

Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis Face Recognition dan Machine Learning Menggunakan ESP32-CAM dengan Web Dashboard

Nazwar Farezi^{1*}, Dedy Kiswanto², Muhammad Alby Savana Hasibuan³, Ega Pratama⁴

¹⁻⁴Jurusan Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan, Medan

¹⁻⁴Jalan Wiliem Iskandar Pasar V; Medan, Sumatera Utara, Indonesia, (061) 6613365

E-mail: najwarfarezi@gmail.com^{1*}

Submitted Date : 16 Desember 2025

Accepted Date : 07 Januari 2026

Abstrak - Penelitian ini membahas pembuatan dan penerapan sistem keamanan pintu otomatis yang menggunakan teknologi pengenalan wajah. Sistem ini memanfaatkan modul ESP32-CAM sebagai alat utama untuk mengambil gambar dan melakukan pemrosesan awal. Selain itu, sistem juga menggabungkan machine learning untuk proses mengenali wajah dan menggunakan dashboard web sebagai alat untuk pemantauan serta pengelolaan pengguna secara langsung. Data wajah dikumpulkan melalui proses registrasi langsung dengan kamera, kemudian diolah melalui beberapa tahap pra-pemrosesan dan ekstraksi ciri sebelum digunakan untuk membandingkan dan mengenali identitas pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bisa melakukan autentikasi secara otomatis, membuka pintu saat wajah pengguna terdeteksi, serta mencatat seluruh aktivitas akses ke dalam dashboard. Uji coba dilakukan dalam berbagai kondisi cahaya dan jarak, dan sistem menunjukkan kinerja yang stabil pada situasi normal. Dashboard yang dibuat juga mampu menampilkan kondisi perangkat, riwayat akses, serta informasi pengguna secara akurat. Dari hasil tersebut, sistem ini dianggap bisa memberikan solusi keamanan rumah yang lebih praktis, efisien, dan mudah dikelola dibandingkan metode tradisional.

Kata kunci: Face Recognition; ESP32-CAM; Sistem Keamanan Pintu Otomatis; Machine Learning; Internet of Things (IoT);

Abstract - This research discusses the development and implementation of an automatic door security system using facial recognition technology. This system utilizes an ESP32-CAM module as the primary tool for image capture and initial transmission. Furthermore, the system incorporates machine learning for facial recognition and utilizes a web dashboard for real-time user monitoring and management. Facial data is collected through a direct registration process with a camera, then processed through several stages of pre-processing and feature extraction before being used to recognize and identify users. Test results show that the system can perform automatic authentication, open the door upon face detection, and record all access activity in the dashboard. Tests were conducted under various lighting conditions and distances, and the system demonstrated stable performance under normal conditions. The dashboard is also capable of accurately displaying device status, access history, and user information. These results suggest that this system can provide a more practical, efficient, and easier-to-manage home security solution than traditional methods.

Keywords: Facial Recognition; ESP32-CAM; Automatic Door Security System; Machine Learning; Internet of Things (IoT); Web Dashboard;

1. Pendahuluan

Keamanan fisik pada bangunan, baik rumah tinggal, ruang kantor, maupun fasilitas publik, menjadi aspek penting yang harus mendapatkan perhatian serius seiring meningkatnya risiko pencurian, penyalahgunaan akses, dan tindakan kriminal lainnya. Sistem keamanan konvensional seperti kunci mekanis, kartu akses, ataupun kata sandi masih banyak digunakan hingga saat ini, namun berbagai penelitian menunjukkan bahwa metode tersebut memiliki sejumlah keterbatasan. Kunci dan kartu akses dapat hilang, rusak, bahkan digandakan tanpa izin, sedangkan kata sandi mudah ditebak atau dibobol melalui rekayasa sosial. Masalah-masalah ini menandakan perlunya pergeseran menuju sistem keamanan yang lebih kuat, adaptif, dan berbasis identitas personal. Teknologi biometrik menjadi salah satu solusi paling relevan karena mengandalkan karakteristik biologis yang hanya dimiliki oleh masing-masing individu[1].

Di antara berbagai metode biometrik, pengenalan wajah (face recognition) dianggap sebagai teknologi yang paling praktis untuk digunakan dalam sistem keamanan modern. Selain bersifat non-kontak, pemindaian wajah juga tidak mengharuskan pengguna menyentuh perangkat, sehingga lebih aman dan higienis terutama di ruang publik. Keunggulan lainnya adalah struktur wajah manusia yang kompleks dan unik, membuatnya sulit untuk ditiru secara akurat. Teknologi ini dapat bekerja hanya dengan kamera, tanpa memerlukan sensor tambahan yang mahal. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa algoritma pengenalan wajah berbasis deep learning

mampu memberikan akurasi yang sangat tinggi bahkan dalam variasi pencahayaan tertentu, sehingga membuka peluang penerapan pada perangkat berskala kecil seperti ESP32-CAM[2].

Perkembangan Internet of Things (IoT) semakin memperkuat kebutuhan akan integrasi antara perangkat fisik dan sistem berbasis jaringan. IoT memungkinkan perangkat kecil seperti ESP32-CAM untuk beroperasi secara mandiri, menangkap data, memprosesnya secara lokal, mengirimkan informasi ke server, atau dikendalikan melalui dashboard web. Perangkat ini memiliki keunggulan berupa konsumsi daya yang rendah, kemampuan konektivitas yang baik, serta sudah dilengkapi modul kamera yang memadai untuk proses pemindaian wajah. Kombinasi antara perangkat IoT dengan algoritma machine learning yang dioptimasi memungkinkan pengenalan wajah dapat dijalankan langsung pada perangkat tanpa harus selalu mengirim data ke server, sebuah konsep yang dikenal dengan edge computing[3].

Kendati demikian, penerapan face recognition pada perangkat dengan sumber daya terbatas bukan tanpa tantangan. ESP32-CAM memiliki kapasitas memori dan prosesor yang jauh lebih rendah dibandingkan komputer atau server, sehingga diperlukan optimasi model machine learning melalui teknik seperti quantization dan pruning agar tetap dapat berjalan efisien. Selain itu, variasi pencahayaan, sudut pandang wajah, dan perbedaan ekspresi menjadi faktor penting yang memengaruhi tingkat akurasi sistem. Penelitian yang dilakukan pada beberapa prototipe perangkat edge menunjukkan bahwa pemilihan algoritma dan kualitas preprocessing citra menjadi faktor penentu keberhasilan sistem dalam mengenali identitas pengguna secara konsisten[4].

Penggunaan web dashboard dalam sistem keamanan menjadi elemen penting karena menyediakan sarana pengelolaan yang terpusat dan mudah diakses. Dashboard memungkinkan admin melakukan pendaftaran pengguna baru, melihat log aktivitas, mengatur hak akses, hingga membuka atau menutup pintu secara manual dari jarak jauh. Dengan demikian, sistem keamanan tidak hanya bekerja sebagai alat otomatis, tetapi juga sebagai platform manajemen keamanan yang komprehensif. Integrasi antara ESP32-CAM, machine learning, dan dashboard web menghasilkan sebuah sistem keamanan yang lebih efisien, transparan, dan bisa dikembangkan lebih lanjut sesuai kebutuhan pengguna[5].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian berjudul “Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis Face Recognition dan Machine Learning Menggunakan ESP32-CAM dengan Web Dashboard” dikembangkan sebagai upaya menghadirkan solusi yang modern, terjangkau, dan terintegrasi. Sistem ini menggabungkan kemampuan sensor visual dari ESP32-CAM, kecerdasan algoritma machine learning yang berjalan secara *on-device*, serta kemudahan manajemen melalui dashboard web. Melalui integrasi ini, penelitian ini bertujuan menghasilkan prototipe sistem keamanan yang mampu melakukan autentikasi identitas secara akurat, cepat, dan real-time, serta mudah dikelola oleh pengguna tanpa memerlukan perangkat khusus atau biaya implementasi yang besar[6].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menciptakan sistem keamanan pintu otomatis yang menggunakan pengenalan wajah dengan bantuan ESP32-CAM dan Internet of Things. Penelitian tersebut menggabungkan sistem pengenalan wajah dengan aplikasi Telegram sebagai media untuk memantau keadaan. Selain itu, ESP32-CAM digunakan untuk mengenali wajah dan mengatur kunci pintu secara otomatis. Penelitian lainnya juga memanfaatkan bot Telegram untuk mengawasi akses ke pintu dari jarak jauh. Meskipun sistem tersebut sudah bisa melakukan verifikasi wajah dan membuka pintu secara otomatis, kebanyakan masih bergantung pada pemberitahuan berupa pesan instant dan belum memiliki dashboard web yang terintegrasi untuk mengelola pengguna, mencatat riwayat akses, serta memantau kondisi perangkat secara real-time.

Berdasarkan celah dalam penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan merancang dan melaksanakan sistem keamanan pintu otomatis berbasis pengenalan wajah dan machine learning dengan ESP32-CAM yang dilengkapi dashboard web terpadu. Dashboard ini dirancang untuk memudahkan pengawasan secara real-time, mengelola pengguna, serta menyimpan data akses secara terstruktur agar sistem lebih lengkap, informatif, dan mudah dikelola.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Sistem Keamanan Pintu Digital Modern

Perkembangan teknologi dalam beberapa tahun terakhir membuat sistem keamanan pintu berubah cukup drastis. Jika dulu keamanan hanya mengandalkan kunci mekanis, kini banyak bangunan mulai beralih ke sistem digital yang menawarkan perlindungan lebih baik dan cara penggunaan yang jauh lebih praktis. Sistem pintu digital dirancang tidak hanya untuk mengunci pintu secara otomatis, tetapi juga untuk memberikan pengawasan terhadap siapa saja yang keluar masuk. Dalam penelitian Syafutra dkk. (2024), dijelaskan bahwa penggunaan perangkat digital seperti smart lock dan kamera berbasis mikrokontroler memberikan peningkatan keamanan yang signifikan karena pengguna dapat mengontrol pintu dari jarak jauh serta menerima informasi akses secara langsung melalui internet. Selain menambah lapisan keamanan, sistem pintu digital juga memberikan kenyamanan bagi penggunanya. Banyak perangkat modern yang memungkinkan pemilik rumah membuka pintu tanpa harus membawa kunci fisik. Misalnya, pintu dapat dibuka dengan kartu RFID, PIN, ataupun

melalui aplikasi ponsel. Dalam penelitian Budi Yanto dkk. (2022), dijelaskan bahwa teknologi pintu berbasis IoT sangat membantu pemilik rumah dalam memantau kondisi pintu secara real-time, termasuk saat mereka tidak berada di rumah. Hal ini membuat sistem pintu digital tidak hanya berfungsi sebagai pengaman, tetapi juga sebagai alat pemantau aktivitas harian[7].

2.2. Face Recognition sebagai Autentikasi Biometrik

Pengenalan wajah atau *face recognition* merupakan salah satu metode autentikasi biometrik yang banyak dipilih karena menawarkan cara penggunaan yang sederhana dan tidak memerlukan perangkat tambahan yang harus dibawa oleh pengguna. Proses autentikasi dilakukan dengan mengambil citra wajah melalui kamera, kemudian mencocokkannya dengan data wajah yang telah tersimpan sebelumnya. Metode ini dianggap lebih praktis dibandingkan sidik jari atau kartu akses, karena pengguna hanya perlu berada di depan kamera agar sistem dapat melakukan identifikasi secara otomatis. Keunggulan utama *face recognition* terletak pada tingkat keamanannya. Struktur wajah manusia memiliki pola unik seperti kontur hidung, jarak antar mata, serta tekstur kulit yang sulit untuk dipalsukan. Sistem biometrik berbasis wajah mampu mengenali pola tersebut dan memberikan hasil verifikasi yang konsisten selama kondisi pencahayaan dan posisi pengguna berada dalam kisaran yang dapat diterima oleh kamera. Selain itu, penggunaan teknologi ini membuat proses akses lebih higienis karena tidak memerlukan kontak fisik, berbeda dengan pemindai sidik jari yang harus disentuh secara langsung[8].

2.3. Internet of Things (IoT) dalam Sistem Keamanan

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan untuk bertukar data secara otomatis. Pada sistem keamanan modern, konsep ini berperan penting karena setiap perangkat dapat bekerja secara terpadu tanpa perlu dikendalikan secara manual. Sensor, kamera, maupun aktuator dapat dikoneksikan ke internet sehingga mampu mengirim dan menerima informasi secara real-time. Dengan cara ini, sistem keamanan tidak hanya bergantung pada satu komponen, tetapi bekerja sebagai satu kesatuan yang saling mendukung untuk meningkatkan efektivitas pemantauan. Penggunaan IoT dalam pengamanan pintu memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau dan mengendalikan akses dari mana saja. Kamera yang terhubung ke jaringan dapat mengirimkan citra secara langsung ke server, sementara perangkat mikrokomputer seperti ESP32 dapat mengeksekusi perintah dari sistem, seperti membuka atau menutup pintu. Komunikasi dua arah ini membuat proses autentikasi berlangsung dengan cepat dan responsif. Selain itu, data aktivitas yang tercatat melalui server membantu pemilik dalam mengetahui waktu dan frekuensi akses, sehingga meningkatkan transparansi dan keamanan[9].

2.4. ESP32-CAM sebagai Perangkat Pemrosesan dan Akuisisi Citra

ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler yang dilengkapi kamera bawaan, sehingga perangkat ini banyak dipilih dalam pengembangan sistem keamanan berbasis Internet of Things. Modul ini memiliki kemampuan pemrosesan yang cukup untuk menjalankan fungsi pengambilan gambar, pengiriman data melalui jaringan WiFi, serta melakukan komunikasi dengan perangkat pendukung seperti sensor atau aktuator. Bentuknya yang kecil dan konsumsi daya yang rendah membuat ESP32-CAM cocok untuk sistem keamanan pintu yang membutuhkan perangkat ringkas namun tetap handal. Selain kemudahan integrasi, ESP32-CAM juga mendukung beberapa tingkat resolusi gambar, mulai dari yang rendah hingga kualitas yang cukup tinggi untuk kebutuhan identifikasi wajah. Hal ini membantu sistem dalam memilih kualitas gambar sesuai kondisi lapangan, misalnya kualitas tinggi untuk registrasi wajah, dan kualitas menengah untuk proses verifikasi agar pemrosesan lebih cepat. Dukungan memori tambahan berupa PSRAM memungkinkan modul ini menyimpan buffer gambar lebih besar sehingga proses pengambilan citra tidak mudah terganggu[10].

Pengolahan citra digital merupakan cabang ilmu yang berkembang pesat dan memungkinkan analisis gambar, baik dalam bentuk statis (foto) maupun dinamis (video), untuk mendapatkan informasi yang lebih mendalam. Proses ini melibatkan tahapan seperti pengambilan data, preprocessing, ekstraksi fitur, hingga evaluasi, dengan model warna RGB sebagai standar universal dalam mendefinisikan warna secara digital[11].

2.5. Pengembangan Web Dashboard untuk Monitoring Real-time

Web dashboard merupakan salah satu komponen penting dalam sistem keamanan berbasis IoT karena berfungsi sebagai pusat pemantauan seluruh aktivitas perangkat secara langsung. Melalui dashboard, pengguna dapat melihat informasi seperti status pintu, hasil identifikasi wajah, riwayat akses, hingga kualitas jaringan yang digunakan perangkat. Dengan tampilan yang mudah dipahami, dashboard membantu pengguna memantau kondisi sistem tanpa harus mengakses perangkat secara fisik. Integrasi antara web dan sistem IoT memungkinkan data yang dikirim oleh ESP32-CAM atau sensor lainnya langsung muncul pada tampilan dashboard secara real-time. Kemampuan monitoring secara real-time tidak lepas dari mekanisme komunikasi antara perangkat IoT dan server. Data yang dihasilkan oleh perangkat dikirim melalui protokol HTTP, MQTT, atau WebSocket untuk diterjemahkan oleh sistem web. Dengan metode ini, dashboard mampu memperbarui informasi tanpa harus melakukan penyegaran manual. Sistem yang responsif seperti ini sangat penting untuk keamanan, terutama ketika pengguna perlu mengetahui jika ada upaya masuk yang tidak sah atau perubahan

status pintu. Tampilan dashboard yang interaktif juga dapat disesuaikan sesuai kebutuhan, misalnya menampilkan notifikasi otomatis ketika perangkat mendeteksi wajah yang tidak dikenal[12].

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam pengembangan sistem keamanan berbasis pengenalan wajah dengan berbagai pendekatan. Berikut adalah studi terhadap penelitian-penelitian relevan yang menjadi acuan dalam pengembangan sistem ini. Penelitian yang dilakukan oleh Nuraeni, Indah Anggraini, Nurul Isra Humairah B., Indri Pratiwi Ramadhani, Muhammad Sabirin Hadis, Muliadi, dan Nurzaenab (2021) membahas pengembangan sistem akses pintu berbasis face recognition menggunakan modul ESP32 yang diintegrasikan dengan aplikasi Telegram sebagai media monitoring. Penelitian ini dirancang sebagai solusi atas masalah keamanan rumah, terutama terkait pencurian yang sering disebabkan oleh kelalaian dalam mengontrol kunci pintu. Pada penelitian ini, ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang memproses deteksi serta pengenalan wajah melalui kamera OV2640. Ketika wajah yang terdeteksi sesuai dengan data yang telah diregistrasi, sistem akan mengaktifkan solenoid door lock sehingga pintu terbuka otomatis. Namun, apabila wajah tidak dikenali, ESP32 akan mengirimkan foto wajah dan notifikasi ke aplikasi Telegram. Fitur ini memberikan nilai tambah karena pemilik rumah dapat memantau dan mengecek aktivitas pintu dari mana saja, selama perangkat terhubung dengan internet.

Penelitian yang dilakukan oleh Suradi, Ahmad Martani, Irma Arfiani, dan Sarli (2021) berfokus pada perancangan sistem pintu otomatis menggunakan ESP32-CAM sebagai perangkat utama untuk mendeteksi wajah dan mengaktifkan solenoid door lock. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh masih banyaknya rumah yang mengandalkan kunci konvensional sehingga rawan pembobolan dan sulit dipantau secara jarak jauh. Dalam penelitiannya, penulis merancang sebuah sistem yang mampu mengenali wajah pengguna, lalu membuka pintu secara otomatis selama 5 detik apabila wajah terdeteksi sesuai dengan data yang telah diregistrasi. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan kamera ESP32-CAM yang terhubung melalui jaringan hotspot untuk melakukan proses streaming dan deteksi wajah. Ketika wajah dikenali, sistem menampilkan indikator “door open” dan mengaktifkan solenoid lock. Sebaliknya, jika wajah tidak terdeteksi, sistem memberikan notifikasi sebagai tanda bahwa akses tidak valid. Berdasarkan hasil pengujian, perangkat mampu mendeteksi wajah dengan cukup baik dan menjalankan proses buka-tutup pintu secara otomatis tanpa kendala berarti[13].

Penelitian yang dilakukan oleh Yoska Wilanda dan Arnita (2021) berfokus pada perancangan prototipe monitoring sistem keamanan pintu berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan modul ESP32-CAM, solenoid door lock, serta integrasi Telegram Bot sebagai media monitoring jarak jauh. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh masih banyaknya kantor dan ruangan yang menggunakan kunci manual, sehingga rentan terhadap human error seperti lupa mengunci pintu atau sulitnya memantau siapa saja yang masuk ke dalam ruangan. Dalam penelitian ini, ESP32-CAM digunakan untuk mendeteksi wajah, mengirimkan gambar hasil tangkapan kamera, serta mengontrol aktuatur pintu melalui jaringan internet. Sistem akan membuka pintu secara otomatis apabila wajah yang terekam teridentifikasi, dan sebaliknya mengirimkan foto wajah ke Telegram jika orang yang terdeteksi tidak dikenali. Melalui integrasi dengan Telegram, pemilik atau petugas dapat memantau kondisi pintu secara real-time sekaligus mendapatkan notifikasi ketika ada aktivitas pada pintu[14].

Secara keseluruhan, ketiga jurnal menunjukkan bahwa ESP32-CAM merupakan solusi murah, efisien, dan efektif untuk sistem keamanan pintu berbasis pengenalan wajah. Namun semuanya memiliki kelemahan yang sama: ketergantungan pada kualitas jaringan dan belum adanya dashboard web yang lengkap untuk manajemen dan monitoring real-time.

Penelitian tentang penggunaan teknologi pengenalan wajah telah dilakukan oleh Syukur dan Islamadina. Mereka mengembangkan aplikasi absensi kehadiran berbasis pengenalan wajah secara langsung. Sistem ini memakai kamera sebagai alat untuk mengambil gambar dan menyimpan data pengguna menggunakan layanan Firebase. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu mengenali wajah secara otomatis, meskipun kinerjanya bisa terganggu oleh kondisi pencahayaan dan sudut pemotretan. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi pengenalan wajah efektif digunakan sebagai metode autentikasi biometrik dan memiliki potensi untuk diterapkan dalam sistem keamanan dan kontrol akses berbasis Internet of Things (IoT)[15].

3. Metode Penelitian

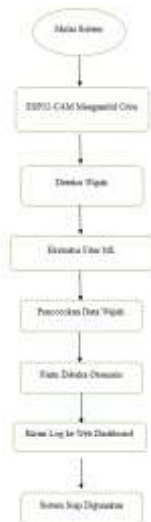
3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian pengembangan sistem dengan pendekatan rekayasa perangkat lunak. Fokus penelitian adalah merancang, membangun, dan menguji sistem keamanan pintu otomatis yang menggunakan teknologi pengenalan wajah dan machine learning. Alat utama yang digunakan adalah kamera ESP32-CAM, sedangkan web dashboard digunakan sebagai sarana untuk memantau dan mengelola data sistem. Metode pengembangan sistem dipilih karena penelitian ini bertujuan menghasilkan kajian teoritis sekaligus membuat prototipe sistem yang bisa digunakan langsung. Proses penelitian dilakukan secara bertahap dan terstruktur, mulai dari menganalisis kebutuhan, merancang arsitektur dan alur kerja, membangun perangkat

keras dan perangkat lunak, mengintegrasikan fitur pengenalan wajah, hingga menguji kinerja sistem secara menyeluruh. Dengan metode ini, setiap tahapan saling terhubung dan menjadi dasar bagi tahapan berikutnya.

3.2 Diagram Alur Penelitian

Tahapan penelitian digambarkan dalam sebuah diagram alur yang menunjukkan hubungan dan interaksi antara ESP32-CAM, modul machine learning, server, dan web dashboard. Diagram alur ini digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai proses kerja sistem keamanan pintu otomatis yang dikembangkan. Berikut alur kerja sistem yang menggambarkan bagaimana ESP32-CAM, modul machine learning, dan web dashboard saling berinteraksi:



Gambar 1. Diagram Alur

3.3 Penjelasan Diagram Alur

Alur kerja sistem dimulai ketika ESP32-CAM dihidupkan dan mulai mengambil gambar secara terus menerus di area depan pintu. Setelah itu, gambar tersebut diproses untuk mendeteksi adanya wajah. Jika wajah terdeteksi, gambar masuk ke tahap pra-pemrosesan dan ekstraksi fitur menggunakan metode pembelajaran mesin yang sudah dilatih. Hasil ekstraksi fitur kemudian dikirim ke server melalui koneksi Wi-Fi untuk dibandingkan dengan data wajah yang tersimpan di database. Jika hasilnya sesuai, sistem akan mengirimkan perintah ke aktuator pintu untuk membuka pintu secara otomatis, serta mencatat identitas pengguna dan waktu akses ke dalam dashboard web sebagai catatan aktivitas. Namun, jika tidak ditemukan kesesuaian, pintu tetap dalam kondisi tertutup dan upaya akses tersebut dicatat sebagai akses yang tidak valid untuk kepentingan pemantauan sistem.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan. Tahap pertama adalah pengumpulan data wajah dari setiap pengguna yang akan diberikan akses pada sistem. Proses ini dilakukan dengan mengambil beberapa sampel gambar wajah menggunakan kamera ESP32-CAM secara langsung agar data yang diperoleh sesuai dengan kondisi lingkungan sebenarnya, terutama terkait pencahayaan dan jarak kamera. Setiap individu direkam dalam beberapa posisi dan ekspresi wajah yang berbeda agar model machine learning memiliki data yang lebih bervariasi dan mampu mengenali pola wajah secara akurat meskipun terdapat perubahan ekspresi atau sudut pengambilan gambar. Selain data wajah, peneliti juga mengumpulkan data terkait kondisi lingkungan di sekitar pintu, seperti intensitas cahaya, jarak ideal antara pengguna dengan kamera, serta kemungkinan gangguan yang dapat mempengaruhi kualitas citra. Data ini diperlukan untuk melakukan penyesuaian pada proses pra-pemrosesan dan pemilihan metode ekstraksi fitur. Pengumpulan data perangkat keras dan perangkat lunak juga dilakukan, meliputi kebutuhan komponen seperti ESP32-CAM, modul pengendali pintu, serta server yang akan digunakan untuk menyimpan data dan menjalankan dashboard. Semua data yang dikumpulkan digunakan sebagai dasar dalam proses perancangan dan implementasi sistem secara menyeluruh.

3.5 Proses Pelatihan dan Ekstraksi Fitur Machine Learning

Tahap pelatihan dan ekstraksi fitur merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem pengenalan wajah, karena kualitas pola yang dihasilkan akan menentukan tingkat keakuratan sistem dalam mengenali pengguna. Proses ini diawali dengan pra-pemrosesan citra yang telah diambil sebelumnya. Pada tahap ini, gambar wajah dikonversi ke format grayscale agar lebih sederhana diproses, kemudian ukurannya disesuaikan sehingga seluruh data memiliki dimensi yang seragam. Selain itu, sistem juga melakukan cropping terhadap area wajah

untuk memastikan bahwa hanya bagian yang penting yang dianalisis oleh model. Setelah pra-pemrosesan, tahap berikutnya adalah ekstraksi fitur. Pada tahap ini, citra wajah diubah menjadi representasi numerik yang menggambarkan pola unik dari setiap individu. Metode yang digunakan dapat berupa LBPH (Local Binary Patterns Histogram), CNN embedding, atau teknik lain yang sesuai dengan kemampuan perangkat. Fitur-fitur ini kemudian disimpan dan digunakan sebagai bahan pelatihan model machine learning. Proses pelatihan dilakukan dengan memberikan sejumlah besar contoh pola wajah kepada model agar model dapat mempelajari perbedaan dan persamaan antar wajah. Setelah proses pelatihan selesai, model disimpan di server bersama database fitur sehingga ESP32-CAM dapat melakukan pencocokan wajah secara real-time melalui permintaan API. Tahapan ini memastikan bahwa sistem memiliki kemampuan untuk membedakan wajah pengguna yang sah dengan wajah orang lain yang tidak terdaftar.

3.6 Implementasi dan Pengujian Sistem

Tahap implementasi dilakukan dengan menggabungkan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu sistem yang berfungsi secara terpadu. Pada tahap ini, ESP32-CAM dipasang pada posisi yang strategis di bagian depan pintu agar dapat mengambil gambar wajah dengan jelas. Kamera diprogram untuk mengirimkan citra ke server secara otomatis ketika mendeteksi keberadaan wajah. Server kemudian menjalankan proses pencocokan wajah menggunakan model machine learning yang telah dilatih sebelumnya. Jika hasil pencocokan menunjukkan kecocokan dengan salah satu data pengguna, server mengirimkan perintah kepada modul pengendali untuk membuka pintu secara otomatis. Pada saat yang sama, sistem mencatat informasi akses ke dalam web dashboard, termasuk waktu dan identitas pengguna yang berhasil masuk.

Proses pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dapat bekerja dengan baik. Pengujian mencakup kemampuan sistem dalam mendeteksi wajah, akurasi pengenalan wajah, kecepatan respon pintu otomatis, serta kestabilan komunikasi antara ESP32-CAM dan server. Selain itu, dashboard juga diuji untuk memastikan bahwa setiap aktivitas yang terjadi dapat tercatat dengan benar dan tampil secara real-time. Pengujian dilakukan dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan wajah untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Dari hasil pengujian ini, peneliti dapat mengevaluasi kinerja sistem serta melakukan perbaikan jika ditemukan kekurangan pada proses identifikasi maupun pengendalian perangkat.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Implementasi Sistem

Hasil penerapan sistem keamanan pintu otomatis menghasilkan tiga halaman utama, yaitu halaman login admin, dashboard pemantauan sistem, dan halaman registrasi wajah pengguna. Halaman login bertugas sebagai pengamanan awal untuk membatasi akses pengguna admin, sehingga hanya orang yang memiliki password atau kredensial yang bisa mengelola sistem. Setelah login berhasil, admin akan diarahkan ke dashboard pemantauan yang menampilkan kondisi perangkat, jumlah pengguna yang terdaftar, serta riwayat akses secara real-time. Selain itu, sistem juga memiliki halaman registrasi wajah yang terhubung dengan kamera, sehingga memungkinkan penambahan data pengguna baru ke dalam database sebagai bahan referensi untuk proses pengenalan wajah. Penerapan tersebut menunjukkan bahwa sistem berjalan sesuai dengan desain awal dan mampu mendukung proses pengautentikasian serta pengelolaan pengguna secara terpadu.



Gamabr 2. Halaman Registrasi Pengguna Berbasis Wajah

Gambar ini menunjukkan halaman login yang menjadi titik awal sebelum pengguna masuk ke dashboard. Halaman ini memiliki kolom untuk username dan password, sehingga hanya pengguna yang memiliki akses yang bisa menggunakan fitur registrasi wajah, pemantauan log aktivitas, dan pengaturan sistem. Desain login yang sederhana namun terorganisir ini mendukung kebutuhan keamanan administratif sebagai langkah awal sebelum proses autentikasi wajah melalui ESP32-CAM berlangsung.



Gambar 3. Dashboard Monitoring Sistem Keamanan

Gambar menunjukkan dashboard utama yang menjadi pusat pengawasan sistem. Dashboard menampilkan status pintu, kondisi kamera, status motor servo, jumlah pengguna yang terdaftar, serta total akses harian. Panel riwayat akses di sisi kanan menampilkan pembaruan aktivitas secara real-time, sehingga administrator dapat mengawasi setiap proses autentikasi yang terjadi. Tampilan dashboard ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mengatur pembukaan pintu otomatis, tetapi juga menyediakan fasilitas pemantauan secara menyeluruh melalui dashboard web sebagaimana dijelaskan dalam perancangan sistem.



Gambar 4. Form Registrasi Wajah Berbasis Kamera

Gambar 4 menunjukkan halaman registrasi wajah yang digunakan untuk menambahkan pengguna baru. Di halaman ini, kamera menampilkan gambar wajah secara langsung sebagai tampilan awal sebelum proses pemotretan dilakukan. Pengguna lalu diminta mengisi informasi seperti nama lengkap, status, dan jenis kelamin sebelum data tersebut disimpan ke dalam database. Penerapan halaman ini menunjukkan kerja sama yang baik antara tampilan antarmuka, kamera, dan proses penyimpanan data, serta mendukung sistem dalam memperoleh dataset wajah yang tepat untuk digunakan sebagai dasar verifikasi.

4.2 Pengujian Fungsional Antarmuka Sistem

Pengujian fungsional dilakukan agar setiap bagian dari sistem bekerja sesuai dengan kebutuhan yang sudah ditentukan. Saat menguji halaman login, sistem bisa memeriksa username dan password pengguna dengan benar serta menolak akses yang tidak memiliki izin. Dalam pengujian dashboard, terlihat bahwa informasi tentang status perangkat dan riwayat aktivitas bisa ditampilkan secara terus-menerus dan diperbarui sesuai dengan kondisi sistem. Selain itu, pengujian halaman registrasi wajah menunjukkan bahwa sistem bisa mengambil gambar wajah melalui kamera, memproses data tersebut, dan menyimpannya ke dalam database tanpa ada kesalahan. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa semua fitur utama antarmuka sistem berjalan lancar dan mendukung operasional sistem keamanan pintu berbasis IoT.

4.3 Pengujian Kinerja (Respons Sistem dan Real-Time Monitoring)

Pengujian kemampuan sistem dilakukan untuk melihat bagaimana sistem merespons aktivitas autentikasi dan pembaruan status perangkat di dashboard. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem bisa menampilkan perubahan status perangkat, seperti kondisi kamera dan aktuatur pintu, secara langsung dan dalam waktu yang konsisten. Selain itu, data hasil autentikasi wajah yang dilakukan melalui ESP32-CAM bisa langsung dicatat dan ditampilkan di panel riwayat akses. Ini menunjukkan komunikasi antara perangkat IoT, server, dan dashboard web berjalan dengan lancar, serta mendukung konsep pemantauan real-time yang merupakan tujuan utama pembuatan sistem.

4.4 Evaluasi Sistem Keamanan dan Pengelolaan Pengguna

Evaluasi sistem dilakukan untuk mengecek kemampuan sistem dalam mengelola data pengguna dan memastikan akses ke pintu tetap aman. Proses pendaftaran wajah berjalan lancar ketika pencahayaan cukup, dan data identitas pengguna tersimpan dengan tepat di dalam database. Sistem juga bisa menampilkan informasi penting seperti jumlah pengguna yang terdaftar dan jumlah akses yang dilakukan setiap hari, yang membantu administrator memantau penggunaan sistem. Hasil evaluasi dashboard menunjukkan bahwa informasi yang ditampilkan cukup jelas dan informatif untuk memantau sistem tanpa harus langsung memakai perangkat keras.

4.5 Pembahasan Hasil Implementasi

Berdasarkan hasil penerapan, pengujian, dan penilaian, sistem keamanan pintu otomatis dengan teknologi pengenalan wajah telah berhasil dibuat sesuai dengan tujuan penelitian. Penggabungan antara ESP32-CAM, machine learning, dan dashboard web memungkinkan sistem melakukan pemeriksaan wajah, mengontrol pintu secara otomatis, serta memantau kegiatan secara terpusat. Jika dibandingkan dengan sistem biasa, sistem ini lebih mudah dalam mengelola pengguna dan memantau keamanan secara langsung. Meskipun masih ada kemungkinan perbaikan, seperti menambahkan notifikasi otomatis untuk akses yang tidak sah, sistem yang sudah dibuat sudah memenuhi kebutuhan dasar keamanan dan menunjukkan bahwa penggunaan teknologi IoT dan machine learning sangat efektif dalam pengaturan sistem keamanan pintu otomatis.

5. Kesimpulan

Sistem keamanan pintu otomatis berbasis pengenalan wajah yang dikembangkan pada penelitian ini berhasil berjalan sesuai dengan tujuan penelitian. ESP32-CAM berperan sebagai perangkat utama dalam menangkap citra wajah dan mengirimkannya ke server untuk proses identifikasi. Penerapan model machine learning memungkinkan sistem melakukan autentikasi wajah secara otomatis dan memberikan respons yang cepat dalam mengendalikan mekanisme buka dan tutup pintu. Selain itu, web dashboard yang dikembangkan mampu mendukung kebutuhan monitoring dan pengelolaan pengguna, seperti pencatatan riwayat akses, penampilan status perangkat, serta proses registrasi wajah secara terstruktur. Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan kinerja yang baik pada kondisi pencahayaan yang memadai dan jarak pengguna yang sesuai dengan kamera. Proses identifikasi wajah berjalan stabil dan respons antarmuka dashboard relatif cepat. Namun, performa sistem mengalami penurunan pada kondisi pencahayaan rendah atau sudut wajah yang tidak optimal. Oleh karena itu, sebagai rekomendasi untuk penelitian lanjutan, sistem ini dapat dikembangkan dengan menerapkan teknik pra-pemrosesan citra yang lebih adaptif, penggunaan model pengenalan wajah yang lebih robust, serta penambahan fitur keamanan tambahan. Dengan pengembangan tersebut, sistem diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan keandalan sehingga semakin layak digunakan sebagai solusi keamanan pintu berbasis Internet of Things yang modern, ekonomis, dan mudah diterapkan di lingkungan rumah maupun perkantoran.

Daftar Pustaka

- [1] M. Chusnu and D. Prayoga, "Jurnal Riset Fisika Indonesia," vol. 4, 2024.
- [2] B. Yanto *et al.*, "S M A R T H O M E M O N I T O R I N G P I N T U R U M A H D E N G A N I D E N T I F I K A S I W A J A H M E N E R A P K A N C A M E R A E S P 3 2 B E R B A S I S I O T," vol. 11, pp. 53–59, 2022.
- [3] I. Anggraini, N. I. H. B., I. P. Ramadhani, and M. S. Hadis, "Sistem Akses Pintu Berbasis Face Recognition Menggunakan ESP32 Module dan Aplikasi Telegram," vol. 4, no. 3, pp. 115–119, 2021.
- [4] F. L. Murjitama, H. N. Raihan, R. P. Adiwijaya, and D. F. Ramadan, "Smart Door Lock Using Face Recognition Access Based on Internet Of Things (IoT)," vol. 13, no. 2, pp. 199–203, 2024, doi: 10.34148/teknika.v13i2.816.
- [5] M. Nur, H. S. Sulistyowati, A. Nurrohman, U. B. Saleh, U. B. Saleh, and U. B. Saleh, "PENERAPAN FACE RECOGNITION UNTUK MODEL SMART," vol. 2, no. 1, pp. 152–166, 2024.
- [6] R. Zulfikar, R. Mukhaiyar, D. E. Myori, D. T. Elektro, F. Teknik, and U. Negeri, "Rancang Bangun Keamanan Pintu Otomatis Menggunakan Face Recognition Berbasis Internet Of Things (IoT)," vol. 4, no. 2, pp. 445–453, 2023.
- [7] J. K. Informatika, "MENGUNAKAN FACE Diterima : Diterbitkan :," vol. 11, no. 2, pp. 110–117, 2023.
- [8] F. A. Azhari and R. Mukhaiyar, "Door Security System Menggunakan Teknologi Biometric Face Recognition," vol. 3, no. 3, pp. 166–173, 2021.
- [9] V. V. Septyanlie, V. Ikawati, E. Subiyanta, and N. Lestari, "Face Recognition-Based Door Lock Security System Using TensorFlow Lite," vol. 6, no. 2, pp. 402–409, 2024, doi: 10.33650/jeeecom.v4i2.
- [10] M. Arif, J. Teknik, E. Politeknik, and N. Lhokseumawe, "DENGAN IDENTIFIKASI WAJAH MENGGUNAKAN ESP32CAM BERBASIS IoT," vol. 21, no. 2, pp. 140–146, 2024.
- [11] A. N. Nasution, "Identifikasi Variasi Paprika Berdasarkan Jenis Warna Paprika Berbasis Analisis Citra Digital Menggunakan Algoritma Support Vector Machine (SVM)," vol. 7, no. 2, 2024.
- [12] A. Mahardika and M. Ihsan, "Rancang bangun smart doorbell berbasis internet of things menggunakan esp32 cam," vol. 07, no. 02, pp. 6–13, 2025.
- [13] A. Martani, I. Arfiani, J. T. Industri, and F. Teknik, "ESP32CAM ESP32-CAM," pp. 104–110.
- [14] Y. Wilanda *et al.*, "PROTOTYPE MONITORING SISTEM KEAMANAN PINTU MENGGUNAKAN FACE RECOGNITION DAN BOT TELEGRAM," pp. 1–11.
- [15] H. Syukur and R. Islamadina, "Prototype Aplikasi Face Recognition Untuk Absensi Kehadiran," vol. 8, no. 1, pp. 239–250, 2025.