

Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Smart Door Lock Dengan Pengenalan Wajah Berbasis Mikrokontroler ESP32-CAM

Amanda Risky Sultan¹, Akhlis Munazilin², Lukman Fakhri Lidimilah³

^{1,2,3} Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Teknologi Sains dan Teknologi, Universitas Ibrahimy

Jl. KHR. Syamsul Arifin No.1-2, Sukorejo, Sumberejo, Kec. Banyuputih, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur
68374

Email: riskisultan321@gmail.com, Akhlimunazilin2@gmail.com, Lukylukman7@gmail.com

ABSTRAK

Seiring meningkatnya kebutuhan akan sistem keamanan rumah yang modern dan efisien, teknologi pengenalan wajah menjadi salah satu metode autentikasi yang banyak dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan berbasis *smart door lock* menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM sebagai perangkat utama identifikasi wajah. Sistem ini diharapkan menjadi solusi alternatif dari metode keamanan tradisional yang masih mengandalkan kunci fisik dan belum dapat mengenali identitas pengguna secara otomatis. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* dengan metode studi kasus. Tahapan meliputi identifikasi kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan lunak, serta pengujian performa secara menyeluruh. Modul ESP32-CAM digunakan untuk mendeteksi wajah, relay sebagai pengontrol arus ke kunci solenoid, dan LCD 20x4 I2C serta LED indikator sebagai media tampilan status sistem. Pengujian dilakukan dengan metode *black box*, melalui debugging pada serial monitor dan pengujian fisik langsung. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali wajah pengguna yang telah terdaftar dan mengaktifkan solenoid lock secara otomatis. Informasi akses ditampilkan melalui LCD dan LED sebagai umpan balik visual. Dengan demikian, sistem ini efektif dalam meningkatkan keamanan dengan membatasi akses hanya kepada pengguna yang dikenali, serta memberikan kenyamanan karena tidak memerlukan kunci fisik. Sistem ini relevan untuk diterapkan sebagai solusi keamanan rumah yang adaptif terhadap perkembangan teknologi digital.

Kata Kunci: Kunci Pintu Otomatis, ESP32-CAM, Deteksi Wajah, Keamanan Rumah.

ABSTRACT

As the need for modern and efficient home security systems increases, facial recognition technology is one of the most developed authentication methods. This study aims to design and implement a smart door lock-based security system using the ESP32-CAM microcontroller as the primary face identification device. The system is expected to be an alternative solution to traditional security methods that still rely on physical keys and cannot recognize user identities automatically. This research uses a Research and Development (R&D) approach with a case study method. The stages include identification of system needs, hardware and software design, and thorough performance testing. The ESP32-CAM module detects faces, relays as a current controller to the solenoid lock, and 20x4 I2C LCDs and indicator LEDs as the system status display medium. The test was carried out using the black box method, through debugging on the monitor series and direct physical testing. The results showed that the system could recognize the face of the registered user and activate the solenoid lock automatically. Access information is displayed via LCD and LED as visual feedback. Thus, the system effectively improves security by restricting access to only recognized users and providing convenience because it does not require physical keys. This system is relevant to be applied as a home security solution that is adaptive to the development of digital technology. Keywords: Automatic Door Lock, ESP32-CAM, Face Detection, Home Security.

Keywords: Automatic Door Lock, ESP32-CAM, Face Detection, Home Security.

Pendahuluan

Dalam era digital yang terus berkembang, kebutuhan akan sistem keamanan rumah yang efektif dan canggih menjadi semakin mendesak. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah membawa perubahan signifikan dalam cara masyarakat mengelola keamanan properti mereka. Rumah, sebagai tempat perlindungan

utama, memerlukan sistem keamanan yang tidak hanya andal tetapi juga mudah digunakan dan dapat diandalkan dalam menghadapi berbagai ancaman modern.

Data dari Pusat Informasi Kriminal Nasional (Pusiknas) Bareskrim Polri menunjukkan bahwa pencurian masih menjadi jenis kejahatan yang paling dominan di Indonesia. Pada tahun 2023, terdapat 63.355 kasus pencurian dengan pemberatan (curat) dari total 434.768 kasus kejahatan yang terjadi[1]. Lebih mengkhawatirkan lagi, mayoritas tindak kejahatan ini terjadi pada malam hari antara pukul 18.00-21.59, mencapai 11,42% dari total kasus kriminal[2]-[3]. Hal ini menunjukkan bahwa rumah-rumah di Indonesia masih rentan terhadap tindak kejahatan, terutama saat penghuni tidak berada di tempat.

Sistem keamanan rumah konvensional yang mengandalkan kunci mekanis tradisional memiliki berbagai kelemahan yang dapat dieksploitasi oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Kunci fisik dapat hilang, dicuri, atau diduplikasi tanpa sepengetahuan pemilik rumah. Selain itu, sistem keamanan konvensional tidak dapat memberikan informasi real-time kepada pemilik rumah tentang aktivitas di sekitar properti mereka[4]-[5].

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) dan sistem biometrik telah membuka peluang besar untuk mengembangkan sistem keamanan rumah yang lebih canggih dan efektif. Teknologi pengenalan wajah (face recognition) telah terbukti sebagai salah satu metode autentikasi biometrik yang paling akurat dan user-friendly[6]-[7]. Sistem pengenalan wajah dapat mengidentifikasi individu berdasarkan karakteristik unik pada wajah mereka, memberikan tingkat keamanan yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional[8]-[9].

Mikrokontroler ESP32-CAM hadir sebagai solusi inovatif yang menggabungkan kemampuan pemrosesan, konektivitas WiFi, dan fungsi kamera dalam satu modul yang kompak dan ekonomis[10]-[11]. Dengan spesifikasi yang mendukung pemrosesan gambar dan konektivitas internet, ESP32-CAM menjadi pilihan ideal untuk mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis pengenalan wajah[12]-[13].

Teknologi smart door lock yang mengintegrasikan pengenalan wajah dengan sistem penguncian otomatis telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan keamanan rumah. Sistem ini tidak hanya dapat mengidentifikasi pengguna yang berwenang tetapi juga memberikan notifikasi real-time kepada pemilik rumah melalui berbagai platform komunikasi[14]-[15]. Implementasi teknologi ini memungkinkan pemantauan dan kontrol akses yang lebih efektif, bahkan dari jarak jauh.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa integrasi teknologi pengenalan wajah dengan sistem keamanan rumah dapat meningkatkan efektivitas pengamanan secara signifikan. Salah satu studi menggunakan metode Haar Cascade Classifier menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi dan mengenali wajah untuk sistem keamanan rumah[16]-[17]. Selain itu, penggunaan dual-camera dalam sistem pengenalan wajah terbukti dapat meningkatkan akurasi deteksi hingga lebih dari 90%[18].

Keunggulan sistem biometrik, khususnya pengenalan wajah, terletak pada kemampuannya untuk memberikan autentikasi yang cepat, akurat, dan sulit untuk dipalsukan[19]-[20]. Berbeda dengan password atau kartu akses yang dapat hilang atau dicuri, karakteristik biometrik merupakan bagian integral dari setiap individu yang tidak dapat dengan mudah direplikasi atau ditransfer ke orang lain[21]-[22].

Perkembangan teknologi smart home automation juga mendukung implementasi sistem keamanan rumah yang lebih terintegrasi. Sistem smart door lock dapat diintegrasikan dengan berbagai perangkat IoT lainnya dalam ekosistem rumah pintar, menciptakan solusi keamanan yang komprehensif dan terpadu[23]-[24]. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol dan memantau keamanan rumah mereka melalui satu platform yang unified.

Meskipun teknologi pengenalan wajah memiliki berbagai keunggulan, implementasinya dalam sistem keamanan rumah juga menghadapi beberapa tantangan. Faktor-faktor seperti kondisi pencahayaan, angle kamera, dan perubahan penampilan dapat mempengaruhi akurasi sistem[25]. Oleh karena itu, pengembangan sistem keamanan rumah berbasis pengenalan wajah memerlukan pendekatan yang komprehensif untuk mengatasi berbagai tantangan teknis ini.

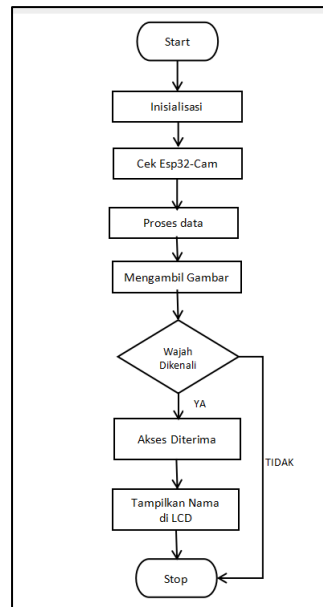
Untuk meningkatkan efektivitas sistem keamanan rumah smart door lock dengan pengenalan wajah serta mengatasi mengatasi sistem pengenalan wajah, penelitian ini merumuskan pertanyaan utama: Bagaimana merancang sistem smart door lock berbasis pengenalan wajah terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32-CAM, Bagaimana kinerja sistem dalam mengenali wajah pengguna dan mengontrol kunci pintu secara otomatis, serta sejauh mana sistem ini efektif dalam meningkatkan keamanan rumah dibandingkan dengan sistem konvensional

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan rumah smart door lock yang mengintegrasikan teknologi pengenalan wajah dengan mikrokontroler ESP32-CAM. Sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi keamanan yang lebih efektif, user-friendly, dan cost-effective dibandingkan dengan sistem keamanan rumah konvensional.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode studi kasus, yang bertujuan untuk mengkaji secara mendalam proses perancangan dan implementasi sistem pengamanan pintu

otomatis (smart door lock) berbasis ESP32-CAM sebagai sistem identifikasi visual berbasis kamera. Penelitian ini difokuskan pada penerapan teknologi mikrokontroler dan Internet of Things (IoT) dalam mendukung peningkatan keamanan akses pintu masuk pada lingkungan tertentu, seperti kamar asrama, laboratorium, maupun ruang penyimpanan. Melalui pendekatan ini, penelitian diarahkan untuk menganalisis kebutuhan sistem, merancang integrasi perangkat keras, serta mengevaluasi efektivitas dan respons sistem secara menyeluruh dalam kondisi nyata. Studi ini difokuskan pada pengujian perangkat keras seperti ESP32, ESP32-CAM, solenoid lock, modul relay, indikator LED, serta LCD 20x4 I2C, yang semuanya terintegrasi dalam sistem kendali berbasis logika pemrograman.

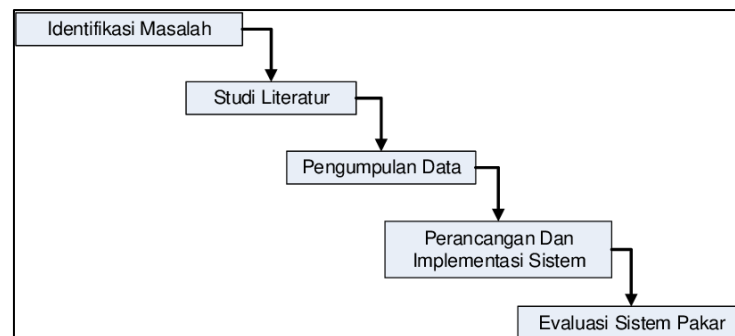


Gambar 1. Flowchart Sistem Smart Door Lock berbasis ESP32-Cam

Teknik Pengumpulan Data

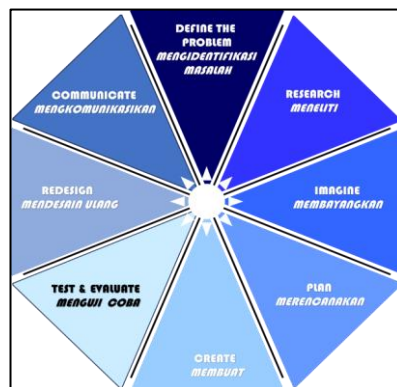
Berikut ini adalah metode yang digunakan dalam penelitian “Rancang Bangun Sistem Sistem keamanan Rumah Dengan Pengenalan Wajah Berbasis Mikrokontroler ESP32-CAM”.

- Studi Literatur**
Studi pustaka dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, artikel, laporan penelitian, dan sumber online yang relevan. Metode ini digunakan untuk memperoleh landasan teori dan gambaran umum terkait teknologi pengenalan wajah, mikrokontroler ESP32-CAM, serta sistem keamanan rumah berbasis IoT[26]-[27].
- Observasi.**
Observasi dilakukan dengan pengamatan langsung terhadap objek penelitian, yaitu kondisi keamanan rumah dan lingkungan sekitar. Observasi ini bertujuan untuk mengumpulkan data primer secara real-time mengenai situasi keamanan dan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan[28].
- Wawancara / Tanya Jawab**
Teknik ini melibatkan interaksi langsung dengan narasumber terkait, seperti pemilik rumah, pakar keamanan, atau teknisi yang berpengalaman. Wawancara bertujuan untuk mendapatkan informasi mendalam tentang masalah keamanan yang dihadapi dan ekspektasi terhadap sistem yang akan dirancang.
- Kuesioner**
Pengumpulan data melalui kuesioner dilakukan dengan memberikan pertanyaan tertulis kepada responden yang menjadi target pengguna sistem. Kuesioner membantu mengumpulkan data kuantitatif dan kualitatif mengenai kebutuhan dan preferensi pengguna terhadap fitur sistem keamanan rumah.
- Eksperimen dan Pengujian Sistem**
Data juga dikumpulkan melalui pengujian langsung prototipe sistem yang dikembangkan. Eksperimen ini bertujuan untuk mengukur performa sistem, seperti akurasi pengenalan wajah, kecepatan respon, dan keandalan sistem penguncian pintu. Hasil pengujian menjadi data penting untuk evaluasi dan perbaikan sistem[29].



Gambar 2. Metode Teknik Pengumpulan Data

Metode Pengembangan Sistem



Gambar 3. Metode Engineering Design Process

Metode Engineering Design Process (EDP)

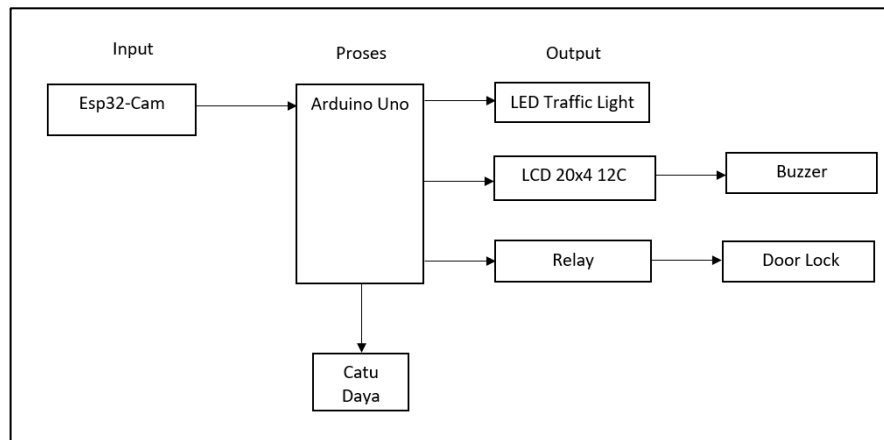
Engineering Design Process (EDP) merupakan metode sistematis yang digunakan dalam pengembangan sistem atau produk teknik, dengan tujuan menghasilkan solusi terbaik melalui serangkaian langkah yang terstruktur dan iteratif. EDP banyak diterapkan pada proyek-proyek rekayasa, pendidikan STEM, dan pengembangan teknologi di berbagai bidang.

Secara umum, tahapan utama dalam metode EDP adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah (Define the Problem)
 - Mengidentifikasi dan memperjelas masalah yang ingin diselesaikan.
 - Menentukan kebutuhan, batasan, serta kriteria keberhasilan solusi yang akan dikembangkan.
2. Melakukan Riset dan Membayangkan Solusi (Research and Imagine)
 - Mengumpulkan informasi, melakukan eksperimen atau investigasi, serta mencari inspirasi dari berbagai sumber.
 - Menghasilkan dan mengakumulasi ide-ide atau gagasan solusi yang mungkin diterapkan.
3. Merencanakan Solusi (Plan)
 - Memilih ide terbaik dan menyusun rencana kerja atau desain awal (prototype).
 - Menentukan alat, bahan, dan langkah-langkah yang diperlukan dalam pembuatan solusi.
4. Membuat Prototipe (Create/Build)
 - Mewujudkan rencana menjadi prototipe nyata sesuai desain yang telah dibuat.
 - Melibatkan proses konstruksi atau pembuatan produk awal.
5. Menguji dan Mengevaluasi (Test and Evaluate)
 - Melakukan pengujian terhadap prototipe untuk menilai apakah solusi telah memenuhi kebutuhan dan kriteria yang ditetapkan.
 - Mengumpulkan data hasil uji coba untuk dianalisis.
6. Memperbaiki dan Mendesain Ulang (Improve/Redesign)
 - Melakukan perbaikan atau penyempurnaan berdasarkan hasil evaluasi dan umpan balik.
 - Proses ini bisa berulang hingga solusi optimal ditemukan.
7. Mengomunikasikan Hasil (Communicate)

- Menyampaikan hasil pengembangan dan evaluasi kepada pihak terkait, baik dalam bentuk presentasi, laporan, maupun publikasi ilmiah.

Desain Sistem



Gambar 4. Diagram Blok Sistem

1) Input

Dalam input sistem ini, Cam ESP32 berfungsi untuk mengambil foto wajah pengguna di pintu. Wajah yang direkam dikenali oleh proses pengenalan wajah yang dapat dikirim secara lokal atau ke server. Jika wajah cocok dengan data yang disimpan, sinyal dikirim ke Arduino UNO untuk mendapatkan tanda yang dapat diberikan akses.

2) Process

Data input Arduino Uno bertindak sebagai otak sistem yang memproses sinyal CAM ESP32 dan mengontrol semua komponen pertama berdasarkan logika yang diprogram sebelumnya. Arduino menerima sinyal digital dari cam ESP32 dan memutuskan apakah akan membuka kunci pintu atau mendengung bel, mengganti layar LED, dan menampilkan pesan di LCD. Lalu Catu daya menyediakan tegangan di Arduino UNO dan modul koneksi. Layanan ini dapat mengasumsikan semua komponen dari adaptor 12-V, bank daya, atau sumber lain, sesuai dengan persyaratan listrik dan tegangan.

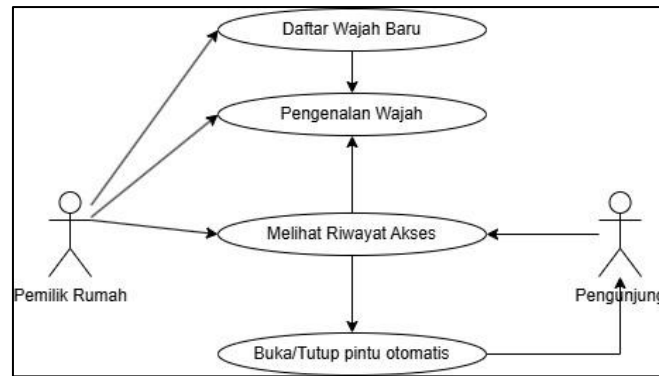
3) Output

Lalu proses output, Sistem ini terdiri dari beberapa komponen yang menanggapi hasil pengenalan wajah CAM ESP32 dan ditangani oleh Arduino uno. Pertama, putaran LED bertindak sebagai tampilan visual, secara langsung menunjukkan status sistem. Hijau menunjukkan bahwa wajah pengguna dikenali dan akses diizinkan, sementara merah menunjukkan bahwa wajah tidak dikenali dan akses ditolak. Kuning dapat digunakan sebagai penanda yang memungkinkan sistem mengidentifikasi atau menunggu input.

Kedua, LCD 20X4 I2C digunakan untuk menampilkan pengguna informasi teks. B. Status "akses yang diterima", "akses yang diakses", "waktu akses", atau nama pengguna telah berhasil diakui. Modul ini menggunakan antarmuka I2C, sehingga sangat efisien karena hanya membutuhkan dua koneksi ke Arduino: SDA dan SCL.

Ketiga, buzzer bertindak sebagai indikator suara. Buzzer terdengar pendek ketika pintu menerima akses sebagai penanda yang telah berhasil dibuka. Jika akses ditolak, bel akan terdengar lama sebagai peringatan atau indikasi kesalahan otentikasi.

Selain itu, relay bertindak sebagai sakelar elektronik yang dikontrol langsung oleh Arduino. Setelah wajah dikenali, Arduino mengaktifkan relai dan mengubah arus menjadi kunci pintu magnetik. Relai sangat penting karena Arduino tidak dapat menangani arus besar secara langsung. Oleh karena itu, relay dipercayakan ke sumber daya utama saat menghubungkan beban tinggi (seperti kunci pintu listrik). Akhirnya, smart door lock yang membuka atau menutup tergantung pada keadaan relay. Jika relai aktif karena uji wajah yang berhasil, smart door lock membuka kunci dan membiarkan pintu terbuka. Namun, jika ulasan gagal, pintu tetap ditutup.



Gambar 5. Use Case Diagram

Sistem yang ditampilkan dalam diagram tersebut merupakan sistem keamanan rumah berbasis teknologi pengenalan wajah, yang dirancang untuk mengatur akses otomatis pada pintu. Sistem ini melibatkan dua peran utama, yaitu **Pemilik Rumah** dan **Pengunjung**, yang masing-masing memiliki akses terhadap beberapa fungsi utama (*use case*).

Pemilik rumah: memiliki kendali penuh terhadap semua fitur dalam sistem. Beberapa aktivitas yang dapat dilakukan meliputi: Menambahkan Data Wajah Baru, Pemilik rumah dapat mendaftarkan wajah individu tertentu, seperti anggota keluarga atau tamu rutin, ke dalam sistem. Data wajah ini akan tersimpan untuk keperluan identifikasi di masa mendatang. Proses Pengenalan Wajah, Sistem secara otomatis memindai dan mengenali wajah orang yang berada di depan kamera. Selain itu, pemilik rumah juga dapat memulai atau memverifikasi proses pengenalan ini secara manual jika dibutuhkan. Melihat Catatan Akses, Pemilik rumah dapat mengakses riwayat pengguna yang berhasil dikenali sistem beserta waktu mereka mengakses pintu. Fitur ini berguna untuk memantau aktivitas keluar-masuk rumah. Mengendalikan Pintu Otomatis: Apabila wajah yang terdeteksi sesuai dengan data yang tersimpan, maka sistem akan secara otomatis membuka pintu. Pemilik rumah juga memiliki kontrol terhadap proses ini.

Pengunjung: Akses pengunjung terhadap sistem sangat terbatas dan hanya mencakup beberapa fungsi berikut: Pengenalan Wajah, Ketika pengunjung mendekati perangkat, sistem akan memindai wajahnya. Jika wajah tersebut sudah terdaftar sebelumnya oleh pemilik rumah, maka sistem akan mengenalinya. Melihat Riwayat Akses Pribadi, Dalam kondisi tertentu, sistem dapat memberikan akses kepada pengunjung untuk melihat riwayat kunjungan mereka sendiri, seperti apakah akses sebelumnya diterima atau ditolak. Akses Otomatis ke Pintu, Jika wajah pengunjung berhasil dikenali, maka sistem akan membuka pintu secara otomatis. Namun, pengunjung tidak memiliki kendali langsung terhadap proses ini dan hanya bertindak sebagai pengguna pasif.

Perangkat lunak yang digunakan

Dalam proses pengembangan sistem keamanan rumah yang menggunakan teknologi pengenalan wajah berbasis mikrokontroler ESP32-CAM, sejumlah perangkat lunak digunakan untuk menunjang efektivitas dan kelancaran pembangunan sistem. **Windows 10** dipilih sebagai sistem operasi utama karena memiliki kompatibilitas tinggi dengan berbagai aplikasi pengembangan serta stabil untuk kebutuhan komputasi dasar.

Untuk pemrograman perangkat keras, digunakan **Arduino IDE**, yaitu sebuah platform terpadu yang memfasilitasi penulisan, kompilasi, dan pengunggahan kode ke perangkat ESP32-CAM. Arduino IDE juga dilengkapi fitur seperti *serial monitor* yang berguna dalam proses debugging dan pemantauan langsung data dari perangkat.

Sementara itu, perancangan rangkaian elektronik dilakukan menggunakan **Fritzing**, sebuah perangkat lunak visual yang membantu dalam menyusun skema dan layout prototipe secara digital. Fritzing memudahkan proses dokumentasi dan memungkinkan pengguna merancang sirkuit dengan cara yang lebih sederhana dan terstruktur berkat antarmuka grafis yang intuitif.

Kombinasi dari Windows 10, Arduino IDE, dan Fritzing membentuk fondasi perangkat lunak yang mendukung keseluruhan tahapan pengembangan sistem, mulai dari perancangan, pemrograman, hingga pengujian prototipe, sehingga menghasilkan sistem keamanan rumah yang terintegrasi dan dapat diandalkan.

Hasil Dan Pembahasan

Penelitian ini sukses mengembangkan sistem keamanan rumah dengan model *smart door lock* yang memanfaatkan teknologi pengenalan wajah berbasis modul ESP32-CAM. Sistem ini dirancang sebagai alternatif untuk mengatasi keterbatasan sistem keamanan konvensional, seperti penggunaan kunci fisik atau RFID yang

rentan disalahgunakan. Teknologi ini memungkinkan proses autentikasi berlangsung secara otomatis, instan, dan berbasis identitas personal.

Apabila wajah terdeteksi sesuai, maka sistem akan segera memberikan izin akses dengan membuka kunci pintu menggunakan solenoid door lock yang dikendalikan oleh relay elektronik. Sistem ini mampu meningkatkan efektivitas proses masuk rumah serta meminimalkan risiko kehilangan kunci atau penyalahgunaan akses oleh orang yang tidak berwenang.

Tabel 1. Skenario Pengujian

No	Skenario	Detail Proses	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Pengenalan Wajah	ESP32-CAM membaca wajah pengguna	Wajah dikenali dan pintu terbuka otomatis	Sesuai
		Wajah tidak dikenali	Pintu tetap terkunci dan buzzer berbunyi	
2	Kontrol Pintu Otomatis	Sistem membuka pintu saat wajah cocok	Pintu terbuka otomatis dengan relay dan solenoid	Sesuai
		Pintu terkunci otomatis setelah beberapa detik	Pintu kembali terkunci	
3	LED Indikator	Sistem memberikan warna indikator (merah, hijau)	LED menyala sesuai status pintu	Sesuai
4	LCD Tampilan	Menampilkan pesan akses diterima/ditolak	Informasi muncul pada layar LCD	Sesuai
5	Koneksi Wifi	ESP32-CAM terhubung ke jaringan	Sistem bisa diakses melalui jaringan	Sesuai

Aspek keamanan menjadi prioritas utama dalam perancangan sistem ini. Teknologi pengenalan wajah dipilih karena menyediakan metode autentikasi biometrik yang bersifat lebih personal dan sulit ditiru dibandingkan dengan sistem konvensional. Hanya pengguna yang wajahnya telah terdaftar dalam database yang dapat diberikan akses, sehingga kemungkinan terjadinya pencurian atau penyusupan dapat diminimalkan.

Untuk memberikan respons terhadap status akses, sistem dilengkapi dengan indikator LED berwarna (merah untuk akses ditolak, kuning untuk proses verifikasi, dan hijau untuk akses diterima), buzzer sebagai penanda suara jika terjadi penolakan, serta layar LCD yang menampilkan informasi secara langsung. Kombinasi fitur ini menjadikan sistem tidak hanya aman, tetapi juga responsif dan mudah dipahami oleh pengguna.

Sistem ini dirancang secara modular, sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut sesuai kebutuhan. Misalnya, sistem dapat diintegrasikan dengan modul Wi-Fi untuk kontrol jarak jauh melalui aplikasi seluler, penambahan fitur penyimpanan riwayat akses, atau integrasi dengan notifikasi real-time seperti melalui Telegram atau WhatsApp.

Selain itu, pengembangan sistem juga dapat mencakup penerapan enkripsi data, integrasi kamera resolusi lebih tinggi, atau koneksi ke server lokal/cloud untuk analisis lebih lanjut. Desain modular ini memungkinkan sistem digunakan di berbagai tempat seperti rumah, kantor, hingga fasilitas terbatas akses lainnya.

Tabel 2. Implementasi Kontrol Akses dengan Pengenalan Wajah

Kode Kebutuhan	Kebutuhan Fungsional	Deskripsi
PW-001	Pendeteksian Wajah	menangkap gambar wajah dari kamera ESP32-CAM dan memprosesnya untuk pengenalan.
PW-002	Identifikasi Wajah	Sistem dapat mengidentifikasi wajah yang telah terdaftar dan memberi akses untuk masuk.
PW-003	Kontrol Smart Door Lock	wajah sesuai dengan data yang tersimpan, sistem dapat mengontrol relay untuk mengaktifkan Smart Door Lock agar pintu dapat dibuka.
PW-004	Notifikasi Akses	Pemilik rumah dapat menerima notifikasi atau alert terkait siapa yang masuk atau berusaha masuk rumah dari jarak jauh.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan kinerja yang optimal dengan respon yang cepat dalam mengenali wajah pengguna serta mengendalikan kunci pintu secara otomatis. Para pengguna merasakan kemudahan saat mengakses rumah dan merasa lebih aman karena hanya wajah yang terdaftar yang dapat membuka pintu.

Secara keseluruhan, sistem smart door lock yang menggunakan teknologi pengenalan wajah ini terbukti mampu meningkatkan keamanan lingkungan tempat tinggal. Selain itu, sistem ini juga memiliki potensi untuk diterapkan dalam berbagai situasi lain yang membutuhkan akses terbatas dan terjamin keamanannya, seperti di perkantoran, laboratorium, maupun area terbatas lainnya.

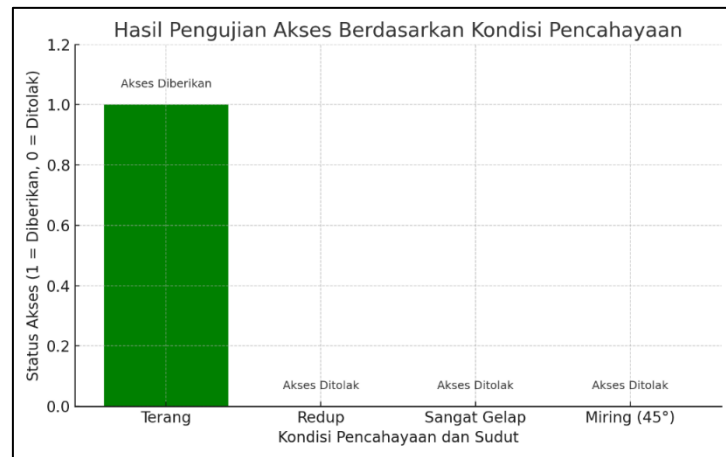
Hasil pengujian

Berdasarkan hasil uji coba dan implementasi, sistem berjalan dengan baik dalam kondisi tertentu. Sistem dapat mengenali wajah pengguna secara akurat ketika berada dalam jarak sekitar 30 hingga 40 cm dan dalam kondisi pencahayaan yang cukup terang. Saat wajah terdeteksi, sistem otomatis mengaktifkan relay untuk membuka pintu melalui kunci solenoid. Selain itu, sistem juga menampilkan informasi melalui layar LCD, memberi peringatan suara dengan buzzer, serta menunjukkan status akses melalui LED.

Namun, kinerja sistem menurun saat digunakan dalam kondisi tertutup cahaya atau gelap. sistem ini berhasil memenuhi fungsinya sebagai sistem keamanan otomatis yang memberikan akses hanya kepada pengguna yang sah. Sistem ini juga memberikan pengalaman penggunaan yang lebih praktis dibandingkan dengan sistem kunci manual. Selain itu, sistem juga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur notifikasi jarak jauh atau integrasi ke sistem Internet of Things (IoT) agar pemilik rumah dapat menerima pemberitahuan secara real-time melalui smartphone saat ada akses mencurigakan.

Pengujian sistem dilakukan dalam berbagai variasi pencahayaan dan posisi wajah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengenalan wajah paling efektif terjadi pada jarak antara 30 hingga 40 cm dengan pencahayaan yang memadai. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Rahmatunnisa (2024), yang melaporkan bahwa tingkat akurasi sistem pengenalan wajah dapat melebihi 90% pada kondisi terang dengan penerapan algoritma Haar Cascade. Sebaliknya, performa sistem mengalami penurunan signifikan dalam kondisi cahaya minim atau ketika wajah tidak berada dalam posisi tegak lurus terhadap kamera. Hal ini juga diperkuat oleh temuan Sutarti dkk. (2022), yang menegaskan bahwa sudut pengambilan gambar dan pencahayaan merupakan faktor penting dalam keberhasilan deteksi wajah menggunakan ESP32.

Berikut ini adalah grafik hasil pengujian yang menggambarkan perbandingan antara kondisi pencahayaan dan tingkat keberhasilan akses:



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem Pengenalan Wajah Kondisi Pencayahan

No	Kondisi Pencayahan	Jarak Wajah ke kamera	Hasil Pengujian	Status Akses
1	Terang	30 cm	Wajah dikenali	Akses diberikan
2	Redup	30 cm	Wajah tidak all	Akses ditolak
3	Sangat Gelap	30 cm	Gagal mengenali l	Akses di tolak
4	Sudut kemiringan 45^	35 cm	Wajah dikenali ian	Akses di tolak

Tabel ini menunjukkan hasil uji sistem ketika mengenali wajah pengguna dalam berbagai situasi. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem berjalan baik ketika cahaya cukup dan wajah menghadap langsung ke kamera. dalam kondisi terang dengan jarak sekitar 30 hingga 40 cm, sistem berhasil mengenali wajah dan membuka pintu secara otomatis. Namun, ketika cahaya redup atau terlalu gelap, sistem tidak bisa mengenali wajah, sehingga akses ditolak. Selain itu, ketika wajah berada dalam posisi miring, meskipun jarak dan cahaya sudah cukup, sistem tetap tidak mampu mengenali wajah dengan baik.

Dari sisi kepraktisan, sistem ini memiliki keunggulan karena telah dilengkapi dengan indikator visual berupa LED dan indikator suara berupa buzzer, yang memudahkan pengguna dalam memahami status autentikasi. Fitur ini menjadikannya lebih informatif dibandingkan dengan sistem sebelumnya yang hanya menampilkan hasil melalui serial monitor.

Sistem ini menunjukkan respons yang cepat, tingkat akurasi yang tinggi dalam kondisi optimal, serta memiliki sifat modular sehingga memungkinkan untuk pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi dengan platform IoT seperti Blynk, Telegram Bot, atau WhatsApp API.

Simpan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem keamanan rumah menggunakan *smart door lock* berbasis teknologi pengenalan wajah dengan mikrokontroler ESP32-CAM telah berhasil dirancang dan dioperasikan secara optimal. Sistem ini mampu mendeteksi wajah pengguna secara efektif pada jarak antara 30 hingga 40 cm dalam kondisi pencahayaan yang baik, serta secara otomatis memberikan akses kepada pengguna yang telah terdaftar. Proses autentikasi berlangsung dengan respons cepat dan akurasi tinggi, dilengkapi dengan indikator visual dan audio melalui LED, layar LCD, serta buzzer untuk memberikan informasi status secara real-time. Uji coba yang dilakukan membuktikan bahwa sistem ini mampu meningkatkan tingkat keamanan dan kenyamanan secara signifikan dibandingkan dengan metode tradisional yang masih menggunakan kunci fisik. Selain itu, rancangan sistem yang bersifat modular memberikan fleksibilitas tinggi untuk dilakukan pengembangan lanjutan sesuai dengan kebutuhan pengguna atau lingkungan penerapannya.

Selanjutnya, penelitian ini masih memiliki ruang untuk dikembangkan lebih lanjut dalam berbagai aspek. Salah satunya adalah peningkatan akurasi sistem dalam kondisi pencahayaan rendah, yang dapat diatasi dengan penambahan modul pencahayaan inframerah (IR LED) atau penggunaan kamera dengan resolusi yang lebih tinggi. Selain itu, sistem juga dapat diintegrasikan dengan berbagai platform Internet of Things (IoT) seperti Blynk, Telegram Bot, atau WhatsApp API untuk memungkinkan pengiriman notifikasi secara real-time kepada pemilik rumah dari jarak jauh. Pengembangan lain yang potensial mencakup penerapan penyimpanan data berbasis cloud maupun server lokal untuk mendukung pencatatan riwayat akses secara otomatis dan berkelanjutan. Aspek keamanan data pun dapat diperkuat dengan menambahkan fitur enkripsi data wajah serta sistem autentikasi dua faktor (2FA) guna meningkatkan perlindungan terhadap akses dan manajemen pengguna.

Daftar Pustaka

- [1] Inilah.Com. (2024). DATA: Tingkat Kriminalitas Di Indonesia, Januari 2023 - April 2024. Retrieved From <https://www.inilah.com/Tingkat-Kriminalitas-Di-Indonesia>
- [2] SECOM. (2023). Pencurian, Kejahatan Paling Banyak Di Indonesia Sampai April 2023. Retrieved From <https://secom.co.id/Pencurian-Kejahatan-Paling-Banyak-Di-Indonesia-Sampai-April-2023/>
- [3] Goodstats. (2023). Ini Jenis Kejahatan Yang Paling Sering Terjadi Di Indonesia, Pencurian Terbanyak. Retrieved From <https://goodstats.id/Article/Ini-Jenis-Kejahatan-Yang-Paling-Sering-Terjadi-Di-Indonesia-Pencurian-Terbanyak-Bmxl>
- [4] Lkomsel. (2025). Smart Door Lock: Fungsi, Fitur, & Harganya. Retrieved From <https://www.telkomsel.com/Jelajah/Jelajah-Lifestyle/Smart-Door-Lock-Fungsi-Fitur-Dan-Harganya>
- [5] Detik. (2025). Smart Door Lock Diklaim Bikin Rumah Jauh Lebih Aman, Benarkah? Retrieved From <https://www.detik.com/Properti/Berita/D-7909643/Smart-Door-Lock-Diklaim-Bikin-Rumah-Jauh-Lebih-Aman-Benarkah>
- [6] Lyrid. (2025). Teknologi Pengenalan Wajah: Cara Kerja, Manfaat, Dan Risiko. Retrieved From <https://lyrid.co.id/Teknologi-Pengenalan-Wajah/>
- [7] CNN Indonesia. (2022). Mengenal Teknologi Face Recognition Di Kasus Pengeroyokan Ade Armando. Retrieved From <https://www.cnnindonesia.com/Teknologi/20220414103831-185->

- [784716/Mengenal-Teknologi-Face-Recognitio](#)
- [8] Logintc. (2024). What Is Biometric Authentication And How Does It Work? Retrieved From <https://www.logintc.com/types-of-authentication/biometric-authentication/>
 - [9] Saylor Academy. (1996). Biometrics: 1. Introduction. Retrieved From <https://learn.saylor.org/mod/book/view.php?chapterid=5630&id=29846>
 - [10] Alxn16. (2024). ESP32-CAM AI Face Detection And RFID Keypad Automatic Door Lock. Github Repository. Retrieved From <https://github.com/Alxn16/ESP32-CAM-AI-Face-Detection-And-RFID-Keypad-Automatic-Door-Lock>
 - [11] Salve, S., Kolhe, T., & Khode, N. (2024). Face Recognition Door Lock System. International Journal Of Creative Research Thoughts (IJCRT), 12(12), G317-G319.
 - [12] Circuit Digest. (2022). ESP32-CAM Face Recognition Door Lock System. Retrieved From <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/esp32-cam-face-recognition-door-lock-system>
 - [13] Easy Electronics Project. (2020). ESP32CAM Face Recognition Door Lock System. Retrieved From <https://easyelectronicproject.com/esp32-projects/esp32cam-face-recognition-lock/>
 - [14] Universitas Telkom. (2019). Sistem Keamanan Pintu Rumah Menggunakan Face Recognition. Retrieved From <https://repository.telkomuniversity.ac.id/pustaka/156065/sistem-keamanan-pintu-rumah-menggunakan-face-recognition.html>
 - [15] Susilo, R. A., Et Al. (2024). Design And Build A Smart Door Lock Using Face Recognition. Atlantis Press.
 - [16] Rahmatunnisa, E. N. (2024). Implementasi Sistem Keamanan Rumah Berbasis Pengenalan Wajah Untuk Peningkatan Keamanan Residensial. Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi, 7(1), 205-215.
 - [17] Rahmatunnisa, E. N. (2024). Implementasi Sistem Keamanan Rumah Berbasis Pengenalan Wajah Untuk Peningkatan Keamanan Residensial. Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi, 7(1), 205-215.
 - [18] Sutarti, Siswanto, & Jutika, A. P. (2022). Implementasi Face Recognition Berbasis Haar-Cascade Classifier Pada Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Dual-Camera. INFOTECH Journal, 8(2), 106-107.
 - [19] Identity Management Institute. (2025). Biometric Authentication Security Analysis. Retrieved From <https://identitymanagementinstitute.org/biometric-authentication-security-analysis/>
 - [20] Ping Identity. (2024). What Is Biometric Authentication? Methods & Security Features. Retrieved From <https://www.pingidentity.com/en/resources/blog/post/biometric-authentication.html>
 - [21] Okta. (2024). Biometrics: Secure Authentication In The Modern Age. Retrieved From <https://www.okta.com/identity-101/biometrics-secure-authentication/>
 - [22] Keepnet Labs. (2025). Biometric Security Pros And Cons In Cyber Protection. Retrieved From <https://keepnetl>
 - [23] Schneider Electric. (2024). What Is Smart Home Automation And How Does It Work? Retrieved From <https://www.se.com/in/en/work/campaign/local/what-is-home-automation.jsp>
 - [24] Techtarget. (2023). What Is A Smart Home? Everything You Need To Know. Retrieved From <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-home-or-building>
 - [25] Verihubs. (2023). Facial Recognition Security Untuk Menunjang Sistem Keamanan. Retrieved From <https://verihubs.com/blog/facial-recognition-securit>