

Prototipe Sistem Keamanan Bandara Berdasarkan Data Citra Wajah

^{1,*}Benaya Yoyada, ²Muhammad Luqman Bukhori, ³Edi Sofyan

^{1,*} Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
21021383@students.sttkd.ac.id

² Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
m.luqman@sttkd.ac.id

³ Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
edy.sofyan@sttkd.ac.id

Article history:

Received February 6, 2026

Revised July 6, 2026

Accepted July 8, 2026

Abstract

This study presents the development and performance evaluation of an airport security gate prototype based on facial recognition technology to enhance verification efficiency and minimize human error in passenger identity checks. The proposed system utilizes Raspberry Pi 4 as the main embedded controller, integrated with a USB camera for image acquisition, MTCNN (Multi-Task Cascaded Convolutional Networks) for robust face detection, FaceNet pretrained model for deep feature extraction, and Support Vector Machine (SVM) for identity classification. Output components include an I2C LCD module for real-time status display and a servo motor for automated gate access control. Experimental testing was conducted on five enrolled individuals with a dataset of 700 facial images (224×224 pixels) captured under varying lighting conditions. Results demonstrated recognition accuracy of 96–98% under optimal lighting conditions (108 lux) with an average response time of 5–7 seconds. However, system performance significantly degraded under low illumination (37 lux) and non-frontal face positions, indicating environmental sensitivity. The closed-loop architecture with common ground implementation ensured stable stand-alone operation. This prototype offers a low-cost, automated alternative to conventional manual verification systems, though further development is required to enhance robustness in diverse environmental conditions and enable real-time enrollment capabilities.

Keywords: airport security, face recognition, Raspberry Pi, MTCNN, FaceNet, SVM, biometric system, smart gate

Pendahuluan

Peningkatan volume penumpang bandara yang signifikan menuntut efisiensi dalam sistem keamanan dan verifikasi identitas. Sistem keamanan konvensional masih banyak mengandalkan pemeriksaan manual yang rentan terhadap human error, pemalsuan identitas, dan waktu tunggu yang lama [1]. Kajian sistem keamanan di Security Check Point (SCP) Bandar Udara Internasional Minangkabau menunjukkan bahwa proses verifikasi manual memerlukan waktu cukup lama dan rentan terhadap kesalahan petugas [2]. Otomatisasi proses verifikasi menjadi solusi penting untuk mengatasi keterbatasan tersebut, sejalan dengan perkembangan smart airport yang berfokus pada digitalisasi layanan melalui penerapan autogate, self check-in, dan sistem keamanan biometrik yang terbukti meningkatkan kepuasan pelanggan [3].

Teknologi biometrik berbasis pengenalan wajah (face recognition) menawarkan metode verifikasi non-kontak yang efisien dan akurat. Berbeda dengan sistem biometrik lain, pengenalan wajah memungkinkan identifikasi dari jarak tertentu tanpa kontak fisik, sehingga lebih higienis dan praktis untuk arus penumpang yang tinggi [4]. Wajah manusia mengandung informasi karakteristik unik pada mata, hidung, dan mulut yang dapat diekstraksi menggunakan metodologi teknik pengolahan citra. Perkembangan deep learning telah meningkatkan akurasi sistem pengenalan wajah melalui arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) yang mampu mengekstraksi fitur kompleks dari citra wajah dengan tingkat akurasi tinggi dalam berbagai kondisi [5]. Penerapan teknologi ini telah diimplementasikan dalam berbagai sektor termasuk aplikasi akademik online untuk keperluan absensi dan verifikasi identitas mahasiswa [6].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengimplementasikan sistem keamanan berbasis pengenalan wajah menggunakan berbagai platform. Penggunaan WebCam sebagai sensor visual dalam sistem

keamanan ruangan telah teruji efektif untuk deteksi gerak dan identifikasi dengan integrasi yang sederhana [7]. Implementasi face recognition menggunakan Raspberry Pi untuk pemantauan akses masuk dan keluar asrama menunjukkan kemampuan platform embedded dalam menjalankan algoritma pengenalan wajah secara real-time dengan konsumsi daya yang efisien [8]. Namun demikian, untuk aplikasi yang menuntut pemrosesan frame rate tinggi dengan beban komputasi berat, penggunaan Jetson Nano dengan GPU embedded telah terbukti mampu memberikan performa superior (11.4 FPS) dibandingkan Raspberry Pi 4 (8.1 FPS) dalam implementasi sistem deteksi menggunakan framework TensorFlow dan Keras [13]. Meskipun demikian, Raspberry Pi 4 dipilih sebagai platform dalam penelitian ini karena keseimbangan antara kemampuan komputasi yang memadai untuk menjalankan model deep learning ringan, ketersediaan modul perangkat keras, serta efisiensi biaya untuk prototipe sistem keamanan bandara.

Sistem Internet of Things (IoT) untuk kendali perangkat elektronik seperti AC otomatis menggunakan modul LCD berbasis I2C telah terbukti efektif dalam mengintegrasikan komponen display dengan mikrokontroler melalui penggunaan pin GPIO yang efisien [9]. Analisis sistem pengenalan objek berbasis edge-assisted menunjukkan bahwa penggunaan model pretrained pada perangkat edge seperti Raspberry Pi dapat mengurangi latensi dan beban komputasi cloud sambil mempertahankan akurasi yang memadai [10]. Penggunaan framework deep learning seperti TensorFlow telah terbukti efektif dalam implementasi computer vision real-time pada perangkat embedded, memungkinkan pemrosesan citra wajah dengan latensi minimal [13].

Dibandingkan dengan metode tradisional seperti Fisherface yang lebih sensitif terhadap variasi cahaya dan posisi wajah [11], pendekatan deep learning dengan FaceNet memberikan hasil yang lebih robust. Karakteristik fitur visual wajah yang dipengaruhi oleh kecerahan, kontras, warna, bentuk, dan tekstur menjadi pertimbangan penting dalam perancangan sistem pengenalan wajah [12]. Arsitektur CNN seperti MobileNetV2 menawarkan efisiensi komputasi yang tinggi untuk aplikasi deteksi objek pada perangkat dengan sumber daya terbatas, yang dapat diimplementasikan melalui library Python seperti OpenCV dan TensorFlow [13].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan prototipe sistem keamanan bandara berbasis pengenalan wajah menggunakan Raspberry Pi 4 sebagai pusat pemrosesan. Sistem ini mengintegrasikan MTCNN untuk deteksi wajah yang lebih robust, FaceNet untuk ekstraksi fitur mendalam, dan SVM untuk klasifikasi identitas, dengan mekanisme kontrol akses otomatis menggunakan servo motor dan tampilan informasi real-time melalui LCD berbasis I2C.

Metode Penelitian

Sistem dirancang dengan arsitektur closed-loop yang terdiri dari unit input, pemrosesan, dan output. Raspberry Pi 4 Model B berfungsi sebagai pengendali utama dengan sistem operasi berbasis Linux. Unit input menggunakan kamera USB untuk menangkap citra wajah pengguna, mengikuti metodologi akuisisi gambar langsung yang umum digunakan dalam sistem pengenalan wajah [4]. Unit output terdiri dari motor servo SG90 yang dikendalikan melalui pin GPIO 18 dengan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) dengan frekuensi 50Hz untuk mekanisme buka-tutup pintu, dan modul LCD 20×4 dengan antarmuka I2C yang terhubung ke GPIO 2 (SDA) dan GPIO 3 (SCL) untuk menampilkan informasi status pengenalan.

Integrasi perangkat keras dengan mikrokontroler direalisasikan melalui pemetaan pin GPIO yang terstruktur seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Konfigurasi ini memastikan stabilitas komunikasi data dan daya antar komponen dengan penerapan common ground untuk menghindari interferensi sinyal.

Tabel 1. Konfigurai pin GPIO Raspberry Pi

NO	PIN / PORT	FUNGSI UTAMA	PERANGKAT
1	GPIO18	Kontrol PWM servo	Servo
2	GND	Ground	Servo & LCD
3	5V	Catu daya 5V	Servo & LCD
4	GPIO2 (SDA)	Data I2C	LCD I2C
5	GPIO3 (SCL)	Clock I2C	LCD I2C
6	USB	Input video	Webcam
7	USB-C	Sumber daya	Power Bank

Tahapan pemrosesan citra dimulai dengan deteksi wajah menggunakan MTCNN (Multi-Task Cascaded Convolutional Networks) yang mampu mendeteksi wajah dengan tingkat akurasi tinggi meskipun terdapat variasi posisi dan pencahayaan. Citra wajah yang terdeteksi kemudian diproses menggunakan model FaceNet pretrained untuk menghasilkan embedding berdimensi 128 yang merepresentasikan fitur unik setiap individu, memanfaatkan kekuatan deep learning untuk ekstraksi fitur yang robust [10]. Proses klasifikasi identitas dilakukan menggunakan algoritma Support Vector Machine (SVM) dengan kernel linear. Pendekatan ini dipilih karena efisiensinya dalam klasifikasi multi-kelas pada dataset dengan dimensi tinggi hasil ekstraksi FaceNet, berbeda dengan metode tradisional seperti Fisherface yang lebih sensitif terhadap variasi cahaya [11].

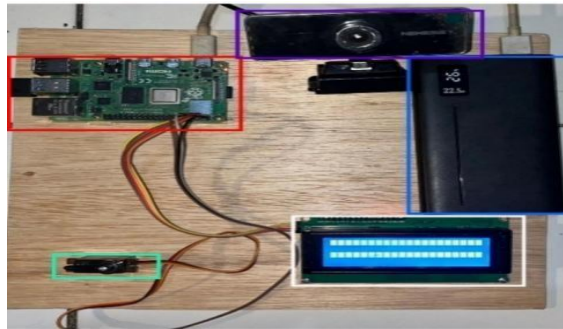
Pengumpulan data dilakukan terhadap lima individu dengan variasi kondisi pencahayaan terang (108 lux) dan redup (37 lux) sesuai dengan karakteristik fitur visual wajah yang dipengaruhi kecerahan, kontras, dan tekstur [12], menghasilkan 700 citra wajah (140 citra per individu) dengan resolusi 224×224 piksel. Dataset dibagi untuk pelatihan model SVM dan pengujian sistem. Gambar berikut mengilustrasikan contoh dataset wajah yang digunakan dalam penelitian ini dengan variasi kondisi pencahayaan untuk meningkatkan robustness model.

**Gambar 1. Dataset wajah yang dilatih pencahayaan terang dan pencahayaan gelap**

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan Python dengan pustaka OpenCV untuk pengolahan citra, TensorFlow/Keras untuk implementasi FaceNet, dan Scikit-learn untuk klasifikasi SVM. Sistem dirancang untuk beroperasi secara real-time dengan frame rate stabil 30 fps.

Hasil dan Pembahasan

Implementasi sistem menunjukkan integrasi yang stabil antara perangkat keras dan perangkat lunak. Konfigurasi fisik prototipe menempatkan kamera USB pada posisi frontal untuk menangkap citra wajah optimal, Raspberry Pi di pusat chassis, dengan motor servo terintegrasi pada mekanisme pintu akses. Implementasi fisik dari rancangan sistem ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Desain fisik prototipe sistem

Sistem mampu beroperasi secara mandiri (stand-alone) tanpa ketergantungan pada komputer eksternal setelah proses inisialisasi. Pengujian akurasi pengenalan wajah menunjukkan performa tinggi pada kondisi pencahayaan optimal (108 lux) dengan tingkat keberhasilan 96–98% untuk kelima subjek yang terdaftar dalam database. Hasil pengujian deteksi wajah dan respon sistem pada kondisi pencahayaan optimal disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian sistem pada kondisi optimal

No	Subjek	Akurasi (%)	Servo	Keterangan
1	Benaya	98	Terbuka	Wajah dikenali
2	Ekal	98	Terbuka	Wajah dikenali
3	Lusi	97	Terbuka	Wajah dikenali
4	Paldi	98	Terbuka	Wajah dikenali
5	Hafizh	97	Terbuka	Wajah dikenali
6	Tidak dikenal	44	Tertutup	Wajah tidak dikenali
7	Tidak dikenal	37	Tertutup	Wajah tidak dikenali

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem berhasil membedakan identitas yang terdaftar dengan yang tidak terdaftar. Subjek yang tidak dikenali menunjukkan akurasi klasifikasi rendah (37-60%), yang secara otomatis ditolak oleh sistem dengan menutup akses pintu, menunjukkan kemampuan sistem dalam mencegah akses tidak sah.

Waktu respons rata-rata sistem dari proses deteksi hingga aktivasi servo motor untuk membuka pintu adalah 5–7 detik, dengan durasi pintu terbuka selama 5 detik sebelum menutup kembali secara otomatis. Detail waktu respons sistem untuk setiap siklus verifikasi tercatat sebagai berikut.

Tabel 3. Waktu respons sistem

No	Nama	Akurasi (%)	Servo Buka	Servo Tutup	Durasi (S)
1	Benaya	98.4	19:00:45	19:00:50	6.8
2	Ekal	95.7	19:01:19	19:01:24	5.8
3	Lusi	97.1	19:02:05	19:02:10	7.0
4	Paldi	96.3	19:02:26	19:02:32	7.9
5	Hafizh	96.7	19:03:06	19:03:11	6.3

LCD menampilkan informasi nama pengguna, persentase akurasi, dan waktu deteksi secara real-time, memberikan feedback langsung kepada pengguna mengenai status verifikasi. Modul LCD menampilkan informasi status verifikasi seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



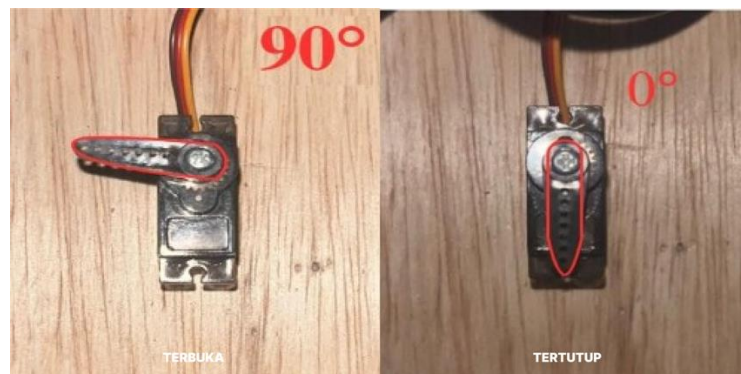
Gambar 3. Tampilan LCD wajah dikenali dan wajah tidak dikenali

Namun demikian, pengujian pada kondisi pencahayaan rendah (37 lux) dan posisi wajah non-frontal menunjukkan penurunan performa yang signifikan. Akurasi deteksi menurun drastis ketika pencahayaan tidak merata atau wajah menghadap sudut miring terhadap kamera, sejalan dengan karakteristik sistem pengenalan wajah yang sensitif terhadap kualitas citra input [12]. Analisis menunjukkan bahwa pada kondisi minim cahaya, fitur wajah seperti kontur dan tekstur menjadi tidak jelas, menyebabkan MTCNN gagal mendeteksi landmark wajah dengan akurat. Pengujian pada kondisi non-ideal memberikan hasil sebagai berikut.



Gambar 4. Pengujian pada pencahayaan minim dan posisi wajah miring

Analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa keunggulan sistem terletak pada kemampuan otomatisasi penuh tanpa intervensi manual, sehingga mengurangi beban kerja petugas keamanan dan meminimalkan faktor subjektivitas dalam verifikasi identitas [1][2]. Penggunaan model pretrained FaceNet memungkinkan implementasi yang lebih efisien dibandingkan pelatihan CNN dari awal, mengingat keterbatasan sumber daya komputasi pada Raspberry Pi [10]. Respon mekanik sistem berupa gerakan servo ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 5. Posisi servo motor terbuka dan tertutup

Keterbatasan utama sistem meliputi sensitivitas terhadap variasi pencahayaan dan posisi wajah, serta belum adanya mekanisme enrollment data wajah baru melalui antarmuka pengguna. Performa sistem juga diprediksi akan menurun seiring bertambahnya jumlah data wajah dalam database karena keterbatasan memori 4GB dan kapasitas prosesor Raspberry Pi 4 [8]. Waktu respons rata-rata 5–7 detik masih relatif lama dibandingkan sistem komersial berbasis FPGA atau GPU, namun tetap dapat diterima untuk aplikasi keamanan bandara dengan arus penumpang sedang hingga tinggi. Dibandingkan dengan metode tradisional seperti Fisherface yang sensitif terhadap cahaya [11], sistem ini memberikan konsistensi akurasi lebih baik pada kondisi optimal meskipun memerlukan peningkatan pada kondisi cahaya rendah.

Berdasarkan hasil pengujian, prototipe ini membuktikan konsep kelayakan penggunaan teknologi pengenalan wajah berbasis embedded system untuk aplikasi keamanan bandara. Pengembangan selanjutnya disarankan untuk menambahkan sistem pencahayaan tambahan (LED infrared), sensor jarak untuk aktivasi kamera agar sistem hanya aktif ketika ada objek dalam rentang tertentu, dan upgrade hardware ke Raspberry Pi 5 atau NVIDIA Jetson Nano untuk peningkatan kecepatan pemrosesan [10]. Perluasan dataset dengan variasi ekspresi wajah dan sudut pengambilan gambar juga direkomendasikan untuk meningkatkan robustness sistem dalam kondisi operasional nyata bandara.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa: (1) Prototipe sistem keamanan bandara berbasis pengenalan wajah menggunakan Raspberry Pi 4, MTCNN, FaceNet, dan SVM berhasil diimplementasikan dengan akurasi pengenalan 96–98% pada kondisi pencahayaan optimal (108 lux) dan waktu respons 5–7 detik; (2) Sistem efektif dalam mengotomatisasi verifikasi identitas dan mencegah akses tidak sah namun memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan robustness terhadap variasi pencahayaan dan sudut wajah, serta penambahan fitur enrollment data baru untuk aplikasi praktis di bandara.

Daftar Pustaka

- [1] Abdulmajeed, S. W., & Moosa, A. A. 2023. Improvement Airport Security System with Face Recognition Using Neural Network Based on the Arduino Uno Microcontroller. *Journal of Al-Farabi For Engineering Sciences*, Vol. 2, Issue 1.
- [2] Novita, D., Arnas, Y., Supriyadi, A. 2020. KAJIAN SISTEM KEAMANAN DI SECURITY CHECK POINT (SCP) 2 BANDAR UDARA INTERNASIONAL MINANGKABAU PADANG. *Langit Biru: Jurnal Ilmiah Aviasi*, 13(1), 105-116. <https://journal.ppicurug.ac.id/index.php/jurnal-ilmiah-aviasi/article/view/118/109>
- [3] Fadhiil, M., Jayadita, F., Rabbani, M. T., Dewa Adinata, A., & Sihombing, S. 2023. Analisis Pengaruh Autogate, Self Check-In dan Sistem Keamanan terhadap Kepuasan pelanggan. *Jurnal Siber Transportasi dan Logistik*, 1(3), 143-153. <https://doi.org/10.38035/jstl.v1i3>
- [4] Sapitri, I. 2023. *APLIKASI IDENTIFIKASI WAJAH ATHLETE PACU JALUR BERBASIS FACE RECOGNITION*. Skripsi. PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA, FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS ISLAM KUANTAN SINGINGI.
- [5] Sunardi, Fadlil A., & Prayogi, D. 2022. Sistem Pengenalan Wajah pada Keamanan Ruangan Berbasis Convolutional Neural Network. *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, Vol. 6, Issue 2.
- [6] Utomo, B. T., Fitri, I., & Mardiani, E. 2020. PENERAPAN FACE RECOGNITION PADA APLIKASI AKADEMIK ONLINE. *Informatik Jurnal Ilmu Komputer*, 16(3). <https://doi.org/10.52958/iftk.v16i3.2259>
- [7] Enal Wahyud, A., & Ilyas, W. 2023. PERANCANGAN SISTEM KEAMANAN RUMAH DENGAN DETEKSI GERAK MENGGUNAKAN WEBCAM. *Advances in Computer System Innovation Journal*, Vol. 1, Issue 1.
- [8] Waworundeng, J., Suwu, R.R.I. 2023. Implementation of Face Recognition in People Monitoring Access In-and-Out of Crystal Dormitory Universitas Klabat. *Cogito Smart Journal*, 9(1), 156–170. <https://doi.org/10.31154/cogito.v9i1.500.156-170>
- [9] Natsir, M., Bayu Rendra, D., & Derby Yudha Anggara, A. 2019. IMPLEMENTASI IOT UNTUK SISTEM KENDALI AC OTOMATIS PADA RUANG KELAS DI UNIVERSITAS SERANG RAYA. *Jurnal Prosisko*, 6(1).

- [10] Galanopoulos, A., Valls, V., Iosifidis, G., & Leith, D. J. 2020. *Measurement-driven Analysis of an Edge-Assisted Object Recognition System*. <http://arxiv.org/abs/2003.03584>
- [11] Alwendi, & Masriadi. 2021. APLIKASI PENGENALAN WAJAH MANUSIA PADA CITRA MENGGUNAKAN METODE FISHERFACE. *JURNAL DIGIT*, 11(1), 1-8.
- [12] Yuwono, B., Florestiyanto, M. Y., Sania, Y. I., Ashrianto, P. D. 2019. *Face & facial expressions recognition*. LPPM UPN Veteran Yogyakarta.
- [13] Bukhori, M. L., & Prasetyo, E. E. 2023. Jetson Nano-Based Mask Detection System with TensorFlow Deep Learning Framework. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 12(1), 15-21. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v12i1.5472>