

Perancangan Sistem Pengamanan Pintu Lemari Arsip Berbasis Pengenalan Wajah Menggunakan Esp32-Cam dan Faceapi.Js

Riskhan Hadid ^{a,1*}, Busran Busran ^{b,2}, Minarni Minarni ^{b,3}, Indra Warman ^{b,4}, Putri Mandarani ^{b,5}

^{a,b} Teknik Informatika, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Jl. Kandis Raya, Kp. Olo, Kec. Nanggalo, Kota Padang, Sumatera Barat 25173, Indonesia

¹ riskhanhadid@gmail.com *; ² busran.nofit@gmail.com; ³ minarni1706@gmail.com; ⁴ indrawmn@gmail.com; ⁵ pmandarani2@gmail.com

* Korespondensi penulis

Submission:07/08/2025, Revision: 26/09/2025, Accepted: 26/09/2025

Abstract

A facial recognition-based security system for filing cabinets using ESP32-CAM and the face-api.js library is designed as a modern solution to enhance the security of storing important documents in office or organizational environments. This system utilizes facial recognition technology as a biometric authentication method, offering greater reliability compared to conventional systems. The ESP32-CAM serves as the device that captures users' facial images in real-time and transmits them to a web interface for further processing. Facial detection and feature extraction are performed using the face-api.js library, built on top of TensorFlow.js, leveraging deep learning techniques based on Convolutional Neural Networks (CNN). The models employed include TinyFaceDetector for face detection, faceLandmark68Net for determining facial landmark points, and faceRecognitionNet for generating a 128-dimensional face descriptor. Registered facial data is stored in a web-based database, allowing significantly greater storage capacity compared to local storage in the ESP32-CAM's memory. Verification is conducted by comparing the detected face descriptor against stored data using the FaceMatcher algorithm with a threshold of 0.6. Testing results indicate that the system can accurately recognize faces under adequate lighting conditions, although performance decreases under low-light intensity. This integration of hardware and software provides a more efficient and modern security solution.

Keywords: Face Recognition, Face-API.js, ESP32-CAM, CNN, Security System

Abstrak

Sistem pengamanan lemari arsip berbasis pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM dan library face-api.js dirancang sebagai solusi modern untuk meningkatkan keamanan penyimpanan dokumen penting di lingkungan kantor atau organisasi. Sistem ini memanfaatkan teknologi pengenalan wajah sebagai metode autentikasi biometrik yang lebih andal dibandingkan sistem konvensional. ESP32-CAM berperan sebagai perangkat yang menangkap gambar wajah pengguna secara real-time, kemudian mengirimkannya ke antarmuka web untuk diproses lebih lanjut. Proses deteksi dan ekstraksi fitur wajah dilakukan menggunakan library face-api.js yang dibangun di atas TensorFlow.js, dengan penerapan metode deep learning berbasis Convolutional Neural Network (CNN). Model yang digunakan meliputi TinyFaceDetector untuk deteksi wajah, faceLandmark68Net untuk penentuan titik fitur wajah, dan faceRecognitionNet untuk menghasilkan face descriptor berdimensi 128. Data wajah yang telah terdaftar disimpan dalam database web, memungkinkan kapasitas penyimpanan lebih besar dibandingkan penyimpanan lokal di memori ESP32-CAM. Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan face descriptor hasil deteksi terhadap data yang tersimpan menggunakan algoritma FaceMatcher dengan threshold 0.6. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengenali wajah secara akurat dalam kondisi pencahayaan cukup, meskipun mengalami penurunan kinerja pada intensitas cahaya rendah. Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak ini memberikan solusi keamanan yang lebih efisien dan modern.

Kata kunci: Pengenalan Wajah, Face-API.js, ESP32-CAM, CNN, Sistem Keamanan.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.



1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi telah mendorong berbagai inovasi dalam sistem keamanan, termasuk dalam pengamanan arsip atau dokumen penting yang disimpan dalam lemari khusus. Lemari arsip sering kali menyimpan data-data krusial seperti dokumen hukum, administratif, hingga data organisasi yang bersifat rahasia. Oleh karena itu, sistem keamanan lemari arsip harus mampu menjamin hanya pengguna yang berwenang yang dapat mengakses isinya[1]. Kebutuhan akan sistem yang lebih aman ini mendorong adopsi teknologi otomatis, sebagaimana terbukti dalam berbagai penelitian mengenai *smart door lock* yang menggunakan mikrokontroler untuk meningkatkan keandalan sistem keamanan. Temuan ini menjadi landasan penting untuk mengatasi kelemahan sistem konvensional, yaitu metode penguncian yang masih mengandalkan kunci fisik, kombinasi angka, maupun QR code. Sistem konvensional tersebut pada umumnya tidak dilengkapi kamera maupun verifikasi biometrik, sehingga rentan terhadap pencurian, penggandaan, maupun penyalahgunaan ketika kunci atau kode jatuh ke tangan yang salah. Oleh karena itu, penelitian ini membatasi fokus pada pengembangan sistem pengamanan berbasis pengenalan wajah sebagai alternatif autentikasi biometrik, yang dinilai lebih aman dibandingkan pendekatan konvensional tanpa dukungan kamera maupun fitur verifikasi biometrik.

Sayangnya, metode konvensional seperti penggunaan kunci fisik, kombinasi angka, atau QR code masih rentan terhadap pencurian, penggandaan, dan penyalahgunaan, sebagaimana dijelaskan dalam penelitian yang menggunakan QR code sebagai autentikasi pada sistem keamanan lemari arsip, di mana kode tersebut dapat disalahgunakan jika jatuh ke tangan yang salah[1]. Permasalahan ini menunjukkan pentingnya inovasi teknologi keamanan yang tidak hanya praktis tetapi juga memiliki tingkat perlindungan yang tinggi[2]. Oleh karena itu, teknologi biometrik, khususnya pengenalan wajah (*face recognition*), semakin diminati sebagai solusi autentikasi karena tidak hanya mengatasi kelemahan sistem konvensional tetapi juga memiliki keunggulan dalam hal keunikan, kemudahan penggunaan, dan kecepatan proses verifikasi[3]. Relevansi teknologi ini semakin kuat mengingat telah banyak diterapkan dalam berbagai sistem keamanan, mulai dari kontrol akses hingga sistem absensi[4], [5].

Teknologi pengenalan wajah berbasis CNN telah banyak diteliti dan terbukti memiliki performa tinggi dalam identifikasi visual. Sunardi et al. tahun 2022 dalam penelitiannya merancang sistem keamanan ruangan menggunakan CNN yang diimplementasikan pada perangkat Raspberry Pi, dan berhasil mencapai akurasi 100% dalam pengenalan wajah menggunakan dataset sebanyak 875 citra wajah. Begitu pula Syafruddin Syarif et al. tahun 2023 menerapkan CNN untuk membuka smart locker dengan proses pencocokan wajah yang ditangkap kamera dengan data wajah yang tersimpan. Penelitian ini menunjukkan bagaimana CNN bekerja efektif untuk mengenali pola unik dari setiap wajah manusia. Selain itu, dalam konteks pendidikan, Bimo Akbar Fadli et al. tahun 2023 menggabungkan teknologi *face recognition* berbasis CNN dengan geolokasi menggunakan face-api.js untuk menciptakan sistem absensi yang efisien dan modern.

Penerapan pengenalan wajah juga telah diintegrasikan dengan perangkat keras hemat daya seperti ESP32-CAM. Evindina Putra Lumbanraja et al. tahun 2023 merancang sistem keamanan brankas dengan metode face recognition berbasis ESP32-CAM yang dilengkapi dengan aplikasi Blynk untuk notifikasi real-time. Sementara Ipanhar et al. tahun 2022 merancang sistem monitoring pintu otomatis berbasis IoT dengan ESP32-CAM, yang menggabungkan *face recognition* dan kontrol aplikasi seluler sebagai fitur ganda dalam sistem keamanan rumah. Hal ini menunjukkan bahwa ESP32-CAM merupakan perangkat yang sangat mendukung pengembangan sistem keamanan berbasis biometrik karena ukurannya yang kecil, hemat daya, dan mendukung komunikasi real-time[6], [7], [8], [9]. ESP32-CAM dipilih karena ukurannya yang kecil, hemat daya, dan mendukung komunikasi *real-time*. Dibandingkan Raspberry Pi yang lebih boros daya dan Arduino standar yang tidak memiliki kamera bawaan, ESP32-CAM lebih praktis karena sudah terintegrasi dengan kamera dan Wi-Fi dalam satu modul.

Namun, keterbatasan komputasi lokal pada ESP32-CAM membuatnya kurang optimal jika digunakan untuk menjalankan algoritma deteksi wajah kompleks secara langsung. Untuk mengatasi hal tersebut dan menjaga privasi data pribadi pengguna[10], digunakan FaceAPI.js, pustaka JavaScript yang memungkinkan proses deteksi dan pengenalan wajah dijalankan sepenuhnya di sisi klien melalui browser web. Dengan pendekatan ini, beban pemrosesan pada server dapat dikurangi dan sistem menjadi lebih efisien[11], [12]. FaceAPI.js mengimplementasikan CNN berbasis TensorFlow.js, yaitu framework machine learning berbasis JavaScript yang memungkinkan eksekusi model langsung di browser tanpa server pusat[13]. Model ini telah dilatih sebelumnya untuk mengenali wajah berdasarkan fitur karakteristik unik yang disebut face descriptor, dan pencocokan dilakukan menggunakan metode euclidean distance [14].

Keberhasilan pendekatan ini didukung oleh fakta bahwa wajah merupakan fitur unik setiap individu, dengan struktur yang berbeda-beda seperti jarak antar mata, bentuk rahang, hingga kontur hidung, sehingga dapat dijadikan sebagai identitas biometrik yang andal[15]. Dalam penelitian ini, keunikan wajah dimanfaatkan sebagai dasar sistem identifikasi. Sistem yang dikembangkan menggunakan ESP32-CAM sebagai alat

pengambil citra wajah, yang kemudian dikirim ke browser untuk diproses melalui FaceAPI.js. Citra wajah tersebut diekstraksi menjadi face descriptor dan dibandingkan dengan database wajah yang tersimpan menggunakan pengukuran euclidean distance. Karena setiap wajah memiliki pola yang unik, perbandingan ini mampu mengidentifikasi kesesuaian antara wajah yang terdeteksi dan pengguna terdaftar. Jika kecocokan memenuhi ambang batas tertentu, maka solenoid lock akan diaktifkan untuk membuka kunci pintu lemari arsip secara otomatis.

Dengan menggabungkan keunggulan perangkat ESP32-CAM dan library face-api.js berbasis CNN, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengamanan pintu lemari arsip berbasis pengenalan wajah, yang lebih aman, efisien, dan andal dibandingkan sistem konvensional. Penelitian ini tidak hanya menjawab tantangan keamanan arsip yang selama ini bergantung pada metode tradisional, tetapi juga menunjukkan potensi integrasi biometrik dalam meningkatkan keamanan fisik dokumen penting.

2. Metode Penelitian

FACEAPI.JS

face-api.js adalah modul JavaScript berbasis Jaringan Saraf Tiruan Konvolusional (CNN) yang dibangun di atas TensorFlow.js Core, menyediakan kemampuan deteksi wajah, pengenalan wajah, dan analisis ekspresi wajah secara efisien dalam aplikasi web tanpa memerlukan server backend.

Komponen Utama face-api.js:

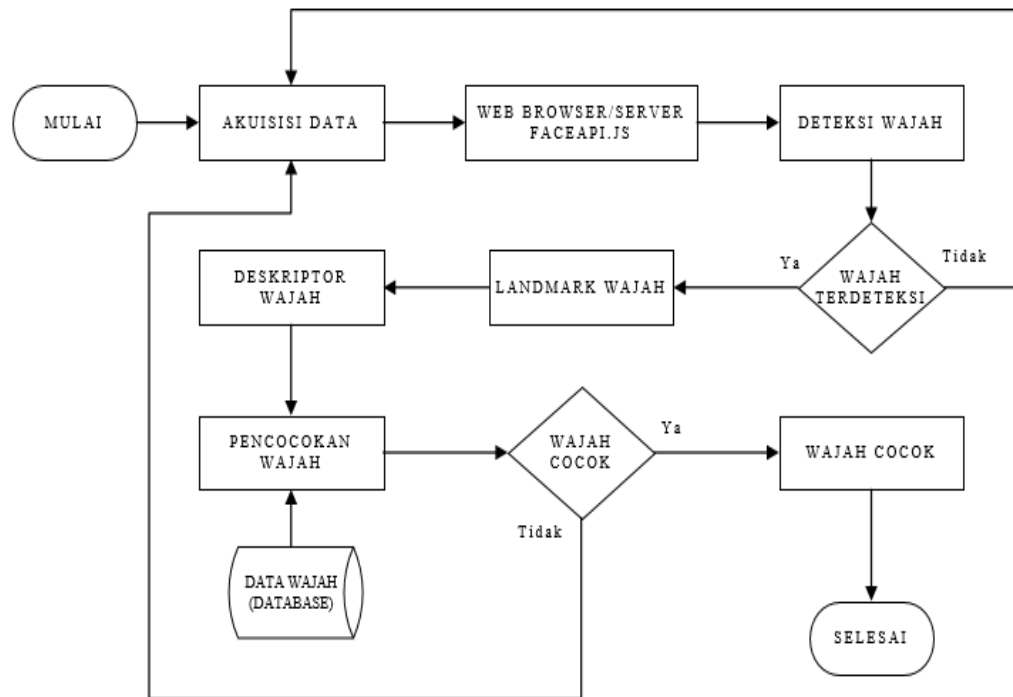
- 1 TinyFaceDetector - Model deteksi wajah cepat dengan ukuran kecil yang mendeteksi wajah dalam citra atau video dan memberikan bounding box lokasi wajah, cocok untuk aplikasi real-time seperti absensi berbasis wajah.
- 2 FaceLandmark68Net - Mendeteksi 68 titik landmark pada wajah manusia mencakup mata, hidung, mulut, dan kontur wajah, berguna untuk pelacakan gerakan wajah, analisis ekspresi, animasi wajah virtual, dan efek augmented reality (AR).
- 3 FaceRecognitionNet - Menghasilkan face descriptor berupa vektor fitur unik 128 dimensi yang merepresentasikan karakteristik wajah, digunakan untuk verifikasi dan identifikasi wajah akurat dalam sistem autentikasi biometrik.
- 4 FaceMatcher - Kelas yang melakukan pencocokan antara wajah terdeteksi dengan data wajah dalam database menggunakan perhitungan jarak Euclidean. Semakin kecil nilai jarak, semakin tinggi kemungkinan kedua wajah berasal dari orang yang sama.

$$d = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + \dots + (a_n - b_n)^2} \quad (1)$$

Pada persamaan (1), d merupakan nilai jarak Euclidean yang mengukur perbedaan antara dua vektor deskriptor wajah, a_1 dan b_1 adalah elemen-elemen dari dua vektor deskriptor wajah yang dibandingkan, dan n adalah jumlah dimensi vektor fitur (128 dimensi dalam FaceRecognitionNet).

Rumus tersebut menghitung jarak antara vektor fitur wajah dari kamera ESP32-CAM dan vektor wajah tersimpan dalam database. Nilai jarak mencerminkan tingkat kemiripan wajah semakin kecil nilai jarak, semakin tinggi kemiripannya. Nilai dibandingkan dengan threshold yang telah ditentukan jika lebih kecil dari threshold, wajah dianggap cocok dan dikenali oleh sistem.

Pada Gambar 1 menggambarkan alur proses pengenalan wajah berbasis face-api.js yang digunakan dalam sistem keamanan menggunakan kamera ESP32-CAM.



Gambar 1 Diagram Block

Proses dimulai dari akuisisi data, yaitu pengambilan gambar wajah menggunakan kamera ESP32-CAM. Gambar ini dikirim ke web browser/server yang menjalankan library face-api.js untuk melakukan deteksi wajah. Jika wajah berhasil terdeteksi, sistem mengekstraksi landmark wajah, yaitu titik-titik penting pada wajah, untuk menghasilkan deskriptor wajah dalam bentuk vektor. Deskriptor wajah ini kemudian dibandingkan dengan data wajah yang tersimpan dalam database melalui proses pencocokan wajah menggunakan persamaan (1). Jika hasil pencocokan menunjukkan kecocokan, maka wajah dikenali sebagai wajah yang valid dan sistem melanjutkan ke proses akhir. Namun, jika tidak cocok, sistem akan kembali mengulang dari tahap akuisisi data untuk mencoba Kembali.

1. Akuisisi data

Tahap pertama dalam sistem pengenalan wajah adalah akuisisi data, yaitu proses penerimaan gambar wajah dari perangkat kamera. Dalam sistem ini, sumber data berasal dari ESP32-CAM, sebuah modul kamera berbasis mikrokontroler yang mengirimkan video stream secara real-time ke browser. Gambar yang diterima dimuat ke dalam elemen HTML `` atau `<video>` dengan ID stream. Format gambar yang digunakan adalah RGB, yang merupakan format standar dalam pemrosesan citra di lingkungan browser, sehingga tidak diperlukan konversi warna tambahan yang dapat memperlambat proses. Akuisisi data ini menjadi dasar bagi seluruh proses selanjutnya, karena kualitas dan kecepatan penerimaan gambar sangat memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.

2. Deteksi Wajah

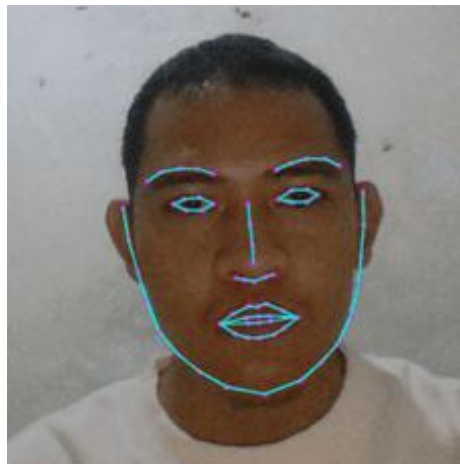
Setelah data gambar berhasil diterima, proses selanjutnya adalah deteksi wajah, yaitu tahap untuk mengidentifikasi keberadaan serta menentukan lokasi wajah yang terdapat dalam gambar tersebut. Deteksi ini dilakukan menggunakan fungsi `faceapi.detectSingleFace()` dari library `face-api.js` yang mengintegrasikan model `TinyFaceDetector`, sebuah Convolutional Neural Network (CNN) yang dirancang secara khusus agar memiliki ukuran ringan dan efisien sehingga cocok digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pemrosesan secara real-time, terutama pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti ESP32-CAM. Dalam proses deteksi, gambar yang berasal dari ESP32-CAM dengan resolusi awal 320×240 piksel diubah ukurannya menjadi 160×160 piksel agar sesuai dengan dimensi input optimal dari model `TinyFaceDetector`, di mana parameter `inputSize` diatur pada nilai 160. Hasil dari proses ini berupa kotak pembatas (bounding box) yang menandai posisi wajah dalam gambar, menjadi dasar untuk tahap-tahap selanjutnya dalam sistem pengenalan wajah.



Gambar 2 Hasil Deteksi Wajah

3. Landmark Wajah

Setelah wajah terdeteksi, sistem melanjutkan ke proses ekstraksi landmark wajah menggunakan metode `.withFaceLandmarks()`. Landmark wajah adalah kumpulan titik-titik fitur penting pada wajah. Sistem menggunakan model `faceLandmark68Net` yang mampu menghasilkan 68 titik landmark, memberikan detail geometri wajah yang tinggi. Titik-titik ini digunakan untuk menyelaraskan (*align*) posisi wajah agar tetap konsisten meskipun terdapat perubahan sudut pandang (*angle* kiri, kanan, atas, bawah). Proses penyelarasan ini sangat penting karena memastikan bahwa fitur wajah diekstraksi dalam orientasi yang seragam, sehingga meningkatkan akurasi pada tahap ekstraksi deskriptor. Visualisasi landmark ditampilkan sebagai overlay pada elemen `<canvas>` menggunakan fungsi `faceapi.draw.drawFaceLandmarks(canvas, resizedDetections)`.



Gambar 3 Hasil Landmark Wajah

4. Deskriptor Wajah

Tahap ini merupakan inti dari proses pengenalan wajah, yaitu pembuatan deskriptor wajah (*face descriptor*). Deskriptor wajah berupa vektor fitur numerik berdimensi 128 yang dihasilkan oleh model `faceRecognitionNet`. Vektor tersebut merupakan representasi matematis dari karakteristik unik setiap wajah, seperti jarak antar mata, bentuk hidung, kontur rahang, dan struktur tulang pipi. Setiap individu memiliki vektor deskriptor yang berbeda, sehingga sering disebut sebagai "sidik jari digital" wajah. Proses ekstraksi deskriptor dilakukan setelah wajah diselaraskan berdasarkan landmark, sehingga menghasilkan vektor yang lebih akurat dan konsisten. Deskriptor ini kemudian digunakan untuk membandingkan wajah yang terdeteksi dengan data wajah yang telah tersimpan dalam database.

5. Pencocokan Wajah

Pencocokan wajah dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) yaitu Euclidean distance. `FaceMatcher` merupakan kelas yang bertugas melakukan pencocokan antara wajah yang terdeteksi dengan data wajah yang tersimpan di database. Prosesnya menggunakan perhitungan jarak Euclidean untuk menentukan kesamaan identitas. Semakin kecil nilai jarak Euclidean, semakin tinggi kemungkinan bahwa kedua wajah berasal dari orang yang sama

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi, sistem pengamanan pintu lemari arsip berbasis pengenalan wajah telah berhasil direalisasikan dalam bentuk perangkat keras dan perangkat lunak. Gambar menunjukkan wujud alat sistem yang telah dirancang dalam penelitian ini. Alat ini terdiri dari modul ESP32-CAM sebagai pusat pengambilan gambar wajah, solenoid sebagai aktuator pengunci dan pembuka pintu, serta relay sebagai saklar elektronik yang menghubungkan atau memutuskan arus listrik ke solenoid.

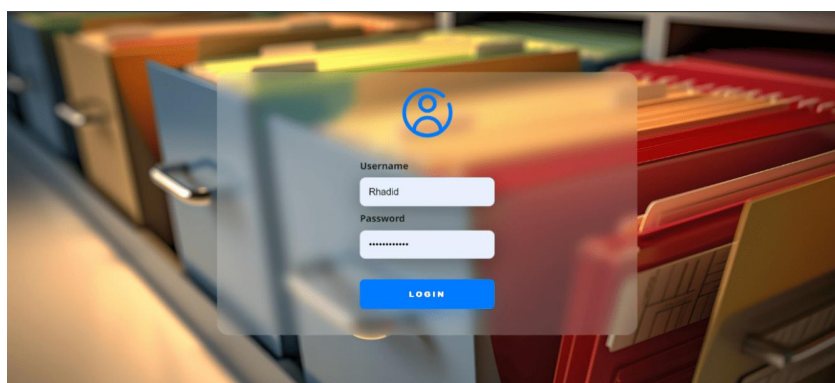
Sistem juga dilengkapi dengan sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya di sekitar alat. Jika pencahayaan tidak mencukupi, lampu senter pada ESP32-CAM akan dinyalakan otomatis guna meningkatkan kualitas citra wajah yang ditangkap. Seluruh komponen dirangkai dalam sebuah kotak brankas yang memudahkan pemasangan dan penggunaan dalam lingkungan nyata.

Selain perangkat keras, sistem ini juga menyediakan antarmuka berbasis web yang divisualisasikan melalui beberapa gambar tampilan halaman, yaitu Dashboard, Tambah *User*, *User*, dan Data Logger. Gambar-gambar tersebut menyajikan informasi mengenai:

1. bagaimana pengguna dapat menambahkan data wajah baru melalui halaman Tambah *User*,
2. bagaimana daftar pengguna terdaftar ditampilkan dan dikelola pada halaman *User*.
3. bagaimana riwayat aktivitas terekam dan dapat diakses pada halaman Data Logger.

1. Halaman *Login*

Halaman *login* merupakan tampilan awal yang muncul ketika pengguna mengakses situs web. Pengguna hanya perlu memasukkan nama pengguna (*username*) dan kata sandi (*password*) yang telah terdaftar dalam basis data untuk dapat mengakses sistem tersebut.



Gambar 4 Halaman Login

2. Halaman Dashboard

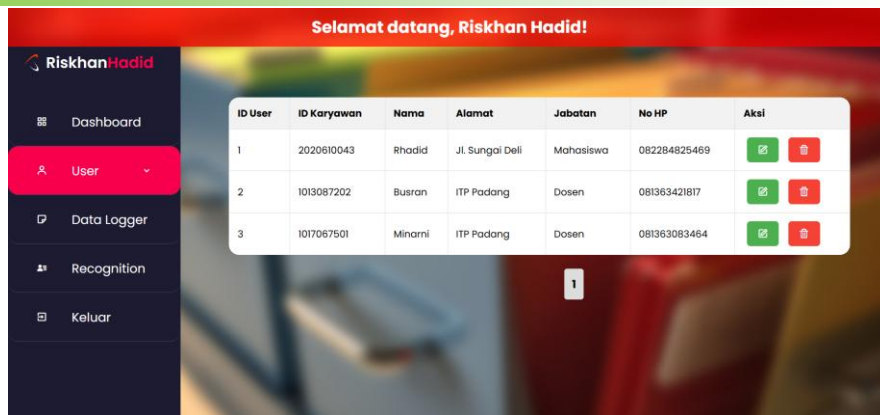
Halaman dashboard merupakan halaman utama yang ditampilkan setelah pengguna berhasil menyelesaikan proses *login*. Halaman ini dirancang sebagai pintu masuk utama bagi pengguna untuk memulai interaksi dengan berbagai fitur dan fungsi yang tersedia dalam sistem.



Gambar 5 Halaman Dashboard

3. Halaman *User*

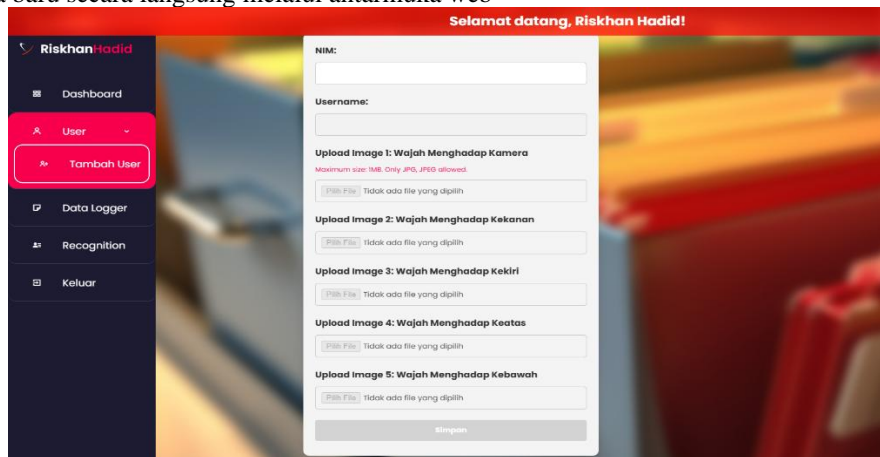
Halaman user merupakan halaman yang digunakan untuk menampilkan data pengguna yang telah terdaftar dalam sistem. Data yang ditampilkan meliputi *id_user*, *id_karyawan*, dan *username*. Selain itu, halaman ini juga dilengkapi dengan tombol aksi yang memungkinkan administrator untuk langsung melakukan pengeditan atau penghapusan data pengguna melalui antarmuka web.



Gambar 6 Tampilan Halaman User

4. Halaman Tambah User

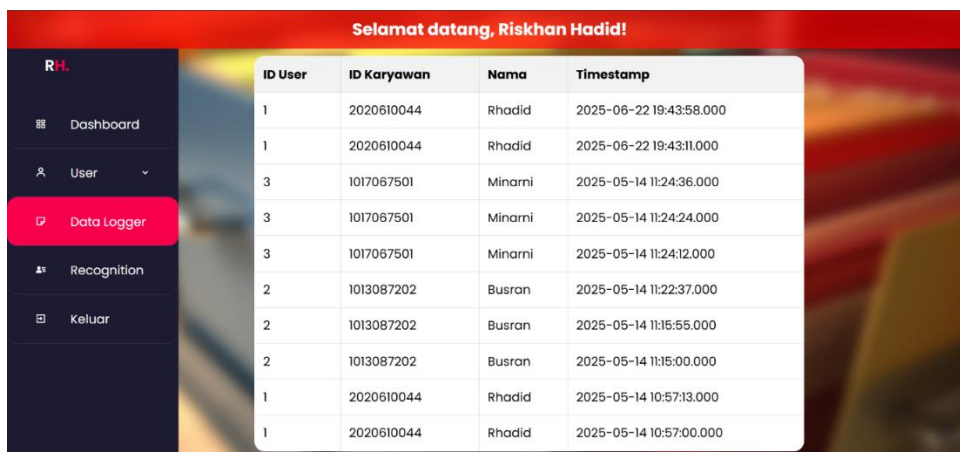
Halaman tambah user adalah halaman yang digunakan untuk menambahkan data pengguna baru ke dalam sistem. Data yang perlu diinput meliputi id_karyawan, username, dan pengunggahan gambar (image) sebanyak 5 file. Halaman ini memungkinkan administrator untuk mengisi informasi yang diperlukan dan menyimpan data pengguna baru secara langsung melalui antarmuka web



Gambar 7 Tambah User

5. Halaman Datalogger

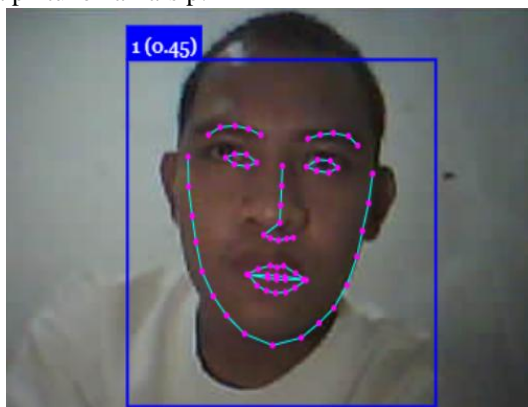
Halaman data logger adalah halaman yang menampilkan catatan aktivitas sistem, mencakup detail seperti id_log, id_user, id_karyawan, username, dan timestamp. Halaman ini juga memungkinkan administrator untuk memantau serta mengelola riwayat aktivitas pengguna secara efisien melalui antarmuka web.



Gambar 8 Halaman Data Logger

Pada Gambar 9 terlihat hasil deteksi wajah yang ditandai dengan kotak pembatas (*bounding box*) biru. Label di pojok kotak menampilkan ID pengguna serta nilai confidence (0.45), yang menunjukkan tingkat kemiripan wajah dengan data pada database—semakin kecil nilainya, semakin tinggi kemiripannya.

Titik-titik (*landmark points*) pada area mata, hidung, mulut, dan kontur wajah berfungsi sebagai penanda fitur penting untuk proses ekstraksi *face descriptor*. Jika wajah tidak terdeteksi, maka kotak maupun titik-titik tersebut tidak muncul. Sebaliknya, jika terdeteksi, sistem menampilkan bounding box, ID, confidence, serta landmark points, lalu melakukan pencocokan dengan database. Jika sesuai, wajah dikenali sebagai pengguna sah dan solenoid akan membuka pintu lemari arsip.



Gambar 9 Tampilan Wajah Terdeteksi dan Dikenali

Pada Gambar 10 ditunjukkan hasil realisasi rancangan sistem pengamanan pintu lemari arsip dalam bentuk perangkat nyata. Kotak brankas yang ditampilkan telah dirangkai dengan modul ESP32-CAM, sensor cahaya BH1750, relay, dan solenoid lock sebagai komponen utama. Ukuran perangkat relatif kecil dan ringkas sehingga mudah ditempatkan di berbagai lingkungan kerja. Selain itu, penggunaan ESP32-CAM membuat sistem ini hemat daya, karena modul tersebut hanya membutuhkan konsumsi listrik rendah untuk menjalankan fungsi pengambilan gambar, pengolahan data, dan komunikasi secara *real-time*.



Gambar 10 Alat Sistem

3.2. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan alat dapat berfungsi dengan semestinya, terutama dalam mendeteksi dan mengenali wajah pengguna pada berbagai kondisi pencahayaan dan jarak. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi wajah menghadap ke kamera. Pengujian mencakup tiga skenario utama: kondisi cahaya gelap ($Lux < 50$), remang-remang ($50 \leq Lux < 200$), dan normal/terang ($Lux \geq 200$), serta pengujian pada beberapa jarak objek terhadap kamera, yaitu 10 cm, 30 cm, 60 cm, dan 90 cm. Hasil pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh intensitas cahaya dan jarak terhadap akurasi deteksi dan pengenalan wajah oleh *system*.

Tabel 1 Pengujian Deteksi Wajah pada Kondisi Cahaya Gelap Berdasarkan Jarak

Uji Coba Ke-	Kondisi Gelap Lux < 50			
	Jarak Objek (cm)			
	10	30	60	90
1	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
2	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
3	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
4	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
5	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
6	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
7	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
8	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
9	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
10	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi

Berdasarkan Tabel 1, pada kondisi pencahayaan gelap (lux < 50), sistem tidak dapat mendeteksi wajah pada jarak 10 cm karena citra terlalu dekat dan tidak terbentuk secara proporsional, serta pada jarak 90 cm karena citra terlalu jauh dan detail wajah berkurang. Sebaliknya, pada jarak 30 cm dan 60 cm wajah dapat terdeteksi dengan baik. Hal ini dipengaruhi oleh bantuan lampu flash ESP32-CAM yang mampu meningkatkan intensitas cahaya sehingga citra wajah lebih jelas tertangkap. Hasil ini menunjukkan bahwa deteksi wajah sangat bergantung pada intensitas cahaya yang cukup, dukungan lampu flash, serta jarak pengambilan yang sesuai.

Tabel 2 Pengujian Deteksi Wajah pada Kondisi Cahaya Remang Berdasarkan Jarak

Uji Coba Ke-	Kondisi Normal Lux >=50 dan <200			
	Jarak Objek (cm)			
	10	30	60	90
1	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
2	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
3	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
4	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
5	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
6	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
7	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
8	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
9	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
10	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi

Berdasarkan Tabel 2, Hasil pengujian deteksi wajah pada kondisi cahaya normal (lux ≥ 200) menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi wajah pada jarak 30 cm dan 60 cm di seluruh percobaan, namun gagal mendeteksi pada jarak 10 cm dan 90 cm. Kegagalan pada jarak 10 cm disebabkan posisi objek terlalu dekat dengan kamera sehingga citra tidak terbentuk secara proporsional. Sementara itu, pada jarak 90 cm kegagalan terjadi karena objek terlalu jauh sehingga detail wajah sulit dikenali meskipun pencahayaan mencukupi. Hasil ini menegaskan bahwa selain pencahayaan, faktor jarak pengambilan citra juga sangat berpengaruh terhadap akurasi deteksi wajah.

Tabel 3 Pengujian Deteksi Wajah pada Kondisi Cahaya Normal Berdasarkan Jarak

Uji Coba Ke-	Kondisi Normal Lux >=200			
	Jarak Objek (cm)			
	10	30	60	90
1	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
2	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
3	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
4	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
5	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
6	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
7	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
8	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
9	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
10	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengujian deteksi wajah pada kondisi cahaya normal (lux > 200), sistem mampu mendeteksi wajah pada jarak 30 cm dan 60 cm dalam semua percobaan. Pada jarak 10 cm, sistem tidak dapat mendeteksi wajah karena objek berada terlalu dekat dengan sensor kamera. Pada jarak 90 cm, wajah juga tidak terdeteksi meskipun cahaya dalam kondisi normal. Kegagalan ini disebabkan oleh jarak yang terlalu jauh

sehingga detail wajah menjadi tidak dapat dikenali oleh sistem. Hasil ini membuktikan bahwa meskipun intensitas cahaya sudah mencukupi, faktor jarak tetap menjadi parameter penting dalam keberhasilan proses deteksi dan mengenali wajah.

3.3. Analisis Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian sistem pengamanan pintu lemari arsip berbasis pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM dan face-api.js, sistem telah berhasil mendeteksi dan mengenali wajah pengguna untuk membuka lemari arsip. Pengujian dilakukan dalam berbagai kondisi pencahayaan dan jarak guna mengevaluasi kinerja sistem secara menyeluruh. Dalam kondisi cahaya gelap ($Lux < 50$), sistem tidak mampu mendeteksi wajah pada semua jarak uji. Pada kondisi cahaya remang-remang ($50 \leq Lux < 200$), sistem berhasil mendeteksi wajah hanya pada jarak 30 cm dan 60 cm, sedangkan pada jarak 10 cm dan 90 cm, wajah tidak terdeteksi. Dalam kondisi cahaya normal/terang ($Lux \geq 200$), sistem tetap hanya mampu mendeteksi wajah pada jarak 30 cm dan 60 cm, sedangkan pada jarak 10 cm dan 90 cm gagal terdeteksi. Gagalnya deteksi pada jarak 10 cm disebabkan oleh objek yang terlalu dekat sehingga menyebabkan distorsi visual, sedangkan pada jarak 90 cm, objek terlalu jauh dan keterbatasan resolusi kamera ESP32-CAM. Berdasarkan 10 kali percobaan, tingkat keberhasilan pengenalan wajah mencapai 100% untuk jarak 30 cm dan 60 cm pada kondisi cahaya remang-remang dan normal, sedangkan pada jarak 10 cm dan 90 cm wajah tidak terdeteksi karena keterbatasan teknis. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan wajah pengguna sah dengan orang asing secara cukup akurat. Sistem juga berhasil mengaktifkan solenoid untuk membuka pintu lemari arsip ketika wajah dikenali, tanpa hambatan berarti. Meskipun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan, terutama dalam kondisi pencahayaan rendah dan jarak yang terlalu dekat atau jauh.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem pengamanan pintu lemari arsip berbasis pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM dan face-api.js, dapat disimpulkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan mengenali wajah pengguna untuk membuka pintu lemari arsip secara otomatis. Pengujian dilakukan dalam beberapa jarak objek terhadap kamera, yaitu 10 cm, 30 cm, 60 cm, dan 90 cm. Sistem menunjukkan performa terbaik pada jarak 30 cm hingga 60 cm, di mana seluruh percobaan berhasil mendeteksi dan mengenali wajah dengan akurat.

Pada jarak 10 cm, sistem tidak dapat mendeteksi wajah karena objek terlalu dekat dengan sensor kamera, sehingga menyebabkan distorsi visual yang mengganggu proses deteksi. Di sisi lain, pada jarak 90 cm, sistem juga gagal mendeteksi wajah meskipun pencahayaan dalam kondisi normal. Hal ini disebabkan objek terlalu jauh dan keterbatasan resolusi kamera ESP32-CAM, sehingga fitur wajah menjadi tidak cukup jelas untuk dikenali.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jarak objek terhadap kamera merupakan faktor penting dalam keberhasilan deteksi dan pengenalan wajah. Jarak ideal antara 30–60 cm memberikan hasil yang paling stabil dan akurat. Algoritma pengenalan wajah yang digunakan telah mampu membedakan wajah yang terdaftar dengan yang tidak terdaftar dengan baik.

5. Daftar Pustaka

- [1] Darismon, "PEMANFAATAN NODEMCU ESP8266 SEBAGAI KOMUNIKASI PENGAKSESAN DATA WEB SERVER PADA STUDI KASUS SISTEM PENGAMANAN PINTU LEMARI ARSIP BERBASIS QR CODE," *J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret 201*, vol. 2, no. 1, pp. 41–49, 2020.
- [2] Tri Linda Sofiyana and Akhlis Munazilin, "Pembuatan Prototype Smart Door Lock Menggunakan Rfid (Radio Frequency Identification) Dan Mikrokontroler Arduino," *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 2, no. 4, pp. 1753–1760, 2022, doi: 10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i4.5149.
- [3] M. Syafruddin Syarif, Merna Baharuddin, "Penerapan Metode Convolutional Neural Network dalam Klasifikasi Bahasa Isyarat," *MDP Student Conf.*, vol. 2, no. 1, pp. 244–249, 2023, doi: 10.35957/mdp-sc.v2i1.4221.
- [4] B. A. Fadli and E. Winarno, "Pengenalan Wajah Dengan Face-API.js Berbasis CNN dan Geolokasi Menggunakan Equirectangular Approximation," *Progresif J. Ilm. Komput.*, vol. 19, no. 2, p. 935, 2023, doi: 10.35889/progresif.v19i2.1398.
- [5] F. Rizal, R. Putri, and H. M. Yusdartono, "Rancang Bangun Sistem Presensi Mahasiswa Berbasis Iot Dengan Kamera Dan Barcode," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, pp. 1–6, 2024, doi: 10.30596/rele.v7i1.18878.
- [6] V. V. Septyanlie, V. Ikawati, E. Subiyanta, and N. Lestari, "Face Recognition-Based Door Lock Security System Using TensorFlow Lite," *J. Electr. Eng. Comput.*, vol. 6, no. 2, pp. 402–409, 2024, doi: 10.33650/jeeecom.v6i2.9557.

- [7] E. P. Lumbanraja, S. Saniman, and T. Tugiono, "Sistem Monitoring Keamanan Brankas Menggunakan Face Recognition Berbasis Mikrokontroler ESP32-CAM," *J. Sist. Komput. Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, vol. 2, no. 3, pp. 169–176, 2023, doi: 10.53513/jursik.v2i3.6560.
- [8] E. Octavia, R. Dijaya, A. Eviyanti, and N. L. Azizah, "Rancangan Bangun Sistem Keamanan Rumah Kost Berbasis IoT dengan ESP32-Cam," *Indones. J. Appl. Technol.*, vol. 1, no. 3, p. 16, 2024, doi: 10.47134/ijat.v1i3.3073.
- [9] A. Ipanhar, T. K. Wijaya, and P. Gunoto, "PERANCANGAN SISTEM MONITORING PINTU OTOMATIS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ESP32-CAM," *Sigma Tek.*, vol. 5, no. 2, pp. 333–350, 2022.
- [10] L. B. Adrianto, M. I. Wahyuddin, and W. Winarsih, "Implementasi Deep Learning untuk Sistem Keamanan Data Pribadi Menggunakan Pengenalan Wajah dengan Metode Eigenface Berbasis Android," *J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 5, no. 1, pp. 89–96, 2021, doi: 10.35870/jtik.v5i1.201.
- [11] M. Sholawati, K. Auliasari, and F. Ariwibisono, "Pengembangan Aplikasi Pengenalan Bahasa Isyarat Abjad Sibi Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (Cnn)," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 6, no. 1, pp. 134–144, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i1.4507.
- [12] V. Mühle, "face-api.js: Antarmuka JS untuk pengenalan wajah di browser," juejin. Accessed: Aug. 10, 2020. [Online]. Available: <https://juejin.cn/post/6844903639430135816>
- [13] M. Basurah, W. Swastika, and O. H. Kelana, "JIP (Jurnal Informatika Polinema) IMPLEMENTATION OF FACE RECOGNITION AND LIVENESS DETECTION SYSTEM USING TENSORFLOW.JS," pp. 509–516, 2019.
- [14] Sunardi, A. Fadlil, and D. Prayogi, "Sistem Pengenalan Wajah pada Keamanan Ruangan Berbasis Convolutional Neural Network," *J. Sains Komput. Inform. (J-SAKTI)*, vol. 6, no. 2, pp. 636–647, 2022.
- [15] D. R. Nova Hendri Kurniawan, A. Sjamsjiar Rachman, "PENGENALAN WAJAH UNTUK SISTEM PENGAMAN RUMAH MENGGUNAKAN METODE EIGENFACE FACE RECOGNITION FOR HOME SAFETY SYSTEM USING EIGENFACE METHOD Nova," *Eesti NSV Tead. Akad. Toim. Keemia. Geologia*, vol. 23, no. 4, p. 307, 2021, doi: 10.3176/chem.geol.1974.4.04.