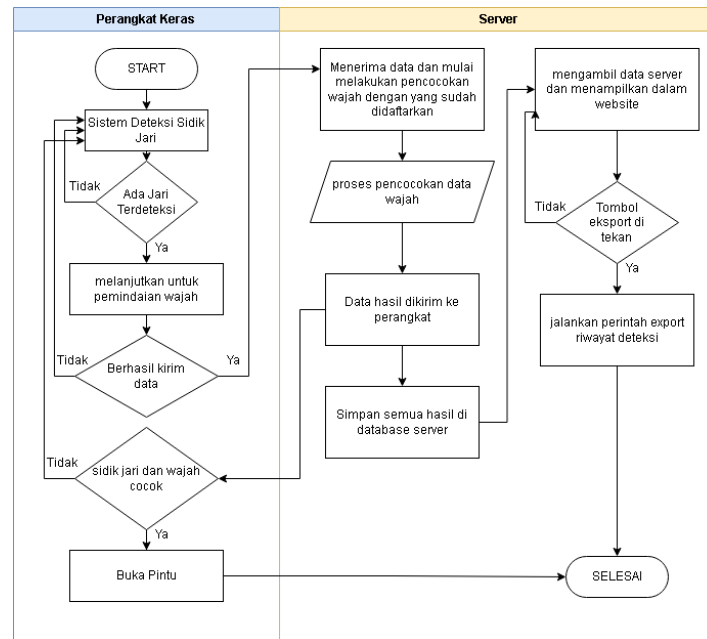
- **Modul ESP32-CAM:** Berfungsi sebagai unit kontrol utama sistem, mengelola proses pengenalan wajah melalui kamera OV2640 dan berkomunikasi dengan sensor sidik jari. Modul ini juga menyediakan konektivitas Wi-Fi untuk pengiriman data ke database online.
- **Sensor Sidik Jari (AS608):** Digunakan sebagai metode autentikasi pertama untuk memverifikasi identitas pengguna berdasarkan data sidik jari yang terdaftar.
- **Solenoid Pintu:** Mekanisme pengunci pintu yang akan aktif (terbuka) secara otomatis setelah proses autentikasi ganda berhasil.
- **OLED 0,96":** Berfungsi sebagai antarmuka visual untuk menampilkan status sistem kepada pengguna (misalnya, "Sidik Jari Terdeteksi", "Wajah Sesuai", atau "Akses Ditolak").
- **Power Supply 12 VDC:** Memberikan daya listrik yang stabil untuk seluruh komponen sistem.

Gambaran integrasi keseluruhan rangkaian bisa terlihat pada Gambar 6 di bawah ini.



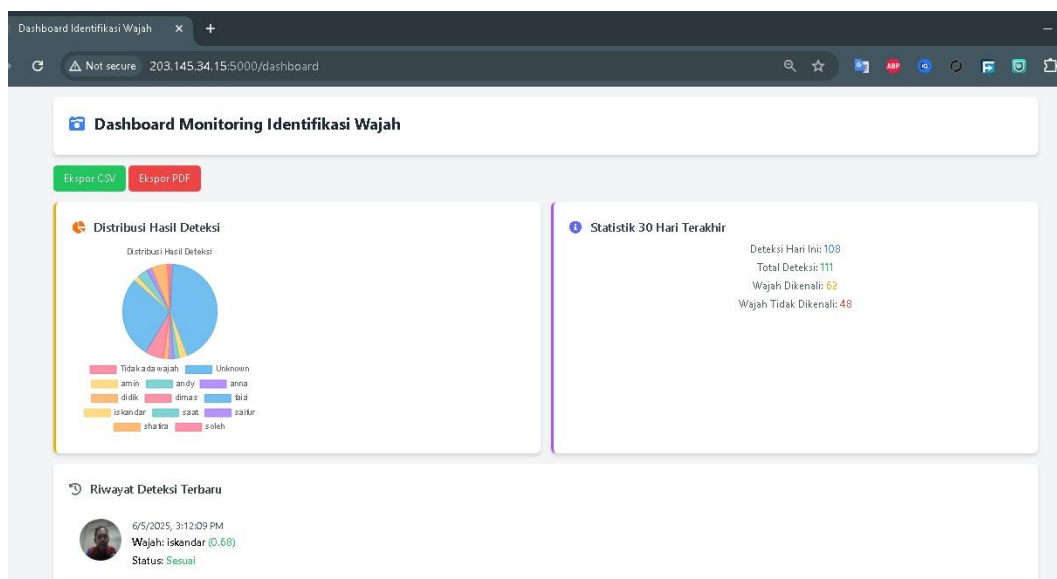
Gambar 6. Perangkat Keras Keseluruhan

Bagian perangkat lunak mencakup firmware pada ESP32-CAM dan *server* web untuk database serta monitoring. Proses kerja sistem dimulai dengan deteksi sidik jari. Jika terdaftar, OLED menampilkan notifikasi, dan dilanjutkan dengan deteksi wajah. Apabila wajah sesuai dengan data dan pemilik sidik jari yang terdeteksi, pintu akan terbuka, dan data akses dicatat ke *database* untuk ditampilkan di *website*. Untuk alur sistem yang sudah berjalan bisa dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alur Kerja Sistem Baru

Firmware yang diunggah ke ESP32-CAM bertanggung jawab untuk membaca input sensor sidik jari, menangkap wajah, mengimplementasikan logika autentikasi ganda, mengontrol OLED, mengirim sinyal ke solenoid, dan mengirim data ke *server*. *Server* berfungsi untuk mengelola dan mencocokkan foto, mengirim hasil olah data ke ESP32-CAM, menyimpan data histori ke *database*, dan menyajikan statistik di antarmuka web. Tampilan antarmuka web disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Antarmuka Web Monitoring Identifikasi Wajah

1. Pengujian Jarak Efektif Kamera

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak optimal kamera ESP32-CAM dalam mendeteksi wajah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada jarak 10 cm, deteksi wajah tidak berhasil. Namun, pada jarak 20-60 cm, wajah berhasil dideteksi dengan nama "faizi". Rata-rata kecocokan tertinggi tercatat pada jarak 40 cm dengan nilai 69%. Dengan demikian, jarak optimal untuk deteksi wajah berada pada rentang 40-50 cm. Hasil pengujian lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kamera

Percobaan ke	Jarak (cm)	Hasil Gambar	(%) Kecocokan	Deteksi Nama
1	10		0%	Tidak Terdeteksi
2			0%	Tidak Terdeteksi
3			0%	Tidak Terdeteksi
4			0%	Tidak Terdeteksi
5			0%	Tidak Terdeteksi
6	20		56%	faizi
7			53%	faizi
8			54%	faizi
9			54%	faizi
10			55%	faizi
11	30		64%	faizi
12			69%	faizi
13			65%	faizi

Percobaan ke	Jarak (cm)	Hasil Gambar	(%) Kecocokan	Deteksi Nama
14	40		65%	faizi
15			67%	faizi
16			67%	faizi
17			70%	faizi
18			69%	faizi
19			67%	faizi
20			70%	faizi
21			69%	faizi
22	50		69%	faizi
23			66%	faizi
24			67%	faizi
25			66%	faizi
26	60		64%	faizi

Percobaan ke	Jarak (cm)	Hasil Gambar	(%) Kecocokan	Deteksi Nama
28			66%	faizi
			68%	faizi
29			66%	faizi
30			68%	faizi

2. Pengujian Fungsi Dua Autentikasi

Pengujian ini mengevaluasi fungsionalitas kombinasi sidik jari dan pengenalan wajah. Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa semua percobaan, baik ketika pemilik sidik jari dan wajah sama maupun berbeda, tercatat dengan keterangan "Sesuai Model Percobaan" dengan tingkat keberhasilan 100% dalam setiap model percobaan yang telah dilakukan. Ini mengindikasikan bahwa sistem berhasil melakukan proses deteksi untuk kedua metode autentikasi. Rincian hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian 2 Autentikasi

No	Model Percobaan	Deteksi Jari	Deteksi Wajah	Foto	Keterangan
1	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 1)	iskandar	iskandar		Sesuai Model Percobaan
2	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 2)	faizi	faizi		Sesuai Model Percobaan
3	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 3)	andy	andy		Sesuai Model Percobaan
4	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 4)	soleh	soleh		Sesuai Model Percobaan
5	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 5)	anna	anna		Sesuai Model Percobaan
6	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 6)	shafira	shafira		Sesuai Model Percobaan
7	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 7)	saifur	saifur		Sesuai Model Percobaan

No	Model Percobaan	Deteksi Jari	Deteksi Wajah	Foto	Keterangan
8	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 8)	didik	didik		Sesuai Model Percobaan
9	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 9)	dimas	dimas		Sesuai Model Percobaan
10	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 10)	saat	saat		Sesuai Model Percobaan
11	Pemilik sidik jari dan wajah sama (orang 11)	amin	amin		Sesuai Model Percobaan
12	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 1)	iskandar	saifur		Sesuai Model Percobaan
13	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 2)	faizi	didik		Sesuai Model Percobaan
14	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 3)	andy	Unknown		Sesuai Model Percobaan
15	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 4)	soleh	faizi		Sesuai Model Percobaan
16	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 5)	anna	andy		Sesuai Model Percobaan
17	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 6)	shafira	anna		Sesuai Model Percobaan
18	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 7)	saifur	faizi		Sesuai Model Percobaan
19	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 8)	didik	faizi		Sesuai Model Percobaan
20	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 9)	dimas	faizi		Sesuai Model Percobaan
21	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 10)	saat	faizi		Sesuai Model Percobaan

No	Model Percobaan	Deteksi Jari	Deteksi Wajah	Foto	Keterangan
22	Pemilik sidik jari berbeda dengan wajah (orang 11)	amin	faizi		Sesuai Model Percobaan

Dari hasil pengujian dengan percobaan ke 1 - 11 yang memiliki keterangan “Sesuai Model Percobaan”, menunjukkan bahwa sidik jari dan wajah sesuai dengan orang yang sama dan sistem akan memberikan hak akses masuk ke ruangan, kemudian LED akan menampilkan tulisan “jari dan wajah cocok!” dilanjut memberikan informasi siapa yang terdeteksi, yang bisa dilihat pada Gambar 9. Dari hasil pengujian dengan percobaan ke 12 - 22 yang memiliki keterangan “Sesuai Model Percobaan”, menunjukkan bahwa sidik jari dan wajah tidak sesuai sehingga sistem akan menolak akses masuk ke ruangan, kemudian LED akan menampilkan tulisan “jari dan wajah TIDAK cocok!”, yang bisa dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Notifikasi Cocok



Gambar 8. Notifikasi Tidak Cocok

B. Pembahasan

Perancangan sistem keamanan pintu berbasis ESP32-CAM dengan fitur autentikasi sidik jari dan pengenalan wajah telah berhasil diimplementasikan. Desain sistem ini, yang mengintegrasikan modul ESP32-CAM sebagai kontrol utama, sensor sidik jari, dan solenoid pintu, menjawab rumusan masalah pertama terkait perancangan sistem keamanan pintu dengan dua metode autentikasi. Alur sistem yang berurutan, dimulai dari deteksi sidik jari kemudian deteksi wajah, menunjukkan pendekatan keamanan bertingkat. Tampilan informasi melalui OLED memberikan umpan balik instan, sementara konektivitas Wi-Fi ESP32-CAM memungkinkan pengiriman data histori ke *platform* monitoring berbasis web. Fitur monitoring ini merupakan nilai tambah signifikan karena mengatasi gap penelitian sebelumnya yang tidak memiliki histori penyimpanan data akses.

Integrasi antara sistem sidik jari dan pengenalan wajah dalam satu perangkat ESP32-CAM berpotensi meningkatkan tingkat keamanan dibandingkan sistem satu faktor. Hasil pengujian jarak efektif kamera menunjukkan performa deteksi wajah yang cukup baik pada jarak 40-50 cm dengan persentase kecocokan hingga 70%. Dalam skenario terdapat 2 model yakni yang pertama sidik jari dan wajah sesuai yang akhirnya sistem memberikan hak akses masuk ruangan kepada pengguna yang diperlihatkan pada percobaan ke 1 - 11 pada Tabel 2, kemudian sistem

menampilkan notifikasi di OLED dengan tulisan “jari dan wajah cocok!” dilanjut memberikan informasi siapa yang terdeteksi, yang bisa dilihat pada Gambar 9. Model kedua sidik jari dan wajah mengidentifikasi individu yang berbeda yang diperlihatkan pada percobaan ke 12 - 22 pada Tabel 2, kemudian sistem akan menampilkan notifikasi di OLED dengan tulisan “jari dan wajah TIDAK cocok!”, yang bisa dilihat pada Gambar 10.

IV. SIMPULAN

Pengembangan sistem keamanan pintu berbasis ESP32-CAM dengan fitur pengenalan wajah dan autentikasi sidik jari telah berhasil dirancang dan diimplementasikan, mengintegrasikan modul ESP32-CAM sebagai kontrol utama, sensor sidik jari, solenoid pintu, LCD, dan *server online* untuk database serta sistem monitoring berbasis web. Setelah melakukan pengujian 2 autentifikasi yang dipakai memberikan hasil 100% berhasil dengan berbagai skenario yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa membuat kombinasi 2 autentifikasi sidik jari dan wajah cukup efektif untuk membedakan seseorang yang ingin melakukan akses ke sebuah ruangan dan dapat meningkatkan keamanan akses ke ruangan tersebut.

Untuk pengembangan lebih lanjut di masa mendatang, disarankan penambahan fitur keamanan tambahan seperti sistem alarm terintegrasi dan notifikasi *real-time* ke perangkat seluler saat terjadi upaya akses tidak sah, atau implementasi enkripsi data untuk histori akses. Pengujian ketahanan sistem dalam kondisi lingkungan yang lebih bervariasi (misalnya, pencahayaan minim atau gangguan sinyal Wi-Fi). Terakhir, pengembangan antarmuka pengguna *website* dapat ditingkatkan dengan penambahan fitur login, pencarian histori, filter berdasarkan tanggal atau nama, visualisasi data yang lebih interaktif, dan penambahan fitur pendaftaran pengguna melalui *website*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Karya tulis ilmiah ini tidak akan selesai tanpa adanya dukungan dan saran dari orang-orang yang berpengaruh selama proses penulisan. Ini adalah usaha bagi peneliti untuk mengucapkan terima kasih yang mendalam, terima kasih penuh untuk seluruh mahasiswa, dosen ilmu manajemen, semua sahabat dan teman dekat saya untuk motivasi, bantuan, dan dukungan yang sudah diberikan selama pengerjaan skripsi ini sehingga peneliti dapat menyelesaikan tulisan dengan baik, tepat waktu, dan seperti yang di harapkan oleh peneliti.

REFERENSI

- [1] Diki Anugrah Pratama, M. B. U., "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Dengan Face Recognition Berbasis ESP32-CAM," *Ilmu Komputer Unila Publishing Network*, vol. 12, p. 1, 2024.
- [2] Dimas Ricky Saputra, A. W., "Home Door Security System with Face Recognition Using ESP 32 Cam," *Journal of Applied Electrical & Science Technology*, vol. 06, p. 02, 2024.
- [3] Helmy Agus Pradita, D. D. H., "SISTEM PENGENALAN WAJAH SEBAGAI AKSES LOKER PENYIMPANAN BARANG MENGGUNAKAN ESP32-CAM (STUDI KASUS: PT BUMI NUSANTARA JAYA)," *Jurnal Ilmu Komputer dan Science*, vol. 2, p. 5, 2023.
- [4] ITU-T, TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU. Switzerland: ITU-T, 2012.
- [5] komdigi, "Mengenal Tren Teknologi Internet Of Things IoT," 2024. [Online]. Available: <https://djppi.komdigi.go.id/news/mengenal-tren-teknologi-internet-of-things-iot>. [Accessed 20 February 2025].
- [6] Microsoft, "Apa itu autentikasi dua faktor." [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/id-id/security/business/security-101/what-is-two-factor-authentication-2fa>. [Accessed 20 February 2025].
- [7] M. Prabowo, *METODOLOGI PENGEMBANGAN SISTEM INFORMASI*. Salatiga: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) IAIN Salatiga, 2020.
- [8] R. B. Salikhov, V. K. Abdrakhmanov, and I. N. Safargalin, "Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM," in *International Conference on Automatics and Energy*, 2021.
- [9] Sutarsi Suhaeb, U. R. A., "PENGEMBANGAN ABSENSI KEHADIRAN FINGERPRINT FPM10A DAN CAMERA ESP32-CAM DI JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA FT-UNM," *JETC*, vol. 6, p. 2, 2021.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.