**Jurnal Qua Teknika, Vol. 16 No. 1 Maret 2026**
**ISSN 2088-2424 (cetak); ISSN 2527-3892 (elektronik)**
**Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar**
**Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;**
**Email: quateknika@gmail.com**

**Audrey Berlian Noormalasari[1)], Sri Widoretno[2)], Ahmad Yufron[3)]**
**SISTEM KUNCI PINTU OTOMATIS BERBASIS RASPBERRRY PI 4B DENGAN METODE IMAGE RECOGNITION UNTUK PENGENALAN WAJAH MENGGUNAKAN OPENCV**
**Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (1): 95-105**

# SISTEM KUNCI PINTU OTOMATIS BERBASIS RASPBERRY PI 4B DENGAN METODE IMAGE RECOGNITION UNTUK PENGENALAN WAJAH MENGGUNAKAN *OPENCV*

**Audrey Berlian Noormalasari[1], Sri Widoretno[2], Ahmad Yufron[3]**
[123] Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Islam Balitar
JL. Imam Bonjol No. 16, Jl. Majapahit No.2- 4, Sananwetan, Kec. Sananwetan, Kota Blitar, Jawa Timur 66137
noormalasari25@gmail.com[1] audreyberlian03@gmai.com[1]

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kunci pintu otomatis berbasis face recognition menggunakan *Raspberry Pi 4* dan library *OpenCV.* Sistem ini dirancang untuk meningkatkan keamanan rumah dengan memanfaatkan teknologi biometrik yang hanya memberikan akses kepada individu yang telah terverifikasi melalui pengenalan wajah. Penelitian ini merupakan pengembangan dari sistem sebelumnya yang menggunakan ESP32-CAM, yang memiliki keterbatasan dalam hal performa komputasi dan kestabilan pengolahan citra. Dengan menggunakan *Raspberry Pi* 4 dan kamera *Pi Cam* V3, sistem mampu melakukan deteksi dan pengenalan wajah secara real-time dengan kualitas citra yang lebih baik dan kecepatan pemrosesan yang lebih tinggi. Tahapan utama penelitian meliputi akuisisi citra, *preprocessing* citra*, face encoding*, serta pengenalan wajah. *Output* dari sistem ini mengendalikan *solenoid door lock* sebagai aktuator pintu otomatis. Selain itu, sistem dilengkapi dengan integrasi *bot* Telegram yang memungkinkan kontrol pintu dan pengiriman notifikasi status secara jarak jauh dan *real-time* melalui perangkat seluler. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali wajah pengguna terdaftar dengan tingkat akurasi tinggi serta menolak wajah yang tidak dikenali. Dengan memanfaatkan kemampuan komputasi *Raspberry Pi 4,* pustaka *OpenCV*, dan fitur komunikasi Telegram, sistem ini memberikan solusi keamanan rumah yang cerdas, modern, dan efektif.

**Kata Kunci : *face recognition*, *Raspberry Pi* 4, Pi *Cam Module, OpenCV*, kunci pintu otomatis.**

## ABSTRACT

This research aims to develop a facial recognition-based automatic door lock system using Raspberry Pi 4 and the OpenCV library. This system is designed to improve home security by utilizing biometric technology that only grants access to individuals who have been verified through facial recognition. This research is an improvement on the previous system that used ESP32-CAM, which had limitations in terms of computing performance and image processing stability. By using Raspberry Pi 4 and Pi Cam V3 camera, the system is capable of real-time face detection and recognition with better image quality and higher processing speed. The main research stages include image acquisition, image preprocessing, face coding, and facial recognition. The output of this system controls the solenoid door lock as an automatic door actuator. In addition, the system is equipped with a Telegram integration bot that allows remote and real-time door control and sending notification status via mobile devices. Test results show that the system is able to recognize registered users' faces with a high level of accuracy and reject unrecognized faces. By leveraging the computing power of Raspberry Pi 4, the OpenCV library, and Telegram's communication features, this system provides a smart, modern, and effective home security solution.

**Keywords : *face recognition*, *Raspberry Pi* 4, Pi *Cam Module, OpenCV*, *automatic door look.***

## PENDAHULUAN

Dalam era modern, keamanan rumah menjadi salah satu kebutuhan utama masyarakat. Tingginya angka kriminalitas mendorong pemilik rumah untuk mencari solusi yang lebih efektif dalam melindungi huniannya. Pintu, sebagai pertahanan pertama, sering kali menjadi target utama bagi pelaku kriminal. Meski kunci konvensional banyak digunakan, kelemahan seperti kehilangan kunci, duplikasi, atau kelalaian penghuni kerap dimanfaatkan oleh pihak tidak bertanggung jawab. Perkembangan teknologi kemudian melahirkan sistem keamanan digital, seperti kunci berbasis kartu RFID, biometrik sidik jari, maupun sensor suara. Namun, sistem-sistem tersebut masih dapat dimanipulasi atau mengalami kerusakan sehingga belum sepenuhnya optimal.[1], [2], [3]

**Jurnal Qua Teknika, Vol. 16 No. 1 Maret 2026**
**ISSN 2088-2424 (cetak); ISSN 2527-3892 (elektronik)**
**Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar**
**Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;**
**Email: quateknika@gmail.com**

**Audrey Berlian Noormalasari[1)], Sri Widoretno[2)], Ahmad Yufron[3)]**
**SISTEM KUNCI PINTU OTOMATIS BERBASIS RASPBERRRY PI 4B DENGAN METODE IMAGE RECOGNITION UNTUK PENGENALAN WAJAH MENGGUNAKAN OPENCV**
**Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (1): 95-105**

Kemajuan teknologi memberikan peluang besar untuk mengembangkan sistem keamanan rumah yang lebih modern dan efisien. Salah satu inovasi yang banyak dikaji adalah *smart lock* berbasis *face recognition*. Teknologi ini memanfaatkan kecerdasan buatan dan pengolahan citra digital untuk mengenali identitas seseorang melalui wajah, yang dianggap lebih aman karena sulit dipalsukan dan tidak membutuhkan kontak fisik. *Face recognition* juga dinilai lebih higienis dan praktis dibandingkan metode berbasis kunci fisik, password, atau kartu akses.

Raspberry Pi 4, sebagai perangkat mini komputer berdaya rendah namun berkinerja tinggi, mendukung pengembangan sistem smart lock berbasis *face recognition*. Dengan dukungan *library* OpenCV, perangkat ini mampu melakukan deteksi dan pengenalan wajah secara *real-time*. Penggunaan Raspberry Pi membuat sistem menjadi lebih fleksibel, terjangkau, dan dapat diimplementasikan pada skala rumah tangga. Sistem ini bekerja dengan beberapa tahap, mulai dari pendaftaran wajah, pendeteksian, pengenalan, hingga otomatisasi kunci pintu dengan *solenoid door lock*.[4], [5]

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi smart lock berbasis face recognition menggunakan Raspberry Pi 4 dan *OpenCV.* Tujuan utamanya adalah menganalisis efektivitas dan efisiensi sistem dalam meningkatkan keamanan rumah, sekaligus mengevaluasi tingkat akurasi pengenalan wajah. Selain itu, penelitian ini membandingkan performa sistem dengan metode kunci konvensional untuk melihat sejauh mana teknologi ini dapat menjadi solusi yang lebih unggul.

Untuk menjaga fokus penelitian, sistem dibatasi pada penggunaan Raspberry Pi 4 dengan modul kamera, metode HOG pada *OpenCV* tanpa algoritma *deep learning*, serta fungsi utama membuka dan menutup pintu otomatis. Dengan batasan ini, penelitian tetap terarah dan dapat memberikan gambaran nyata tentang kemampuan sistem berbasis *embedded*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem keamanan rumah yang lebih cerdas, efisien, dan mudah diimplementasikan.[6]

Manfaat penelitian ini tidak hanya meningkatkan pemahaman tentang pentingnya keamanan rumah dengan memanfaatkan teknologi modern, tetapi juga menjadi pijakan bagi pengembangan lebih lanjut. Dengan adanya sistem ini, hanya pengguna terdaftar yang dapat mengakses rumah, sehingga risiko kejahatan berkurang. Selain itu, penelitian ini memperkaya kajian tentang pemanfaatan teknologi *embedded system* untuk mendukung penerapan smart home di masa depan.

## METODELOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan tujuan merancang dan menguji prototipe kunci pintu otomatis berbasis *face recognition*. Sistem dikembangkan dengan Raspberry Pi 4B sebagai pengendali utama yang terhubung dengan modul kamera untuk menangkap citra wajah. Proses autentikasi dilakukan menggunakan pustaka *OpenCV* melalui metode *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) untuk deteksi dan pengenalan wajah secara *real-time.* Hasil pengenalan kemudian dihubungkan dengan *solenoid door lock* sebagai aktuator, sehingga pintu akan terbuka apabila wajah sesuai dengan data yang terdaftar, dan tetap terkunci jika wajah tidak dikenali.

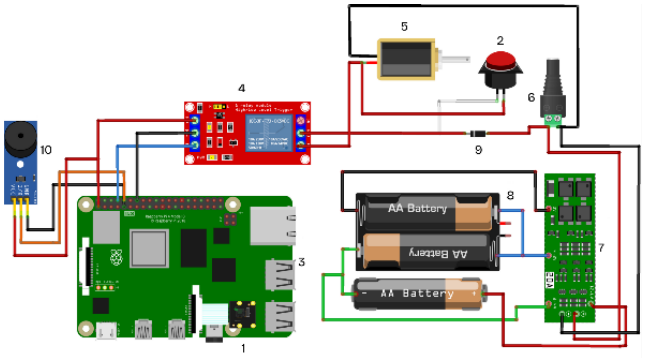
Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi proses perancangan, serta pengujian sistem secara langsung. Sampel penelitian melibatkan 30 responden dengan variasi usia, ekspresi, kondisi pencahayaan, dan sudut wajah, di mana setiap responden menyumbangkan beberapa citra wajah untuk melatih dan menguji sistem. Evaluasi kinerja dilakukan dengan menilai akurasi pengenalan, kecepatan respon sistem dari deteksi hingga pembukaan pintu, serta keandalan dalam kondisi lingkungan yang berbeda, termasuk saat pengguna menggunakan aksesori seperti masker atau kacamata.[7]

Untuk meningkatkan efektivitas, penelitian ini juga menambahkan uji integrasi sistem notifikasi melalui aplikasi Telegram dan pengendalian pintu otomatis. Dengan demikian, analisis tidak hanya difokuskan pada tingkat akurasi pengenalan wajah, tetapi juga pada aspek kepraktisan dan efisiensi penggunaan, sehingga hasil penelitian dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem keamanan rumah berbasis teknologi cerdas yang lebih modern dan terjangkau.

Berikut ini adalah skema rangkaian dari sistem "Kunci Kunci Pintu Otomatis dengan Face Recognition Berbasis Raspberry Pi 4 Menggunakan *Library Opencv*":

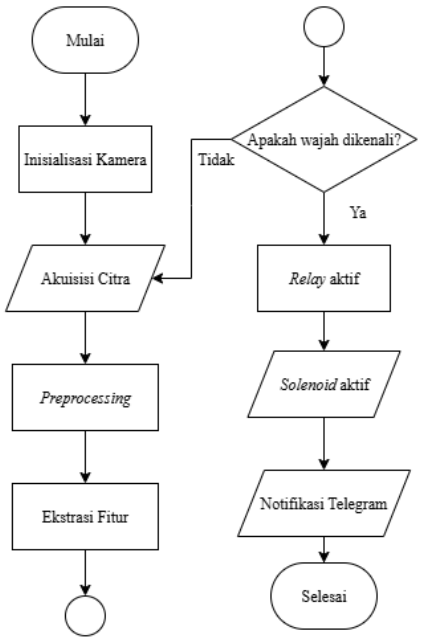
**Jurnal Qua Teknika, Vol. 16 No. 1 Maret 2026**
**ISSN 2088-2424 (cetak); ISSN 2527-3892 (elektronik)**
**Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar**
**Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;**
**Email: quateknika@gmail.com**

**Audrey Berlian Noormalasari[1)], Sri Widoretno[2)], Ahmad Yufron[3)]**
**SISTEM KUNCI PINTU OTOMATIS BERBASIS RASPBERRRY PI 4B DENGAN METODE IMAGE RECOGNITION UNTUK PENGENALAN WAJAH MENGGUNAKAN OPENCV**
**Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (1): 95-105**




**Gambar 1** Skema Rangkaian

Prinsip kerja dari rangkaian ini, sistem pengunci pintu otomatis menggunakan *Raspberry Pi* 4 sebagai otak utama yang mengendalikan seluruh proses. *Raspberry Pi* menerima input dari kamera Pi Cam, yang digunakan untuk pengenalan wajah dengan bantuan *library OpenCV*. Jika wajah yang terdeteksi cocok dengan data yang dikenali, *Raspberry Pi* akan mengaktifkan pin GPIO untuk mengirimkan sinyal ke modul Relay. Relay ini berperan sebagai saklar otomatis yang memungkinkan *Raspberry Pi*, yang hanya mengeluarkan tegangan rendah, untuk mengendalikan *Solenoid Door Lock* 12V DC, yaitu kunci pintu berbasis elektromagnetik yang membutuhkan daya lebih tinggi. Untuk menyuplai daya, digunakan Adaptor DC yang mengubah listrik rumah (AC) menjadi tegangan DC yang stabil. Seluruh rangkaian dikoneksikan menggunakan kabel jumper berwarna-warni yang berfungsi sebagai penanda antar-komponen elektronik. Tahapan proses kerja sistem dirancang melalui alur program sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.




**Gambar 2** *Flowchar*t Program

Sistem kunci pintu otomatis berbasis *face recognition* ini terdiri dari Pi Camera sebagai input, Raspberry Pi 4B sebagai pengendali, serta *solenoid door lock* dan buzzer sebagai *output.* Kamera menangkap citra wajah secara *real-time* untuk diproses dengan *OpenCV* dan dibandingkan dengan *database.* Jika wajah dikenali, relay mengaktifkan solenoid untuk membuka pintu, sedangkan wajah tidak terdaftar memicu

**Jurnal Qua Teknika, Vol. 16 No. 1 Maret 2026**
**ISSN 2088-2424 (cetak); ISSN 2527-3892 (elektronik)**
**Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar**
**Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;**
**Email: quateknika@gmail.com**



buzzer dan notifikasi melalui Telegram Bot. Proses ini berjalan berulang sehingga sistem tetap responsif dan didukung suplai daya agar berfungsi optimal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

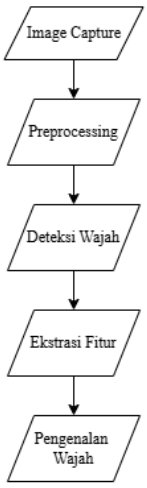
Alat pengembangan kunci pintu otomatis dengan *face recognition* berbasis *Raspberry Pi* 4B ini bekerja dengan sumber tegangan 5V DC. Dalam penelitian ini, menggunakan satu buah *input* berupa modul kamera *Pi Cam.* Pusat kendali dari sistem iniberupa komputer kecil *Raspberry Pi* 4B dengan bahasa pemrograman *Python.* Penulis melakukan pengembangan penelitian terdahulu dengan menggunakan pusat kendali lainnya, yang dapat menampung banyak dataset dalam satu sistem. Gambar berikut ini merupakan wiring dan hasil rancangan sistem:



**Gambar 3** Wiring dan Hasil Rancangan Alat

Sistem ini menggunakan *Raspberry Pi*, Pi kamera, dan library *face_recognition* untuk mengenali wajah secara *real-time* dan mengontrol perangkat seperti kunci pintu otomatis melalui pin GPIO. Proses dimulai dengan mengambil gambar dari kamera, lalu mendeteksi wajah menggunakan metode HOG (*Histogram of Oriented Gradients*) dari *library OpenCV*.

Setelah lokasi wajah ditemukan, sistem menghasilkan *encoding* wajah (vektor 128 dimensi) dan membandingkannya dengan data wajah yang telah dikenali sebelumnya. Jika wajah yang dikenali cocok dengan nama dalam daftar otorisasi, maka GPIO akan diaktifkan, memungkinkan pembukaan pintu. Sistem juga menampilkan informasi wajah dan status otorisasi secara visual di layar. Sistem pengenalan wajah dibangun dengan metode berikut ini:




Gambar 1 Alur Sistem Pengenalan Wajah

1. *Image Capture* (Penangkapan Gambar): Tahapan awal ini bertujuan untuk mengumpulkan citra wajah pengguna sebagai data latih. Kamera *Raspberry Pi* digunakan untuk menangkap gambar wajah secara

**Jurnal Qua Teknika, Vol. 16 No. 1 Maret 2026**
**ISSN 2088-2424 (cetak); ISSN 2527-3892 (elektronik)**
**Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar**
**Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;**
**Email: quateknika@gmail.com**

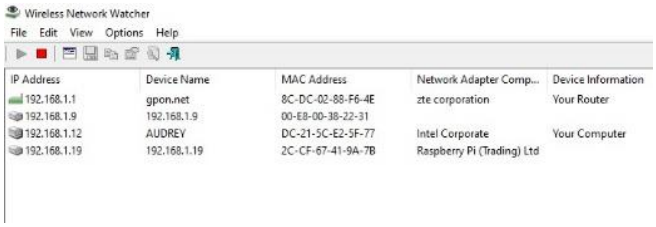


real-time menggunakan *OpenCV* dan Picamera2. Gambar disimpan secara otomatis saat tombol ditekan, menggunakan penamaan berdasarkan tanggal dan waktu. Semua hasil disimpan dalam folder dataset untuk pelatihan selanjutnya.

2. *Preprocessing* Citra: Citra yang ditangkap diproses terlebih dahulu agar dapat diolah secara optimal. Proses ini meliputi:
   a. *Resizing:* Menyeragamkan ukuran gambar agar efisien dan konsisten dalam pelatihan model.
   b. Konversi Warna BGR ke RGB: Karena *OpenCV* menggunakan format BGR, sedangkan *face_recognition* menggunakan RGB, maka dilakukan konversi agar kompatibel antar pustaka.
3. *Face Detection* (Deteksi Wajah): Menggunakan *face_recognition.face_locations()* untuk mendeteksi posisi wajah dalam gambar RGB. Hasilnya adalah koordinat bounding box untuk setiap wajah, yang digunakan untuk langkah *encoding.* Deteksi ini menggunakan metode HOG sebagai algoritma dasar.
4. *Face Encoding:* Setelah wajah terdeteksi, fitur unik wajah diekstraksi menjadi vektor numerik berdimensi 128 menggunakan *face_recognition.face_encodings().* Vektor ini berfungsi sebagai "sidik jari digital" wajah dan digunakan untuk mencocokkan identitas. Jika vektor cocok dengan database yang sudah ada, nama pengguna diidentifikasi; jika tidak, diberi label *"Unknown".*
5. *Recognition/Classification* (Pengenalan Wajah): Proses ini membandingkan encoding wajah baru dengan database *encoding* wajah yang telah dikenal. Identitas ditentukan berdasarkan hasil perbandingan tersebut, yang digunakan dalam aplikasi autentikasi atau pengawasan otomatis.[8], [9], [10]

Karena *Raspberry* merupakan komputer mini, supaya dapat melakukan peng-*coding*an, berikut ini merupakan langkah-langkah untuk dapat mengakses *Raspberry Pi* yang memiliki OS tersendiri :

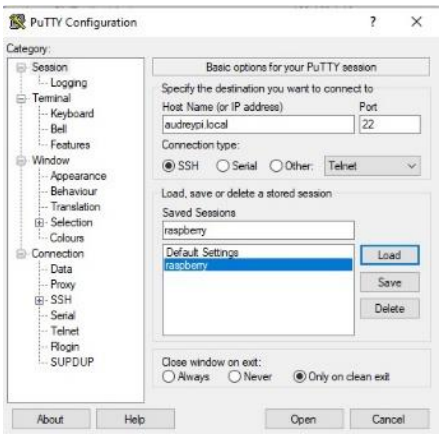
1) Mencari alamat IP *Raspberry* dengan menggunakan software *IP Checker.* Disini, penulis menggunakan *Wireless Network Watcher,* hasil dari pelacakan IP ditujukan pada Gambar berikut :




**Gambar 4** Alamat IP *Raspberry*

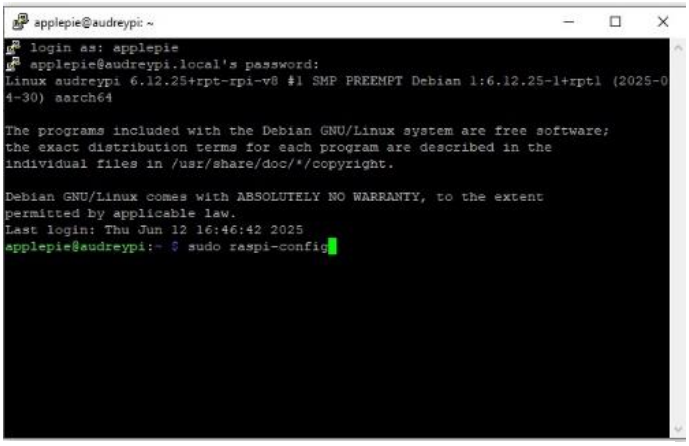
Apabila alamat IP dari *Raspberry* sudah terdeteksi dalam perangkat seperti gambar diatas, maka *Raspberry* dapat di akses via SSH *(Secure Shell).*

2) Akses Via SSH dengan menggunakan *software* PuTTy, dengan cara memasukkan alamat IP yang sudah didapatkan dengan memilih SSH sebagai *connection type.* Gambar berikut merupakan cara untuk mengakses SSH dengan PuTTY.[11]



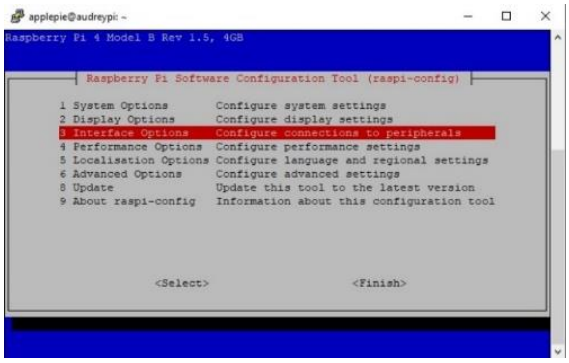

**Gambar 5** Akses SSH via Putty

Disini pengguna dapat mengakses via SSH dengan cara memasukkan alamat *Raspberry* yang sebelumnya sudah di *setting*. Penulis menyimpulkan bahwa pada setiap perangkat, cara supaya dapat mengakses SSH memiliki dua macam, yaitu dengan menggunakan alamat IP dan menggunakan alamat *Raspberry* langsung yang sudah di *setting (Hostname)*. Setelah dapat mengakses ssh, maka selanjutnya akan masuk ke halaman *login* supaya dapat mengakses tampilan *Raspberry*, seperti Gambar berikut :




**Gambar 6** Login *Raspberry*

3) Akses tampilan *Raspberry*. Perintah s*udo raspi-config* digunakan untuk membuka alat konfigurasi sistem di *Raspberry Pi* OS melalui terminal. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat dengan mudah mengakses dan menyesuaikan berbagai pengaturan penting pada *Raspberry Pi*. Perintah diatas akan digunakan untuk mengaktifkan VNC *(Virtual Network Computing)* supaya dapat mengakses tampilan *desktop* dari *Raspberry*. Untuk mengaktifkan VNC di *Raspberry Pi*, jalankan perintah sudo raspi-config di terminal, lalu pilih menu *Interfacing Options* (atau *Interface Options* pada versi terbaru) seperti Gambar berikut ini:

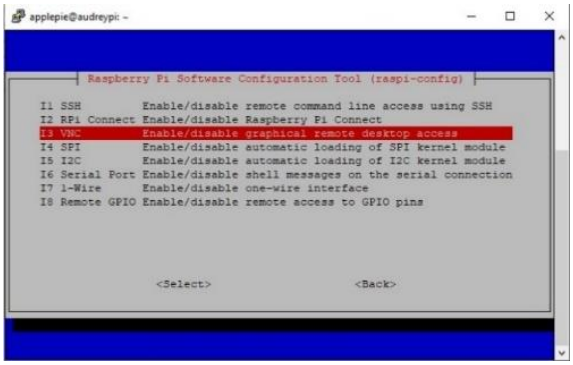



**Gambar 7** Tampilan menu konfigurasi

**Jurnal Qua Teknika, Vol. 16 No. 1 Maret 2026**
**ISSN 2088-2424 (cetak); ISSN 2527-3892 (elektronik)**
**Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar**
**Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;**
**Email: quateknika@gmail.com**



Pilih *VNC* dan aktifkan dengan memilih *Yes*. Setelah itu, keluar dari konfigurasi dengan memilih *Finish* dan *reboot* jika diminta.




**Gambar 8** Mengaktifkan VNC

Setelah VNC diaktifkan, *Raspberry Pi* dapat diakses secara remote melalui aplikasi VNC Viewer dari komputer lain dengan memasukkan alamat IP serta login menggunakan username dan *password* yang sesuai, dan akan muncul tampilan desktop seperti Gambar dibawah :



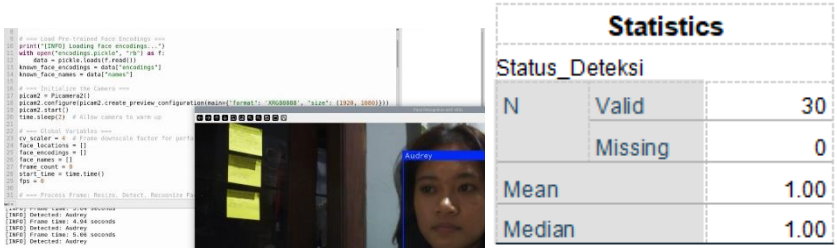
**Gambar 9** Tampilan *desktop*

Pada tahap pengujian sistem, dilakukan pengambilan gambar wajah sebanyak 243 foto dari 30 orang (masing-masing 7 gambar), yang kemudian dimasukkan ke dalam dataset untuk pelatihan model dan menghasilkan file encoding dalam format *pickle.* Dataset disusun dalam folder per orang, dengan variasi sudut wajah serta tambahan satu gambar *close-up* untuk meningkatkan akurasi. Proses ekstraksi fitur dari gambar dilakukan melalui training model, yang mengubah gambar menjadi representasi numerik khas tiap wajah. Setelah fitur terekstraksi, sistem diuji dengan:

1) Berdasarkan hasil pengujian terhadap 30 sampel wajah, sistem menunjukkan kinerja yang optimal dengan tingkat akurasi 100% menggunakan metode HOG pada *OpenCV*. Seluruh sampel berhasil dikenali tanpa kesalahan, ditunjukkan melalui perhitungan *confusion matrix* serta analisis statistik deskriptif yang memperlihatkan frekuensi keberhasilan penuh, nilai mean dan median sebesar 1.00, serta standar deviasi 0. Rata-rata waktu pendeteksian tercatat 5,06 detik, meskipun pada beberapa kasus sistem membutuhkan waktu relatif lebih lama akibat keterbatasan penyimpanan 64 GB, di mana penggunaan kapasitas lebih tinggi (≥128 GB) diperkirakan dapat meningkatkan kecepatan pemrosesan. Hasil ini membuktikan bahwa proses *encoding* wajah berjalan stabil dalam berbagai kondisi pencahayaan dan orientasi, serta menegaskan keandalan sistem dalam mengenali wajah yang telah terdaftar secara konsisten tanpa kegagalan deteksi.

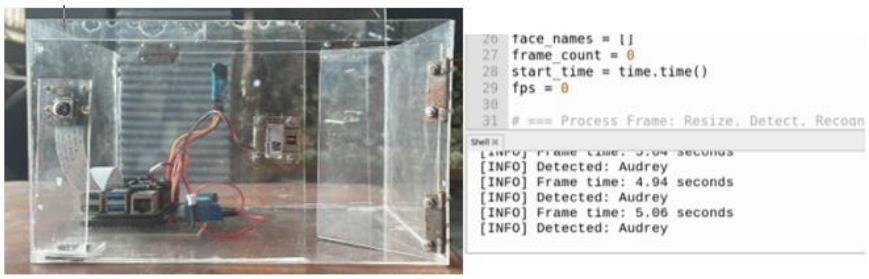
**Jurnal Qua Teknika, Vol. 16 No. 1 Maret 2026**
**ISSN 2088-2424 (cetak); ISSN 2527-3892 (elektronik)**
**Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar**
**Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;**
**Email: quateknika@gmail.com**






**Gambar 10** Pengujian Deteksi Wajah

2) Hasil pengujian sistem kunci pintu otomatis menunjukkan bahwa dari 30 kali percobaan, pintu berhasil terbuka sebanyak 26 kali dengan tingkat akurasi 86,67%, sementara 4 kali percobaan mengalami kegagalan akibat faktor seperti pencahayaan, posisi wajah, atau kualitas citra. Rata-rata waktu deteksi wajah tercatat 5,03 detik dengan rentang 4,99–5,09 detik dan standar deviasi sangat kecil (±0,03 detik), yang menandakan kinerja sistem stabil dan konsisten dalam merespons perintah secara real-time. Analisis statistik deskriptif juga memperlihatkan bahwa sebagian besar data berada pada kategori "Berhasil" dengan nilai median 1,00, mengindikasikan sistem andal dalam menghubungkan proses pengenalan wajah dengan aktuator pembuka pintu, meskipun masih terdapat sebagian kecil hasil yang gagal.




**Gambar 11** Pengujian Pintu Otomatis

3) Pengujian jarak dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengenali wajah pada berbagai posisi, mulai dari 5 cm hingga lebih dari 160 cm. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem gagal mendeteksi wajah pada jarak sangat dekat (5–20 cm), namun mulai berfungsi optimal pada jarak 20 cm ke atas hingga lebih dari 160 cm. Dari 15 percobaan, sebanyak 12 kali deteksi berhasil sehingga akurasi mencapai 80%, sedangkan 3 kali gagal terjadi hanya pada jarak sangat dekat. Analisis statistik deskriptif juga memperkuat temuan ini, di mana mayoritas deteksi berhasil pada kategori jarak dekat hingga jauh, sementara seluruh kegagalan terpusat pada kategori sangat dekat. Temuan ini membuktikan bahwa sistem bekerja efektif untuk pengenalan wajah pada jarak normal hingga jauh, namun kurang responsif pada jarak yang terlalu dekat dengan kamera. Berikut ini merupakan tabel hasil pengujiannya:

**Tabel 1** Pengujian Jarak Pengenalan Wajah

| No. | Jarak | Identifikasi |
|---|---|---|
| 1. | 5-10 cm | Tidak Terdeteksi |
| 2. | 10-15 cm | Tidak Terdeteksi |
| 3. | 15-20 cm | Tidak Terdeteksi |
| 4. | 20-30 cm | Terdeteksi |

| | | |
|---|---|---|
| 5. | 30-40 cm | Terdeteksi |
| 6. | 40-50 cm | Terdeteksi |
| 7. | 50-60 cm | Terdeteksi |
| 8. | 60-70 cm | Terdeteksi |
| 9. | 70-80 cm | Terdeteksi |
| 10. | 80-90 cm | Terdeteksi |
| **No.** | **Jarak** | **Identifikasi** |
| 11. | 90-100 cm | Terdeteksi |
| 12. | 100-120 cm | Terdeteksi |
| 13. | 120-140 cm | Terdeteksi |
| 14. | 140-160 cm | Terdeteksi |
| 15. | >160 cm | Terdeteksi |

4) Pengujian pengenalan wajah dengan berbagai aksesoris dilakukan untuk menilai ketahanan sistem terhadap perubahan tampilan pengguna, seperti penggunaan kacamata, masker, hijab, topi, hingga helm. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem masih mampu mendeteksi wajah dengan baik pada sebagian besar kondisi, dengan tingkat akurasi 90% (9 dari 10 kasus berhasil). Sistem bekerja optimal ketika fitur utama wajah, terutama mata, hidung, dan sebagian mulut, tetap terlihat meskipun sebagian tertutup aksesoris. Deteksi berhasil 100% pada kategori kacamata, masker, hijab, serta kondisi sebagian wajah tertutup rambut atau mata, sedangkan kegagalan hanya terjadi pada penggunaan helm dengan kaca gelap tertutup yang menutupi area wajah secara signifikan. Hal ini membuktikan bahwa sistem cukup toleran terhadap gangguan visual parsial, tetapi performa menurun ketika wajah tertutup hampir sepenuhnya. Hasil dari pengujian di sajikan dalam tabel berikut:

**Tabel 2** Pengujian Pengenalan Wjah dengan Aksesoris

| **No.** | **Kondisi Wajah** | **Identifikasi** |
|---|---|---|
| 1. | Memakai Kacamata Bening | Terdeteksi |
| 2. | Memakai Kacamata Hitam | Terdeteksi |
| 3. | Memakai Hijab | Terdeteksi |
| 4. | Memakai Masker | Terdeteksi |
| 5. | Memakai Topi | Terdeteksi |
| 6. | Memakai Helm Kaca Terbuka | Terdeteksi |
| 7. | Memakai Helm Kaca Tertutup Bening | Terdeteksi |
| 8. | Memakai Helm Kaca Tertutup Hitam | Tidak Terdeteksi |
| 9. | Rambut Menutupi Sebagian Wajah | Terdeteksi |
| 10. | Menutup Sebagian Mata | Terdeteksi |

5) Sistem keamanan berbasis Raspberry Pi 4B dan *OpenCV* dilengkapi dengan Telegram bot applepie_pi sebagai antarmuka komunikasi jarak jauh yang memungkinkan pengguna membuka (/buka) dan menutup (/tutup) pintu serta menerima notifikasi status secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali seluruh wajah dalam database dengan akurasi 100% dan rata-rata waktu deteksi 1,23 detik, dengan selisih waktu yang relatif kecil (1,07–1,50 detik), menunjukkan kinerja yang cepat dan stabil. Dari total 30 uji, 27 notifikasi berhasil terkirim ke Telegram (90%), sedangkan 3 sisanya gagal dikirim, kemungkinan karena kendala teknis seperti koneksi internet atau server. Secara keseluruhan, sistem terbukti efektif dalam mengenali wajah dan memberikan notifikasi *real-time* dengan tingkat keberhasilan tinggi, meskipun masih terdapat keterbatasan kecil pada aspek pengiriman pesan.

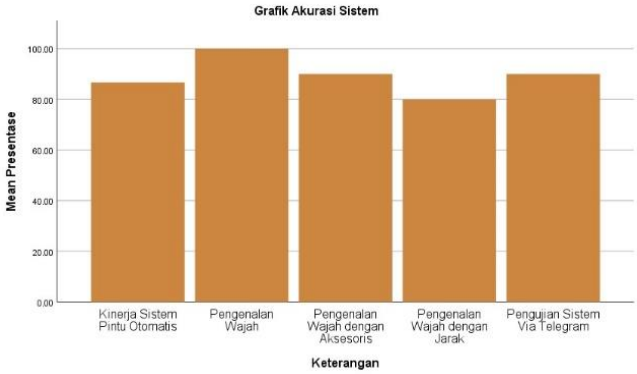
**Notifikasi**

| | | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|---|---|---|---|---|---|
| Valid | Terkirim | 27 | 90.0 | 90.0 | 90.0 |
| | Tidak Terkirim | 3 | 10.0 | 10.0 | 100.0 |
| | Total | 30 | 100.0 | 100.0 | |

**Gambar 12** Hasil Analisis Frekuensi terhadap Variabel Notifikasi

Analisis dari seluruh pengujian, termasuk pengujian pengenalan wajah standar, pembukaan pintu otomatis, jarak deteksi, penggunaan aksesoris dan pengujian via telegram menunjukkan rata-rata akurasi sistem sebesar 89,3%.

Nilai ini lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya yang mencatat akurasi sebesar 68,35%, menunjukkan peningkatan hampir 21%[12]. Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan metode HOG dengan *OpenCV* secara signifikan meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem pengenalan wajah, serta cocok diterapkan pada perangkat embedded seperti *Raspberry Pi* 4. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini terbukti lebih efektif, tangguh, dan responsif dalam berbagai kondisi pengguna. Berikut ini merupakan grafik hasil pengujian yang menunjukkan akurasi sistem:




**Gambar 13** Presentase Akurasi Sistem

## KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan, implementasi dan hasil uji coba sistem pengembangan kunci pintu menggunakan *face recognition* berbasis *Raspberry Pi* 4B dengan *library OpenCV*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem kunci pintu otomatis berbasis pengenalan wajah menggunakan *Raspberry Pi* 4B dan library *OpenCV* berhasil dikembangkan, dengan performa real-time yang stabil dan kompatibel pada perangkat *Raspberry Pi* 4B.
2. Sistem mampu mengenali wajah yang telah terdaftar dengan tingkat akurasi tinggi dalam jarak 30 hingga lebih dari 160 cm, serta mengaktifkan solenoid secara otomatis. Proses deteksi berlangsung cepat dan konsisten dengan rata-rata waktu sekitar 5 detik, sehingga sistem dinilai praktis, efisien, dan layak digunakan sebagai pengganti kunci konvensional.
3. Seluruh tahapan sistem, mulai dari pengambilan citra, *preprocessing*, pelatihan model, hingga pengenalan berhasil dijalankan dengan baik menggunakan metode HOG pada *OpenCV.* Berdasarkan pengujian komprehensif mencakup deteksi wajah, pembukaan pintu, jarak, penggunaan aksesori

seperti masker dan kacamata, serta pengujian via Telegram, diperoleh akurasi keseluruhan sebesar 89,3%, menunjukkan sistem cukup akurat dan responsif dalam berbagai kondisi.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Andreas, Cornelio Revelivan Aldawira, Handhika Wiratama Putra, Novita Hanafiah, Surya Surjarwo, and Aswin Wibisurya, "Door Security System for Home Monitoring Based on ESP32," *Procedia Computer Science* , vol. 157, pp. 673–682, Sep. 2019.

[2] R. A. Manrasul, Z. D. Nugroho, A. Yudantara, and S. Muryani, "Perancangan Alat Kunci Pintu Pintar Menggunakan Master Card Berbasis Arduino Nano," *INSANtek*, vol. 2, no. 2, pp. 46–50, Dec. 2021, doi: 10.31294/instk.v2i2.793.

[3] A. Siswanto, A. Efendi, and A. Yulianti, "ALAT KONTROL AKSES PINTU RUMAH DENGAN TEKNOLOGI SIDIK JARI DI LINGKUNGAN RUMAH PINTAR DENGAN DATA YANG DI ENKRIPSI," *Jurnal Penelitian Pos dan Informatika*, vol. 8, no. 2, pp. 97–107, Dec. 2018, doi: 10.17933/jppi.v8i2.132.

[4] F. B. Setiawan, Hadi Wijaya Kusuma, Slamet Riyadi, and Leonardus Heru Pratomo, "Penerapan PI Cam Menggunakan Program Berbasis Raspberry PI 4," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 51–56, Jul. 2022.

[5] A. Kurniawan, "PERANCANGAN ALAT PENGAWAS RUANGAN MENGGUNAKAN RASPBERRY PI," Teknik Informatika, Universitas Buddhi Dharma, Tangerang, 2018.

[6] D. Devino, R. Cahya Wihandika, and A. Wahyu Widodo, "Ekstraksi Ciri Untuk Klasifikasi Gender Berbasis Citra Wajah Menggunakan Metode Histogram of Oriented Gradients," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 8, pp. 8002–8011, Aug. 2019.

[7] I. K. S. K. M. , M. P. H. , Dr. P. Swarjana, *Populasi - Sampel Teknik Sampling dan Bias Penelitian*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2022.

[8] OpenCV Team, "About OpenCV," https://opencv.org/.

[9] F. Dona Marleny, *Pengolahan Citra Digital Menggunakan Python*. Purwokerto: CV. Pena Persada, 2021.

[10] Y. Fibriliyanti, L. Risky Faradila, and A. Taqwa, "MPLEMENTASI PENGOLAHAN CITRA DENGAN METODE HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENT (HOG) UNTUK PENGATURAN WAKTU PADA TRAFFIC LIGHT BERDASARKAN DETEKSI KEPADATAN KENDARAAN," *Seminar Nasional Teknologi dan Informatika*, pp. 403–412, Jul. 2017.

[11] Unknown, "PuTTy," https://www.putty.org/.

[12] Y. Atwianto, "Pembuatan Sistem Kendali Kunci Pintu Otomatis Menggunakan Modul ESP32-CAM Face Recognition," Teknik Elektro, Universitas Islam Balitar, Blitar, 2021.