

KONTROL PINTU IOT MENGGUNAKAN VISI KOMPUTER DAN SOCKET TCP/IP

Dewi Yuliana¹, Abdul Malik Hidayatullah², Arya Maulana³, Farabi Al-Biruni
Syadida⁴, Ridho Zayin Zidane Qolbu⁵

¹Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Maumere

^{2,3,4,5}Ilmu Komputer, Fakultas Teknologi dan Bisnis, Universitas Yatsi Madani

Email : dewiq774@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan dan menerapkan arsitektur perangkat lunak inovatif sistem kontrol akses pintu IoT yang stabil dan self-contained. Menghubungkan proses Visi Komputer (Python) yang intensif di sisi tinggi dan mikro controller (ATmega328P) di sisi low-level yang membutuhkan latensi yang sangat kecil adalah tantangan utama dalam sistem IoT biometrik. Dalam penelitian ini, pengembangan arsitektur yang terdiri dari beberapa lapisan untuk mengganti komunikasi serial USB yang digunakan adalah Agile. Sistem ini menggunakan Algoritma Haar Cascade untuk deteksi dan Local Binary Pattern Histogram (LBPH) untuk pengenalan wajah. Dalam sistem ini, modul dual chip (ESP8266 + ATmega328P) berfungsi sebagai server TCP dan pengendali servo. Sistem ini berhasil memvalidasi wajah yang terdaftar dalam jendela waktu respon 2,1 – 2,5 detik untuk jarak ± 10 cm – 1 m. Sistem beroperasi secara otomatis dalam koneksi TCP/IP stabil dan sistem berfungsi selektif, mencegah akses ke wajah yang tidak terdaftar. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa arsitektur berbasis socket TCP/IP dapat diimplementasikan dalam aplikasi biometrik Internet of Things secara real-time.

Kata kunci: IoT, Pengenalan Wajah, LBPH, TCP/IP/, Socket, Dual Chip

ABSTRACT

This research aims to design and implement an innovative software architecture for a stable and self-contained IoT door access control system. The main challenge in biometric IoT systems is integrating intensive high-level Computer Vision processes (Python) with a low-level microcontroller (ATmega328P) that requires minimal latency. This study proposes a multi-layer architecture that replaces traditional USB serial communication with a wireless TCP/IP socket. The methodology used is Agile. The system utilizes the Haar Cascade algorithm for detection and Local Binary Pattern Histograms (LBPH) for face recognition. The Python software acts as a client managing the logic, while the dual-chip module (ESP8266 + ATmega328P) functions as a TCP server and actuator controller. Test results show the system successfully validated registered faces with a fast average response time of 2.1 to 2.5 seconds at distances ranging from 30cm – 1 meter. The system also proved to be selective, denying access for unregistered faces, with full functionality dependent on a stable TCP/IP connection. This research successfully demonstrates that a TCP/IP socket-based architecture can be a reliable solution for real-time biometric IoT applications.

Keywords: IoT, Pengenalan Wajah, LBPH, TCP/IP/, Socket, Dual Chip

PENDAHULUAN

Dalam ekosistem *Internet of Things (IOT)*, sistem manajemen akses yang cerdas dan efektif sangat penting. Karena keuntungan non-kontak dan kecepatan verifikasi, solusi biometrik berbasis wajah saat ini menjadi tren. Namun, arsitektur perangkat lunak dan komunikasi merupakan masalah utama yang dihadapi saat menerapkan aplikasi *IoT* inovatif. Sistem visi komputer membutuhkan proses intensif di sisi tinggi, seperti PC atau Python, sementara kontrol perangkat fisik, seperti server, membutuhkan koneksi nirkabel yang stabil dan mikrokontroler yang memiliki latensi yang minimal di sisi low-level. Karena keterbatasan ini, pengembang sering mengalami kesulitan untuk menggunakan metode komunikasi yang lebih tua, seperti serial *USB*, yang membatasi fleksibilitas dan inovasi sistem.

Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa *algoritma LBPH (Local Binary Patterns Histograms)* adalah metode pengenalan wajah yang cepat dan ringan yang sesuai untuk sistem presensi (Kosasih, 2021). Selain itu, penelitian telah melihat bagaimana modul *ESP 8266* dapat diintegrasikan dengan mikrometer.

Protokol *MQTT* atau serial *passthrough* (Ramadini, 2022). Kesalahan utama yang ditemukan adalah kurangnya validasi arsitektur perangkat lunak yang mengintegrasikan Visi Komputer (*Python*) dengan kontrol *dual-processor (ESP8266 dan ATmega328P)* secara real-time menggunakan socket *TCP/IP* nirkabel. Untuk menjaga stabilitas arsitektur ini, perangkat lunak manajemen thread dan penanganan error jaringan secara *asynchronous* harus dikembangkan secara terus menerus. (Ardian, 2024)

Inovasi perangkat lunak dalam proyek ini didukung oleh arsitektur *hardware* yang kompleks, yaitu Integrasi *ATmega328P* (mikrokontroler utama) dan *ESP8266* (modul *Wifi*) dalam satu board (Suprianto, 2021). *ESP8266* berfungsi sebagai server *TCP/IP* memungkinkan komunikasi nirkabel dengan program utama *Python* (Damanik, 2016). Pendekatan ini merupakan inovasi karena beralih dari komunikasi serial *USB* tradisional ke protokol *TCP/IP* Socket, yang menawarkan stabilitas dan fleksibilitas jaringan yang lebih tinggi.

Jalur komunikasi terbagi menjadi tiga lapisan dimana *Python (Client Socket)*, *ESP8266 (Server TCP)*, *ATmega328P* (Serial Internal), yang menuntut perangkat lunak (*Python*) untuk mengelola koneksi socket secara presisten dan menangani error jaringan.

Inovasi perangkat lunak dalam proyek ini didukung oleh arsitektur *hardware* yang kompleks, yaitu Integrasi *ATmega328P* (mikrokontroler utama) dan *ESP8266* (modul *Wifi*) dalam satu board (Suprianto, 2021). *ESP8266* berfungsi sebagai server *TCP/IP* memungkinkan komunikasi nirkabel dengan program utama *Python* (Damanik, 2016). Pendekatan ini merupakan inovasi karena beralih dari komunikasi serial *USB* tradisional ke protokol *TCP/IP* Socket, yang menawarkan stabilitas dan fleksibilitas jaringan yang lebih tinggi. Jalur komunikasi terbagi menjadi tiga lapisan yaitu *Python (Client Socket)*, *ESP8266 (Server TCP)*, *ATmega328P* (Serial Internal), yang menuntut perangkat lunak (*Python*) untuk mengelola koneksi socket secara presisten dan menangani error jaringan (Yasykur, 2024).

Pengenalan wajah merupakan bidang utama dalam *Computer Vision* yang berfungsi untuk memverifikasi atau mengidentifikasi subjek berdasarkan fitur wajah. Proses ini

umumnya melibatkan dua tahap dimana deteksi dan identifikasi dengan *Haar Cascade Classifier* digunakan secara luas karena kecepatan pemrosesan yang tinggi, berfungsi untuk mendeteksi keberadaan dan lokasi wajah dalam citra *real-time*. Setelah wajah terdeteksi, identifikasi dilakukan menggunakan algoritma Local Binary Patterns Histograms (LBPH) (Kosasih, 2021). LBPH, sebagai salah satu metode *texture analysis* yang efisien, dipilih karena kemampuannya dalam mengekstrak pola lokal dari citra kinerjanya yang relatif baik pada perangkat komputasi terbatas, menjadikannya sesuai untuk aplikasi *real-time* (Ramadini, 2022).

Pengembangan sistem ini sejalan dengan tren *IoT* dalam kontrol akses, di mana perangkat fisik dikendalikan dan dipantau dari jarak jauh (Ardian, 2024). Fitur inovatif dalam aplikasi ini terletak pada integrasi notifikasi dan manajemen data. Penggunaan Telegram Bot Api memungkinkan pengiriman pesan dan foto *real-time* ke perangkat *mobile*, meningkatkan fitur keamanan dan audit (Ardian, 2024). Sementara itu, database *SQLite3* dipilih sebagai solusi *backend* yang ringan dan *serverless* untuk menyimpan catatan absen. Pemanfaatan tabel harian dinamis di *SQLite3* adalah inovasi perangkat lunak yang dirancang untuk menjaga performa *database* tetap optimal meskipun data absen akan bertambah secara periodik.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menggunakan inovasi arsitektur perangkat lunak untuk menghasilkan solusi kontrol akses yang stabil dan self-contained. Salah satu kontribusi utama yang diberikan adalah sebagai berikut:

- 1) Desain modul *Python* berbasis socket *TCP/IP* sebagai pusat kontrol multi-lapisan.
- 2) Validasi stabilitas algoritma LBPH di bawah beban jaringan *real-time* untuk keputusan akses.
- 3) Pengembangan subsistem manajemen data terstruktur menggunakan *SQLite3* dan modul notifikasi Telegram Bot secara *real-time*, memberikan rangka kerja perangkat lunak yang dapat diandalkan untuk aplikasi *IoT Biometrik*.

METODE

Metodologi pengembangan yang digunakan dalam proyek ini adalah pendekatan Agile (Iteratif dan Inkremental, yang sangat sesuai untuk proyek inovasi yang melibatkan integrasi *hardware* dan *software* yang kompleks.

A. Spesifikasi Perangkat Keras (Hardware)

Penelitian ini menggunakan arsitektur *edge computing* di mana pemrosesan data visi yang berat dilakukan pada *client* (PC/Python), sementara *ESP8266* bertindak sebagai jembatan komunikasi jaringan. Perangkat keras yang digunakan meliputi

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras (Hardware)

Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi dalam Sistem
Sensor Visi	Webcam Eyesec 1080	Sumber input citra wajah untuk pemrosesa <i>real-time</i>
Mikrokontroler Dual-Chip	Arduino UNO R3 Wifi (ATMega328P + ESP8266)	Kontrol <i>actuator</i> (ATmega) dan konektivitas (ESP8266)

Actuator	Motor Servo SG90	Menerjemahkan perintah digital ('O','C') menjadi gerakan fisik pintu.
----------	------------------	---



Gambar 1. Webcam EYESEC, Arduino Uno R3+Wifi, dan Motor Servo

B. Desain Arsitektur dan Komunikasi

Desain arsitektur perangkat lunak dalam proyek ini berfokus pada integrasi *low-level* control dengan *high-level processing* melalui jaringan. Implementasi sistem arsitektur Multi-Lapisan Nirkabel yang di uraikan sebagai berikut.

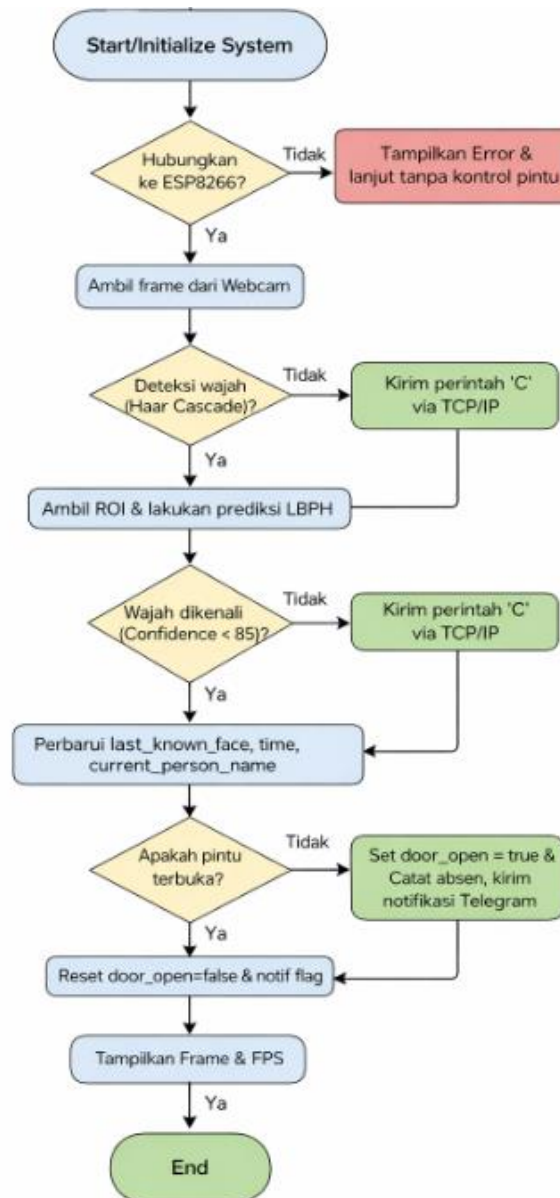
Tabel 1. Desain Arsitektur dan Komunikasi

Lapisan	Komponen Perangkat Lunak	Tugas Utama
Lapisan Aplikasi	Python, OpenCV, SQLite3, Request	Deteksi Wajah (Haar), Pengenalan Wajah (LBPH), Absen, Notifikasi Telegram.
Lapisan Komunikasi	Python (Socket), ESP8266 (Server TCP/IP)	Membangun dan menjaga koneksi TCP/IP antara PC dan board Arduino.
Lapisan Kontrol/Fisik	ATmega328P (C++), Motor Servo	Menerima perintah serial dari ESP8266 dan mengontrol <i>actuator</i> (servo) secara langsung.

C. Desain Perangkat Lunak dan Implementasi Algoritma

Tools dan framework: Python (OpenCV, socket, request), Arduino IDE (C++), SQLite3. Implementasi Algoritma Kunci:

- LBPH: Digunakan untuk mengidentifikasi individu yang terdaftar.
- Logika Kontrol Pintu: Diimplementasikan di Python untuk mengatur *state* pintu (`door_open = True/False`) dan mengirimkan perintah "O" (Open) atau 'C' (Close) melalui *socket* TCP/IP.
- Kontrol Kecepatan Servo: Diimplementasikan di kode ATmega238P menggunakan *loop* bertahap dan delay untuk mencapai gerakan servo yang halus (*speed control*).



Gambar 2. Flowchart

Penjelasan Bagian-Bagian Flowchart sebagai berikut:

1. Start / Inisialisasi Sistem
Memulai semua proses, menginisialisasi webcam, ESP8266, dan Python untuk manajemen multi-lapisan.
2. Koneksi ke ESP8266
Memeriksa apakah modul Wi-Fi (ESP8266) terhubung dan jika gagal, sistem tetap berjalan tapi tanpa kontrol pintu, menampilkan pesan error.
3. Pengambilan Frame Webcam
Mengambil gambar dari webcam secara *real-time* untuk proses deteksi wajah.
4. Deteksi Wajah (Haar Cascade)
Mendeteksi apakah ada wajah dalam frame dan jika tidak ada,

sistem memeriksa status pintu untuk pengendalian.

5. Prediksi LBPH

Jika wajah terdeteksi, sistem mengambil *Region of Interest (ROI)* dan menggunakan algoritma *LBPH* untuk identifikasi.

6. Validasi Wajah

Memeriksa *confidence* dari prediksi dan jika wajah tidak dikenali dalam waktu dan dapat membuka pintu sementara sebagai *fail-safe* (misalnya ≥ 7 detik).

7. Update Data & Notifikasi

Memperbarui data seperti *last_known_face*, waktu, dan *current_person_name* sedangkan jika pintu terbuka, sistem mencatat absen ke SQLite3 dan mengirim notifikasi *real-time* via *Telegram Bot*.

8. Kontrol Pintu (Open/Close)

Mengirim perintah 'C' (open) atau 'O' (close) melalui TCP/IP ke ESP8266 untuk membuka/menutup pintu.

9. Looping & Exit

Frame dan FPS ditampilkan real-time dan terus memproses hingga tombol 'q' ditekan untuk keluar.

D. Prosedur Pengujian Kinerja

Pengujian dilakukan untuk memvalidasi:

- Stabilitas Koneksi *TCP/IP*: Pengujian latensi dan tingkat kegagalan koneksi (*timed out*) antara *python* dan *ESP2866*.
- Akurasi Pengenalan: Pengujian *True Acceptance Rate* dan *False Acceptance Rate* di bawah variasi kondisi (pencahayaan, jarak).
- Waktu Respon Sistem: Pengukuran waktu total dari deteksi wajah hingga perintah servo di terima.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem kontrol akses berbasis pengenalan wajah yang telah dikembangkan. Tujuan utama dari pengujian ini adalah memastikan bahwa sistem mampu membuka dan menutup pintu secara otomatis hanya ketika wajah yang terdeteksi sesuai dengan data yang tersimpan dalam database. Pengujian dilakukan pada tanggal 18 Juni 2025 selama kurang lebih 2 jam di Universitas Yatsi Madani dengan menggunakan perangkat berupa laptop yang menjalankan program *Python*, *Arduino Uno R3 Wi-Fi*, motor servo sebagai aktuator pintu, webcam sebagai sensor visual, serta powerbank sebagai sumber daya. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan beberapa skenario untuk menilai performa sistem dari berbagai aspek.

Aspek pertama yang diuji adalah akurasi pengenalan wajah (*face recognition*). Pengujian dilakukan dengan menampilkan wajah yang telah terdaftar pada database sistem dan wajah yang tidak terdaftar. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mengenali wajah yang telah terdaftar dengan tingkat keberhasilan yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma *Local Binary Pattern Histogram (LBPH)* yang digunakan cukup efektif dalam mengidentifikasi pola wajah pada kondisi pengujian yang dilakukan. Ketika wajah yang

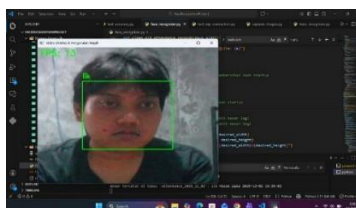
terdeteksi memiliki nilai *confidence* di bawah ambang batas yang telah ditentukan, sistem menganggap wajah tersebut valid dan memicu proses pembukaan pintu.

Aspek kedua yang diuji adalah respon motor servo saat wajah dikenali. Berdasarkan hasil pengujian, ketika sistem berhasil mengidentifikasi wajah yang terdaftar, perintah pembukaan pintu langsung dikirimkan dari aplikasi Python melalui koneksi *TCP/IP* ke modul *ESP8266* yang kemudian diteruskan ke *Arduino ATmega328P* untuk menggerakkan motor servo. Motor servo merespons dengan baik dan mampu membuka pintu sesuai dengan perintah yang diberikan. Sebaliknya, ketika wajah yang terdeteksi tidak terdaftar dalam database, sistem tidak mengirimkan perintah pembukaan pintu sehingga pintu tetap dalam kondisi tertutup.

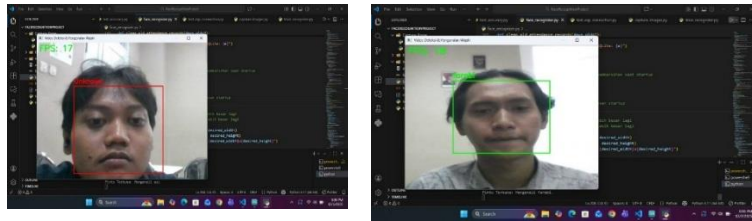
Aspek ketiga yang diuji adalah kecepatan respon sistem secara keseluruhan. Kecepatan respon diukur dari waktu ketika wajah terdeteksi oleh kamera hingga pintu terbuka oleh motor servo. Berdasarkan pengamatan selama pengujian, sistem mampu merespon dalam waktu relatif cepat karena proses pengenalan wajah dilakukan secara *real-time* menggunakan webcam dan algoritma LBPH yang ringan secara komputasi. Selain itu, penggunaan komunikasi jaringan berbasis *socket TCP/IP* antara Python dan *ESP8266* juga memungkinkan pengiriman perintah secara cepat dan stabil dibandingkan metode komunikasi serial konvensional.

Aspek keempat yang diuji adalah kemampuan sistem dalam kondisi pencahayaan dan jarak tertentu. Pengujian dilakukan dengan jarak sekitar **±1 meter dari kamera**, yang merupakan jarak ideal untuk proses deteksi wajah menggunakan webcam standar. Pada kondisi pencahayaan yang cukup, sistem mampu mendeteksi dan mengenali wajah dengan baik. Namun pada kondisi pencahayaan yang kurang optimal, proses deteksi wajah membutuhkan waktu sedikit lebih lama karena kualitas citra yang diterima oleh kamera menurun. Meskipun demikian, sistem masih mampu melakukan identifikasi dengan cukup baik selama wajah masih dapat terdeteksi oleh algoritma **Haar Cascade**.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol akses berbasis pengenalan wajah dan *IoT* yang dikembangkan mampu bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem dapat mengenali wajah yang terdaftar, mengontrol motor servo untuk membuka dan menutup pintu secara otomatis, serta memberikan respon yang cukup cepat dalam proses identifikasi. Integrasi antara *computer vision* berbasis Python, komunikasi *TCP/IP* menggunakan *ESP8266*, serta kontrol perangkat menggunakan *ATmega328P* juga terbukti mampu bekerja secara stabil selama pengujian berlangsung. Dengan demikian, sistem ini memiliki potensi untuk diterapkan sebagai solusi kontrol akses otomatis yang lebih aman dan efisien pada lingkungan kampus maupun area terbatas lainnya.



Gambar 3. Wajah Terdeteksi



Gambar 4. Wajah tidak terdeteksi atau tidak terdaftar



Gambar 5. Notifikasi Telegram

Pengujian Sensor

Sensor utama yang diuji dalam penelitian ini adalah *webcam* yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengenali wajah serta *motor servo* yang berfungsi sebagai aktuator untuk membuka pintu. Pengujian dilakukan dengan melibatkan beberapa responden yang terdiri dari wajah yang telah terdaftar pada database sistem dan wajah yang tidak terdaftar. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam mengenali wajah serta respon aktuator pintu yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Hasil pengujian sistem ditunjukkan pada **Tabel 3**, yang menampilkan data respon sistem terhadap masing-masing subjek uji.

Table 3. Hasil Pengujian

No	Nama	Wajah Terdaftar	Kamera Deteksi/Mengenali	Servo Respon	Waktu Respons (Detik)
1	Farabi	Ya	Ya	Ya	2,1 s
2	Arya	Ya	Ya	Ya	2,3 s
3	Malik	Ya	Ya	Ya	2,5s
4	Idoys	Tidak	Tidak	Tidak	-
5	Firle	Ya	Ya	Ya	2s
6	Afifah	Ya	Ya	Ya	2,3s
7	Ikhwan	Ya	Ya	Ya	2,1s
8	Tyara	Ya	Ya	Ya	2s
9	Pingkan	Ya	Ya	Ya	2s

10	Ibnu Fajar	Tidak	Ya	Tidak	-
11	Fazri	Tidak	Tidak	Tidak	-
12	Ilham	Tidak	Ya	Tidak	-
13	Aulani	Ya	Ya	Ya	2s
14	Vazriel	Ya	Ya	Ya	2,1s
15	Elvina	Ya	Ya	Ya	2,5s
16	Irma	Ya	Ya	Ya	2,1s
17	Karina	Ya	Ya	Ya	2.2s
18	Mila	Tidak	Tidak	Tidak	-
19	Amel	Tidak	Tidak	Tidak	-
20	Novel	Ya	Ya	Ya	2.2s

Pada table 3 tersebut di hasilkan dengan total 20 pengujian, terdapat 14 wajah yang terdaftar dan 6 wajah yang tidak terdaftar dalam database sistem. Berdasarkan hasil pengujian:

- 14 wajah terdaftar berhasil dikenali oleh sistem
- 6 wajah tidak terdaftar ditolak oleh sistem

Sehingga tingkat akurasi sistem dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ prediksi\ benar}{Total\ pengujian} \times 100\%$$

$$Akurasi = \frac{18}{20} \times 100\% = 90\%$$

Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi pengenalan wajah sebesar 90%, yang menunjukkan bahwa metode *LBPH* cukup efektif digunakan dalam sistem kontrol akses berbasis wajah.

Waktu respon dihitung dari saat wajah terdeteksi hingga motor servo membuka pintu. Berdasarkan data pengujian terhadap 14 wajah yang dikenali, diperoleh rata-rata waktu respon sebagai berikut:

$$Rata - rata\ waktu = \frac{Total\ waktu\ respon}{Jumlah\ pengujian}$$

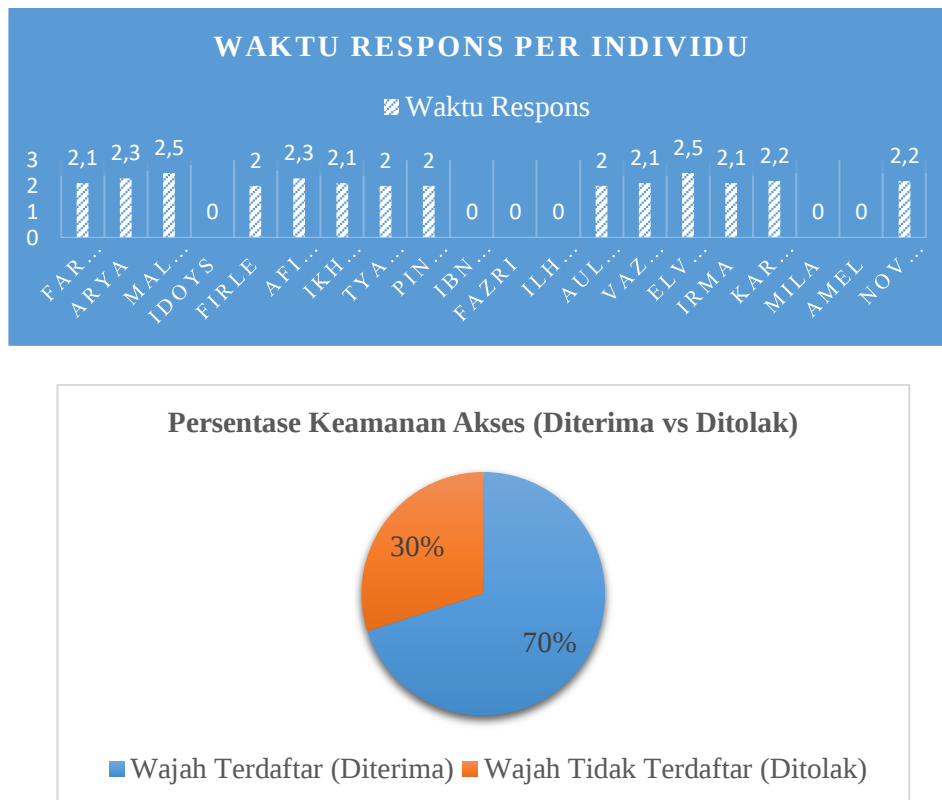
$$Rata - rata = \frac{30.4}{14} = 2.17\ detik$$

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respon relatif cepat dengan waktu rata-rata sekitar 2.17 detik, sehingga sistem dapat digunakan untuk aplikasi akses pintu otomatis secara real-time.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa motor servo hanya bergerak ketika wajah berhasil dikenali oleh sistem. Ketika wajah tidak dikenali atau tidak terdaftar dalam database, motor servo tidak menerima perintah pembukaan pintu. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan mekanisme kontrol akses selektif, sehingga meningkatkan tingkat keamanan.

Berdasarkan keseluruhan pengujian yang telah dilakukan, sistem menunjukkan kinerja yang cukup stabil dalam melakukan proses deteksi wajah, pengenalan wajah, serta kontrol aktuatur pintu. Integrasi antara webcam, algoritma face recognition, komunikasi *TCP/IP* melalui *ESP8266*, serta aktuatur motor servo mampu bekerja secara terintegrasi dengan waktu respon yang relatif cepat dan tingkat akurasi yang tinggi.

Grafik 1. Perbandingan



Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem kontrol akses berbasis pengenalan wajah menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam menjalankan fungsi autentikasi dan kontrol perangkat secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali wajah dengan akurasi yang tinggi apabila wajah tersebut telah terdaftar sebelumnya dalam database. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Kosasih, 2021) yang menyatakan bahwa algoritma *Local Binary Pattern Histogram (LBPH)* memiliki performa yang baik dalam proses identifikasi wajah pada sistem real-time karena mampu mengekstraksi pola tekstur lokal dari citra wajah secara efisien. Selain itu, menurut (Ahonen, 2006), metode LBPH memiliki keunggulan dalam menangani variasi pencahayaan serta memiliki kompleksitas komputasi yang relatif rendah sehingga cocok digunakan pada sistem berbasis embedded dan aplikasi real-time.

Dari segi kecepatan respon sistem, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespon dalam waktu rata-rata sekitar ± 2 detik sejak wajah berhasil dikenali hingga pintu terbuka. Kecepatan respon ini dipengaruhi oleh proses deteksi wajah menggunakan metode *Haar Cascade Classifier* serta proses identifikasi menggunakan algoritma LBPH. Penelitian yang dilakukan oleh (Viola, 2001) menyebutkan bahwa *Haar Cascade* merupakan metode deteksi objek yang sangat efisien untuk aplikasi real-time karena menggunakan konsep integral image dan *cascade classifier* yang mampu mempercepat proses deteksi wajah pada citra digital.

Selanjutnya, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa motor servo dapat merespon dengan baik ketika sistem berhasil mengenali wajah. Proses ini terjadi ketika aplikasi Python mengirimkan sinyal perintah melalui koneksi jaringan *TCP/IP* ke modul *ESP8266*, yang kemudian diteruskan ke mikrokontroler *ATmega328P* untuk

menggerakkan motor servo sebagai aktuator pembuka pintu. Mekanisme ini menunjukkan bahwa integrasi antara computer vision dan sistem kontrol perangkat keras dapat berjalan dengan baik. Hal ini sejalan dengan konsep *Internet of Things (IoT)* yang dikemukakan oleh (Gubbi, 2013) dimana perangkat fisik dapat saling berkomunikasi melalui jaringan internet untuk melakukan kontrol dan monitoring secara otomatis.

Selain itu, sistem juga menunjukkan kemampuan selektivitas yang baik dalam proses autentikasi. Ketika wajah yang terdeteksi tidak terdaftar dalam database, sistem secara otomatis menolak akses dan tidak mengirimkan perintah pembukaan pintu. Pada kondisi ini, sistem hanya mengirimkan sinyal status ke mikrokontroler melalui modul *ESP8266* tanpa mengaktifkan motor servo. Mekanisme ini menunjukkan bahwa sistem mampu menerapkan konsep kontrol akses berbasis biometrik, yang menurut (Jain, 2011) merupakan salah satu metode autentikasi yang lebih aman dibandingkan metode konvensional seperti password atau kartu akses karena memanfaatkan karakteristik biologis unik dari setiap individu.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem hanya dapat berjalan secara optimal apabila koneksi jaringan *TCP/IP* antara aplikasi *Python* dan modul *ESP8266* berhasil dibangun. Jika koneksi jaringan gagal, maka sistem tidak dapat menjalankan fungsi kontrol pintu maupun pengiriman notifikasi secara penuh. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas komunikasi jaringan menjadi faktor penting dalam sistem *IoT*. Menurut (Sethi, 2017), keberhasilan implementasi *IoT* sangat dipengaruhi oleh keandalan komunikasi jaringan antar perangkat karena sistem *IoT* pada dasarnya bergantung pada pertukaran data secara real-time.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi autentikasi wajah, kontrol aktuator pintu, serta komunikasi jaringan secara efektif. Integrasi antara algoritma pengenalan wajah, komunikasi *TCP/IP*, serta kontrol perangkat keras berbasis mikrokontroler membuktikan bahwa sistem ini dapat menjadi solusi kontrol akses otomatis yang lebih aman dan efisien dibandingkan sistem konvensional.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Inovasi arsitektur perangkat lunak *multi-lapisan* telah berhasil dirancang dan diimplementasikan, memungkinkan integrasi antara pemrosesan Visi Komputer *high-level* (Python) dengan kontrol aktuator *low-level* (ATmega328P) secara nirkabel dan *real-time*.
- Penggunaan *socket TCP/IP* terbukti menjadi metode komunikasi yang stabil dan efektif untuk menjembatani PC/Python dengan modul *dual-chip* (ESP8266), menggantikan ketergantungan pada koneksi serial USB.
- Sistem pengenalan wajah menggunakan algoritma LBPH menunjukkan kinerja yang baik, mampu mengenali wajah yang terdaftar dengan akurasi tinggi dan waktu respons keseluruhan yang cepat (rata-rata $\pm 2,3$ detik). Sistem juga terbukti aman dan selektif menolak akses untuk wajah yang tidak dikenali.
- Integrasi dengan database SQLite3 dan notifikasi Telegram Bot berhasil menciptakan sistem kontrol akses yang *self-contained* dan andal, sesuai dengan tujuan awal penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahonen, T. H. (2006). Face description with local binary patterns. *Application to face recognition. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2037–2041. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2006.244>.
- Ardian, S. e. (2024). *PUJIA UNISMUH MAKASSAR (Jurnal Vertex)*. Diambil kembali dari Rancang Bangun Akses Kunci Pintu Otomatis menggunakan Fingerprint Berbasis Internet of Things (IoT). : <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/vertex/article/download/15>
- Damanik, T. H. (2016). *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Unila*,. Diambil kembali dari Uji Kinerja Pengiriman Data Secara Wireless Menggunakan Modul ESP8266 Berbasis Rest Architecture. : <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/download/217/pdf>
- Gubbi, J. B. (2013). Internet of Things (IoT) A vision, . *architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems*, 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
- Kosasih, R. (2021). *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*. Diambil kembali dari Pengenalan Wajah dengan Menggunakan Metode Local Binary Patterns Histograms (LBPH).: https://www.researchgate.net/publication/360942543_Pengenalan_Wajah_dengan_Menggunakan_Metode
- Ramadini, F. L. (2022). *Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*,. Diambil kembali dari Penggunaan Metode Haar Cascade Classifier dan LBPH Untuk Pengenalan Wajah Secara Realtime: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/infotekjar/article/v>
- Sethi, P. &. (2017). Internet of Things: Architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 1–25. <https://doi.org/10.1155/2017/9324035>.
- Suprianto, D. (2021). *Internet of Things Menggunakan NodeMCU ESP8266-12E Untuk Pemula*. Diambil kembali dari (Buku Ajar/Modul Penelitian_Internet_of_Things_Menggunakan_NodeMCU_ESP8266-12E_): <https://www.researchgate.net/profile/Dodit-Suprianto-2/publication/358736343>
- Viola, P. &. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. . *In Proceedings IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. I-511–I-518.
- Yasykur, M. F. (2024). *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi (JUKANTI)*. Diambil kembali dari Implementasi Face Recognition pada Sistem Presensi Mahasiswa Menggunakan Metode SSD dan LBPH: <https://ojs.cbn.ac.id/index.php/jukanti/article/>