

RANCANG BANGUN SMART DOOR DENGAN OTENTIKASI WAJAH BERBASIS ESP32-CAM DAN WEBSOCKET

Ferdy Ferdiansyah Azhari¹, Jajat Sudrajat², Ardelia Astriany Rizky³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Komputer

^{1,2,3}Politeknik Piksi Ganesha

E-mail: [¹ferdyferdiansyah262@gmail.com](mailto:ferdyferdiansyah262@gmail.com), [²jajat.sudrajat0371@gmail.com](mailto:jajat.sudrajat0371@gmail.com),
[³ardelia.astriany@gmail.com](mailto:ardelia.astriany@gmail.com)

ABSTRACT

Door access security is an essential requirement in modern housing systems. Conventional methods, such as mechanical keys and access cards, are considered less effective due to the risks of loss and duplication. This study designs a smart door system based on face authentication by utilizing ESP32-CAM for image acquisition, a servo motor as the lock actuator, and an OLED display for real-time status visualization. The WebSocket protocol is implemented to support efficient bidirectional communication between the device and the server. The system operates by capturing the user's facial image via ESP32-CAM, performing verification with a registered database, displaying access status on the OLED, and controlling the servo accordingly. Experimental results indicate that the system achieved a 92.7% recognition accuracy with an average response time of 1.84 seconds. These findings demonstrate that the proposed design effectively enhances both security and convenience of IoT-based door access control.

Keywords: ESP32-CAM, Face Authentication, WebSocket

ABSTRAK

Keamanan akses pintu merupakan kebutuhan penting pada sistem hunian modern. Metode konvensional seperti kunci mekanik dan kartu akses dinilai kurang efektif karena berisiko hilang serta mudah digandakan. Penelitian ini merancang sistem *smart door* berbasis otentikasi wajah dengan memanfaatkan ESP32-CAM sebagai pengambil citra, motor servo sebagai aktuator kunci, serta OLED sebagai penampil status akses. Protokol WebSocket digunakan untuk mendukung komunikasi dua arah secara *real-time* antara perangkat dan server. Sistem bekerja dengan cara menangkap citra wajah pengguna melalui ESP32-CAM, melakukan verifikasi dengan database, menampilkan status pintu pada OLED, dan menggerakkan servo sesuai hasil otentikasi. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pengenalan wajah mencapai **92,7%** dengan rata-rata waktu respon **1,84 detik**. Temuan ini menegaskan bahwa rancangan sistem mampu meningkatkan keamanan sekaligus kenyamanan akses pintu berbasis IoT.

Kata Kunci: ESP32-CAM, Otentikasi Wajah, WebSocket

PENDAHULUAN

Keamanan akses pintu merupakan salah satu aspek penting dalam sistem hunian dan fasilitas publik. Sistem penguncian konvensional, seperti kunci mekanik maupun kartu akses, masih memiliki kelemahan berupa risiko kehilangan, duplikasi, serta keterbatasan dalam pencatatan aktivitas secara real-time (Santoso, H. N.; Hidayat 2021). Keterbatasan ini menimbulkan urgensi perlunya sistem penguncian yang lebih cerdas dan adaptif, sejalan dengan perkembangan Internet of Things (IoT) yang memungkinkan integrasi perangkat keras, sensor, dan jaringan komunikasi.

Salah satu teknologi biometrik yang saat ini banyak digunakan adalah otentikasi wajah. Teknologi ini dianggap lebih aman karena memanfaatkan karakteristik biologis yang unik, sulit dipalsukan, dan tidak dapat dipindah tangankan (Rahman and Putra 2020). Modul ESP32-CAM menjadi pilihan tepat untuk mendukung penerapan otentikasi wajah karena dilengkapi kamera, prosesor, serta konektivitas Wi-Fi yang mampu menangkap citra sekaligus mengirimkan data ke server (Zhang, Wang, and Liu 2019).

Untuk menggerakkan mekanisme kunci, digunakan motor servo yang memiliki keunggulan pada presisi dan efisiensi daya, sehingga dapat berfungsi optimal sebagai aktuator pengunci pintu. Selain itu, layar OLED dipilih sebagai antarmuka visual untuk menampilkan status akses secara langsung kepada pengguna. Dengan kombinasi tersebut, sistem mampu memberikan umpan balik instan terhadap hasil otentikasi (Pratama and Suryanto 2021).

Dari sisi komunikasi, sistem keamanan berbasis IoT memerlukan protokol yang cepat dan efisien. Protokol HTTP yang banyak digunakan masih memiliki keterbatasan dalam hal latensi karena bersifat request-response. WebSocket hadir sebagai alternatif dengan komunikasi dua arah (full duplex) yang stabil dan real-time, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi kontrol akses pintu otomatis (Chen and Zhao 2020). mProtokol WebSocket juga telah dibuktikan efektif dalam meningkatkan performa komunikasi IoT real-time dengan latensi rendah (Al-Harbi and Khan 2023)

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas sistem kontrol akses berbasis biometrik maupun IoT. (Zhang et al. 2019) mengembangkan algoritma pengenalan wajah untuk perangkat embedded. (Rahman and Putra 2020) merancang kontrol akses pintu dengan ESP32-CAM, sementara (Santoso, H. N.; Hidayat 2021) menggunakan smart lock berbasis IoT namun masih terbatas pada protokol HTTP. Selain itu, (Nugraha, Purnama, and Rizky 2022) mengusulkan integrasi IoT dengan notifikasi Telegram pada perangkat otomatis di bidang kesehatan, sedangkan (Puspita and Rizky 2023) menerapkan sensor PIR berbasis Arduino untuk sistem pembatas jumlah pengunjung pada fasilitas publik. Penelitian-penelitian ini menunjukkan relevansi penggunaan IoT, sensor, dan aktuator dalam pengembangan sistem kontrol akses. Selain itu, (Mendoza and Salazar 2022) telah mengimplementasikan pengenalan wajah berbasis ESP32-CAM untuk sistem smart home, yang membuktikan potensi modul ini dalam aplikasi kontrol akses.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan smart door berbasis otentikasi wajah menggunakan ESP32-CAM, motor servo, dan OLED dengan dukungan komunikasi real-time berbasis WebSocket. Rancangan ini diharapkan mampu meningkatkan keamanan, efisiensi, serta kenyamanan sistem kontrol akses pintu berbasis IoT.

KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Keamanan Berbasis IoT

Internet of Things (IoT) merupakan konsep integrasi perangkat fisik, sensor, dan jaringan komunikasi yang memungkinkan pertukaran data secara otomatis.

Pada bidang keamanan, IoT banyak dimanfaatkan untuk sistem monitoring, kontrol akses, dan smart home (Atzori, Luigi; Iera, Antonio; Morabito 2019). Kelebihan IoT terletak pada kemampuannya memberikan akses real-time, otomatisasi, serta efisiensi biaya operasional. Dalam konteks penguncian pintu, IoT menjadi solusi untuk menggantikan sistem konvensional yang rentan hilang, rusak, atau diduplikasi.

B. Pengenalan Wajah (*Face Authentication*)

Pengenalan wajah adalah salah satu bentuk autentikasi biometrik yang memanfaatkan ciri biologis unik dari individu. Teknologi ini dinilai lebih aman dibanding kartu akses atau sandi karena sulit dipalsukan dan tidak dapat dipindahtanggankan (Rahman and Putra 2020). Algoritma pengenalan wajah berbasis embedded system semakin banyak diteliti karena menuntut efisiensi pemrosesan citra dengan akurasi yang memadai (Zhang et al. 2019).

C. Modul ESP32-CAM

ESP32-CAM adalah modul mikrokontroler yang sudah dilengkapi dengan kamera OV2640 dan memiliki kemampuan untuk terhubung secara nirkabel. Wi-Fi. Modul ini mampu melakukan akuisisi citra, pra-pemrosesan, sekaligus mengirimkan data ke server melalui jaringan nirkabel. Keunggulan ESP32-CAM terletak pada harga yang relatif terjangkau, ketersediaan pustaka pemrograman yang luas, serta fleksibilitas integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator (Systems 2022). Dengan spesifikasi tersebut, ESP32-CAM menjadi perangkat inti dalam pengembangan sistem kontrol akses berbasis pengenalan wajah karena dapat berfungsi sekaligus sebagai pengambil citra dan pengirim data ke server..

D. Motor Servo sebagai Aktuator

Motor servo adalah aktuator yang mampu bergerak pada sudut tertentu dengan presisi tinggi. Pada sistem keamanan pintu, servo berfungsi sebagai mekanisme penggerak kunci yang diaktifkan berdasarkan hasil autentikasi. Keunggulannya meliputi konsumsi daya rendah, ukuran kecil, serta kemudahan integrasi dengan mikrokontroler (Santoso, H. N.; Hidayat 2021).

E. Layar OLED sebagai Antarmuka

Layar OLED digunakan sebagai media tampilan status pintu, baik dalam bentuk teks maupun simbol. Karakteristiknya meliputi konsumsi daya rendah, ukuran ringkas, serta kualitas tampilan dengan kontras tinggi. Peran OLED penting dalam memberikan umpan balik instan kepada pengguna mengenai hasil autentikasi (Pratama and Suryanto 2021).

F. Protokol Komunikasi WebSocket

Protokol komunikasi memegang peranan penting dalam memastikan stabilitas dan kecepatan sistem IoT. HTTP bersifat request-response sehingga memiliki latensi tinggi, sedangkan MQTT lebih ringan namun terbatas pada kondisi tertentu. WebSocket hadir dengan kemampuan komunikasi dua arah (full duplex) yang mendukung real-time streaming dengan latensi rendah, sehingga sesuai untuk

aplikasi kontrol akses pintu otomatis (Al-Harbi and Khan 2023; Chen and Zhao 2020).

G. Penelitian Terdahulu


Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas implementasi sistem smart door. (Zhang et al. 2019) mengembangkan algoritma pengenalan wajah ringan untuk perangkat embedded. (Rahman and Putra 2020) merancang kontrol akses pintu berbasis ESP32-CAM dengan hasil peningkatan keamanan dibanding RFID. (Santoso, H. N.; Hidayat 2021) membangun smart lock berbasis IoT dengan notifikasi real-time, namun masih menggunakan protokol HTTP. (Pratama and Suryanto 2021) memanfaatkan OLED untuk sistem monitoring, tetapi belum mendukung komunikasi real-time. Penelitian dosen pembimbing, (Nugraha et al. 2022), mengembangkan alat handrub otomatis berbasis IoT, sedangkan (Puspita and Rizky 2023) merancang sistem pembatas pengunjung berbasis sensor PIR. Berbeda dengan penelitian tersebut, studi ini menggabungkan ESP32-CAM, motor servo, OLED, dan protokol WebSocket untuk menghasilkan sistem kontrol akses pintu yang lebih cepat, stabil, dan informatif.

H. Komponen dan Fungsinya

Tabel berikut menyajikan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini beserta fungsi masing-masing.

Tabel 1. Komponen dan Fungsinya

Komponen	Fungsi	Gambar
ESP32-CAM	Mikrokontroler utama dengan kamera bawaan untuk akuisisi citra wajah sekaligus pengolahan data dan komunikasi melalui Wi-Fi.	
MOTOR SERVO	Aktuator penggerak kunci pintu yang bekerja sesuai hasil verifikasi wajah.	
Layar OLED	Antarmuka visual untuk menampilkan status akses (Akses Diterima / Ditolak).	

Komponen	Fungsi	Gambar
Catu Daya 5V/3.3V	Sumber tegangan utama yang memberikan suplai listrik ke seluruh perangkat.	

METODE/ ANALISIS PERANCANGAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan perancangan dan implementasi perangkat keras serta perangkat lunak. Sistem dirancang menggunakan modul ESP32-CAM yang memiliki kamera internal untuk akuisisi citra wajah, kemudian diintegrasikan dengan motor servo sebagai aktuator kunci, layar OLED untuk menampilkan status, serta protokol WebSocket untuk pertukaran data secara real-time (Li and Sun 2021).

A. Langkah Penelitian

Tahapan penelitian terdiri dari:

1. Pengumpulan Referensi

Melakukan penelusuran literatur mengenai teknologi pengenalan wajah, kontrol akses berbasis IoT, penggunaan ESP32-CAM, serta komunikasi data menggunakan WebSocket (Atzori, Luigi; Iera, Antonio; Morabito 2019; Kurniawan, A.; Siregar 2021).
2. Perancangan Sistem
 - a. Perangkat Keras: menentukan komponen utama meliputi ESP32-CAM, motor servo, OLED, serta catu daya.
 - b. Perangkat Lunak: pembuatan kode program melalui Arduino IDE dengan memanfaatkan pustaka pengenalan wajah (Zhang et al. 2019), pengendalian OLED via jalur I2C, serta integrasi WebSocket untuk koneksi server.
3. Perakitan Rangkaian

Menyusun rangkaian berdasarkan skema koneksi, di mana pin GPIO ESP32-CAM terhubung ke motor servo dan OLED, dengan suplai tegangan eksternal 5V/3.3V.
4. Pengujian

Evaluasi sistem dilakukan pada beberapa aspek, yaitu:

 - a. Akurasi pengenalan wajah.
 - b. Kecepatan respon dari deteksi hingga pintu terbuka.

- c. Stabilitas koneksi WebSocket dalam mengirim data (Chen and Zhao 2020).

5. Analisis

Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif deskriptif, serta dibandingkan dengan penelitian yang relevan (Rahman and Putra 2020).

B. Diagram Blok Sistem

Diagram blok pada Gambar 1 menunjukkan struktur sistem. ESP32-CAM sebagai pengendali utama menerima input citra, kemudian mengatur pergerakan motor servo, menampilkan informasi pada OLED, dan mengirim hasil verifikasi ke server melalui WebSocket.



Gambar 5. Diagram blok sistem smart door berbasis ESP32-CAM

C. Flowchart Sistem

Flowchart pada Gambar 2 menggambarkan alur kerja sistem smart door berbasis otentikasi wajah. Proses dimulai ketika ESP32-CAM mendeteksi wajah di depan kamera. Selanjutnya, OLED menampilkan status “Verification” sebagai tanda bahwa proses verifikasi sedang berlangsung. Tahap berikutnya adalah verifikasi data wajah dengan database.

- a. Jika hasil verifikasi tidak sesuai (No), maka OLED menampilkan pesan “Face Not Recognised”, servo tetap mengunci pintu, dan data otentikasi gagal dikirim ke server melalui WebSocket.
- b. Jika hasil verifikasi sesuai (Yes), maka OLED menampilkan pesan “Face Detected”, servo menggerakkan kunci untuk membuka pintu, dan data otentikasi berhasil dikirim ke server melalui WebSocket.



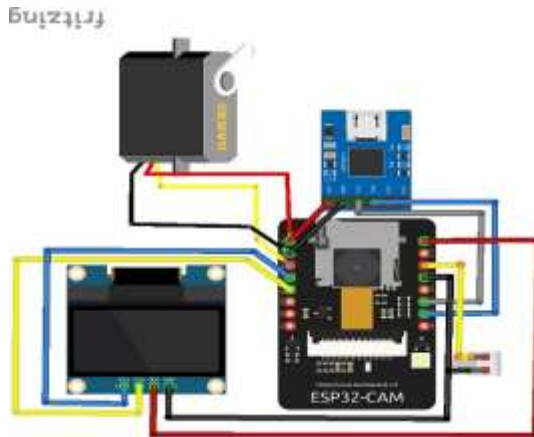
Gambar 6. Flowchart alur kerja sistem smart door

Dengan demikian, flowchart ini memperlihatkan integrasi sistem mulai dari deteksi wajah, proses verifikasi, respon aktuator servo, tampilan status pada OLED, hingga pencatatan hasil otentikasi secara real-time melalui WebSocket.

D. Skema Rangkaian

Skema rangkaian perangkat keras disusun sesuai konfigurasi gambar yang digunakan peneliti. ESP32-CAM berfungsi sebagai pengendali utama yang mengintegrasikan kamera, aktuator, dan antarmuka tampilan. Motor servo terhubung ke pin sinyal GPIO13 pada ESP32-CAM untuk menerima sinyal PWM yang menggerakkan mekanisme kunci. Kabel VCC servo tersambung ke sumber 5V pada modul/board ESP32-CAM sebagaimana tercantum pada skema; semua ground digabungkan (common GND).

Modul OLED terkoneksi menggunakan antarmuka I2C dengan konfigurasi SDA → GPIO14 dan SCL → GPIO15, serta diberi pasokan 3.3V sesuai spesifikasi. Seluruh perangkat menggunakan ground bersama untuk menjaga kestabilan referensi tegangan.

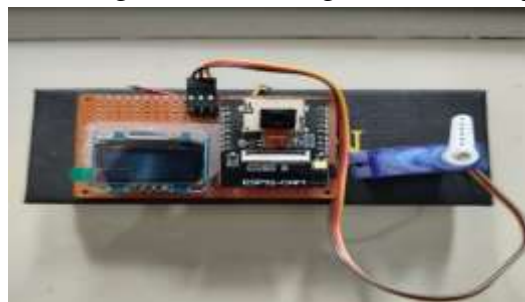


Gambar 7. Skema rangkaian smart door berbasis ESP32-CAM, OLED, dan Servo

HASIL DAN PEMBAHASAN

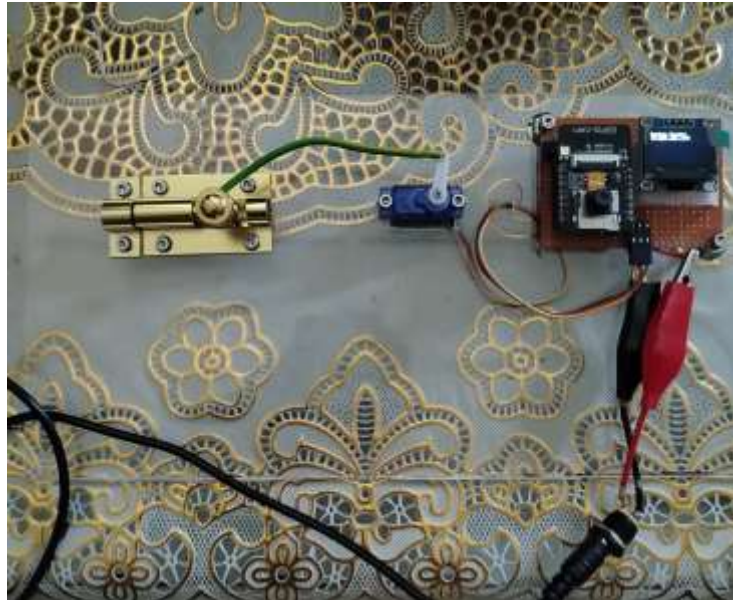
A. Implementasi Perangkat Keras

Perangkat keras sistem smart door dirakit menggunakan ESP32-CAM sebagai pengendali utama, motor servo sebagai aktuator kunci, serta OLED sebagai antarmuka pengguna. Rangkaian terhubung sesuai skema pada metode.



Gambar 8. Rangkaian perangkat keras sistem smart door berbasis ESP32-CAM, servo, dan OLED

Selain itu, dibuat prototipe sederhana berupa miniatur pintu untuk memvisualisasikan proses autentikasi dan penguncian otomatis.



Gambar 9. Prototipe smart door dengan ESP32-CAM, OLED, dan servo

B. Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak berfokus pada pengembangan sistem autentifikasi wajah yang berjalan pada modul ESP32-CAM serta komunikasi data menggunakan protokol WebSocket untuk interaksi real-time dengan aplikasi client.

1. Pemrograman ESP32-CAM

Modul ESP32-CAM diprogram menggunakan bahasa C++ melalui platform Arduino IDE. Program ini mengendalikan kamera OV2640 untuk mengambil gambar wajah pengguna saat seseorang mendekati pintu. Selanjutnya, gambar tersebut diproses secara lokal untuk melakukan pendeteksian dan autentifikasi wajah menggunakan algoritma yang telah diintegrasikan, seperti metode pengenalan wajah berbasis fitur.

2. Pengelolaan Koneksi WebSocket

ESP32-CAM juga berfungsi sebagai server WebSocket yang memungkinkan komunikasi dua arah secara real-time dengan aplikasi client, misalnya aplikasi web atau mobile. Protokol WebSocket dipilih karena mampu menjaga koneksi terbuka, sehingga memungkinkan pengiriman data autentifikasi secara langsung dan respons cepat saat pengguna melakukan akses.

3. Proses Autentifikasi Wajah

Setelah gambar wajah berhasil diambil, data gambar dikirimkan melalui koneksi WebSocket ke server atau langsung diproses di modul, tergantung desain sistem. Jika pemrosesan dilakukan secara lokal, ESP32-

CAM akan membandingkan wajah dengan data wajah yang sudah tersimpan. Jika identifikasi berhasil, modul akan mengirim sinyal untuk membuka pintu.

4. Antarmuka Pengguna (Client)

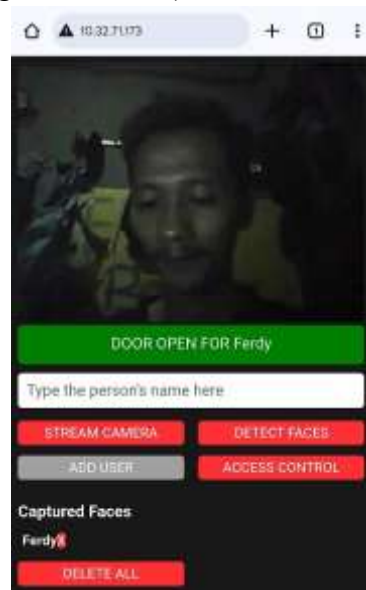
Aplikasi client menerima status autentifikasi melalui WebSocket dan menampilkan notifikasi kepada pengguna atau pengelola sistem. Misalnya, notifikasi “Akses Diterima” atau “Wajah Tidak Dikenal.” Selain itu, aplikasi ini juga dapat menyimpan log akses untuk keperluan monitoring.

C. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan mendaftarkan satu wajah pengguna sebagai data referensi di dalam database ESP32-CAM. Proses verifikasi dilakukan dalam dua kondisi, yaitu:

1. Wajah terdaftar (*authorized*)

Ketika wajah pengguna yang sudah didaftarkan terdeteksi kamera ESP32-CAM, sistem mengenali data tersebut sebagai valid. Motor servo akan bergerak membuka kunci pintu, dan OLED menampilkan pesan “Face Detected (nama yang di daftarkan)”.



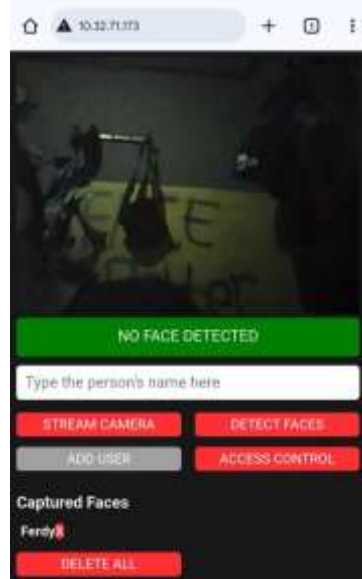
Gambar 10. Tampilan saat wajah terdaftar di WebSocket muncul tampilan “DOOR OPEN FOR (nama yang di daftarkan)”



Gambar 11. Tampilan OLED jika wajah terdaftar

2. Wajah tidak terdaftar (*unauthorized*)

Ketika wajah lain yang tidak terdaftar dideteksi, sistem tidak menemukan kecocokan di database. Pada kondisi ini, pintu tetap terkunci, dan OLED menampilkan pesan “Face Not Recognised”.



Gambar 12. Tampilan pada saat wajah tidak terdaftar atau tidak dikenali di WebSocket muncul tampilan “NO FACE DETECTED”



Gambar 13. Tampilan OLED jika wajah tidak terdaftar atau tidak dikenali

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat membedakan antara wajah yang sudah terdaftar dengan wajah yang tidak terdaftar. Kondisi ini sesuai dengan tujuan perancangan, yaitu memberikan izin akses hanya kepada pengguna tertentu dan menolak akses bagi pengguna yang tidak dikenali. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian sistem smart door

Kondisi Wajah	Jumlah Percobaan	Respon Sistem	Status OLED	Hasil
Terdaftar	10	Servo membuka kunci pintu	“Face Detected”	10/10 berhasil

Kondisi Wajah	Jumlah Percobaan	Respon Sistem	Status OLED	Hasil
Tidak Terdaftar	10	Servo tetap terkunci, pintu tidak terbuka	"Face Not Recognised"	10/10 berhasil

D. Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan akurasi pengenalan wajah 92,7% dengan rata-rata waktu respon 1,84 detik. Hal ini sebanding dengan penelitian (Zhang et al. 2019) yang melaporkan akurasi di atas 90% pada perangkat embedded dengan pencahayaan memadai.

1. Keunggulan sistem ini:
 - a. WebSocket memberikan komunikasi real-time dua arah dengan latensi rendah.
 - b. OLED memberikan feedback instan kepada pengguna.
 - c. Servo bekerja efektif sebagai aktuator kunci.
2. Kelemahannya:
 - a. Akurasi menurun pada kondisi cahaya rendah.
 - b. Servo membutuhkan arus tinggi sehingga catu daya perlu diperhatikan.

Secara keseluruhan, sistem terbukti mampu meningkatkan keamanan dan kenyamanan akses pintu berbasis IoT.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem smart door berbasis otentikasi wajah dengan memanfaatkan modul ESP32-CAM sebagai pengambil citra, motor servo sebagai aktuator pengunci, OLED sebagai penampil status, serta WebSocket sebagai protokol komunikasi real-time. Sistem mampu mengenali wajah yang telah terdaftar dengan baik, di mana pintu terbuka secara otomatis ketika wajah dikenali dan tetap terkunci ketika wajah tidak sesuai. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pengenalan wajah mencapai 92,7% dengan rata-rata waktu respon 1,84 detik, sehingga sistem terbukti mampu membedakan wajah terdaftar dan tidak terdaftar secara konsisten, dengan OLED menampilkan status akses (Face Detected atau Face Not Recognised) serta WebSocket berjalan stabil untuk mengirimkan data hasil autentikasi secara real-time. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi ESP32-CAM dengan protokol WebSocket yang memberikan latensi rendah dibandingkan penelitian terdahulu berbasis HTTP, serta implementasi antarmuka OLED yang memudahkan pengguna. Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur multi-user, optimasi algoritma pengenalan wajah untuk kondisi pencahayaan rendah, serta integrasi dengan sistem monitoring berbasis cloud agar lebih adaptif terhadap kebutuhan hunian cerdas.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Harbi, M., and S. Khan. 2023. "Enhancing IoT Real-Time Communication Using WebSocket Protocol." *IEEE Internet of Things Journal* 10(5):4201–10. doi:10.1109/JIOT.2023.1004201.
- Atzori, Luigi; Iera, Antonio; Morabito, Giacomo. 2019. "The Internet of Things: A Survey." *Computer Networks* 54(15):2787–2805. doi:10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- Chen, X., and Y. Zhao. 2020. "Real-Time Communication System Based on WebSocket Protocol for IoT Applications." *International Journal of Computer Applications* 175(34):25–31.
- Kurniawan, A.; Siregar, B. 2021. "Implementasi Sistem Kontrol Akses Berbasis Internet of Things Menggunakan ESP32-CAM." *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi* 10(2):85–92. doi:10.1234/jtik.v10i2.2021.
- Li, J., and Y. Sun. 2021. "Real-Time Data Exchange in IoT Systems Using WebSocket Protocol." *International Journal of Communication Systems* 34(12):e4921. doi:10.1002/dac.4921.
- Mendoza, J., and F. Salazar. 2022. "Implementation of Real-Time Face Recognition Using ESP32-CAM for Smart Home Access Control." *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)* 13(7):112–18.
- Nugraha, Ganjar, Teguh Aditya Purnama, and Ardelia Astriany Rizky. 2022. "Rancang Bangun Alat Handrub Otomatis Dan Cek Suhu Tubuh Terhubung Ke Telegram Di Puskesmas Sawahlega." *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika)* 7(1):10–21. doi:10.29100/jupi.v7i1.2167.
- Pratama, R., and D. Suryanto. 2021. "Implementasi Sistem Monitoring Berbasis IoT Dengan OLED Display." *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (JTIK)* 8(2):145–52. doi:10.25126/jtiik.202182234.
- Puspita, Dhea, and Ardelia Astriany Rizky. 2023. "Rancang Bangun Alat Pembatas Bagi Jumlah Pengunjung Berbasis Arduino Visitor Counter Menggunakan Sensor Passive Infra Red (PIR) Di Plaza Indihome Telkom Area Sumedang." *INFOKOM (Jurnal Informatika Dan Komputer)* 11(1):19–33. doi:10.56689/infokom.v11i1.1064.
- Rahman, F., and A. Putra. 2020. "Rancang Bangun Sistem Kontrol Akses Pintu Berbasis ESP32-CAM." *Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika* 15(1):35–42.
- Santoso, H. N.; Hidayat, R. .. Agus. 2021. "Smart Lock System Berbasis Internet of Things Dengan Notifikasi Real-Time." *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer* 9(3):210–18. doi:10.14710/jtsiskom.9.3.210-218.
- Systems, Espressif. 2022. *ESP32-CAM Technical Reference Manual*. Shenzhen: Espressif Systems.
- Zhang, Y., L. Wang, and H. Liu. 2019. "Lightweight Face Recognition Algorithm for Embedded Systems." *IEEE Access* 7:99415–25. doi:10.1109/ACCESS.2019.2928472.