



Implementasi Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis Face Recognition di Proactive Robotic: Integrasi ESP32-Cam dan Telegram

Heriyanto Syafutra^{1,*}, Thufeil Muhammad Nur Aziz², Inna Novianty³,
Irmansyah¹, Muhamad Chusnu⁴, Dwi Prayoga⁴

¹⁾ Divisi Fisika Terapan, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Bogor, Indonesia

²⁾ Program studi Teknologi Rekayasa Komputer sekolah Vokasi IPB, IPB University, Bogor, Indonesia

³⁾ Program studi Teknologi Rekayasa Komputer sekolah Vokasi IPB, IPB University, Bogor, Indonesia

⁴⁾ Proactive Robotic, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

*E-mail korespondensi: hsyafutra@apps.ipb.ac.id

Info Artikel:

Dikirim:
21 Juni 2024
Revisi:
29 Juni 2024
Diterima:
30 Juni 2024

Kata Kunci:

ESP32-Cam, keamanan IoT, kunci pintu otomatis, notifikasi real-time, pengenalan wajah

Abstract

The research focuses on implementing an automatic door lock system based on face recognition using the ESP32-Cam microcontroller and integrating it with the Telegram platform. The system is designed to enhance security at Proactive Robotic by leveraging IoT technology for office door access control. System design began with needs analysis and identification of existing security issues which do not integrate with other smart home systems at the institution. Development methods included hardware and software design, circuit schematic creation, PCB production, and physical assembly. System testing ensured facial detection, recognition, and essential solenoid operation in varying lighting conditions. Test results showed the system accurately recognizes registered faces under standard lighting, automatically unlocks doors, and sends real-time notifications via Telegram. However, system accuracy under low-light conditions needs improvement, as well as enhanced user data security to protect stored information privacy. This research contributes to developing IoT and face recognition-based security applications. The system successfully implements cutting-edge technology to improve physical security and access management in office environments, laying the foundation for future advancements in security technology.

PENDAHULUAN

Sistem keamanan konvensional biasanya berpeluang terjadinya tindakan kejahatan, seperti pencurian, terutama melalui lubang kunci pintu yang dapat dibobol [1], [2], [3]. Kelemahan tersebut menuntut adanya sistem keamanan digital yang lebih canggih dan andal. Salah satu solusinya adalah menerapkan sistem keamanan biometrik, seperti face recognition, mampu membatasi akses ke dalam ruangan berdasarkan identifikasi unik seseorang. Teknologi ini sudah banyak diterapkan pada berbagai perangkat modern seperti smartphone, laptop, dan

sistem keamanan rumah pintar, namun penerapannya pada pintu otomatis di lingkungan pendidikan masih terbatas.

Face recognition, atau pengenalan wajah, merupakan teknologi yang mengidentifikasi dan mengkonfirmasi identitas seseorang melalui fitur wajah [4], [5]. Prosesnya meliputi deteksi wajah, analisis geometri, pembuatan faceprint, dan verifikasi [6]. Analisis ini menghasilkan representasi numerik dari wajah (faceprint) yang digunakan untuk verifikasi identitas [7]. Teknologi face recognition dapat meningkatkan keamanan dibandingkan dengan sistem konvensional [8], serta memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan adaptabilitas yang baik terhadap kondisi pencahayaan yang berbeda [9].

Keberhasilan penerapan face recognition dalam berbagai perangkat modern menjadi dasar solusi keamanan ruangan di lembaga pendidikan seperti Proactive Robotics. Proactive Robotics adalah lembaga pendidikan yang fokus pada pembelajaran robotik dan mikrokontroler, termasuk IoT. Saat ini, lembaga tersebut telah menerapkan sistem smart home pada lampu ruang belajar, namun belum memiliki smart door lock atau kunci pintu otomatis. Sistem keamanan yang ada masih konvensional dan rawan dibobol, sehingga mengintegrasikan teknologi face recognition pada sistem kunci pintu otomatis akan meningkatkan keamanan. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan teknologi face recognition pada sistem kunci pintu otomatis di lingkungan pendidikan dengan integrasi IoT, yang belum banyak diteliti sebelumnya. Selain itu, sistem ini akan dilengkapi dengan fitur logging yang memberikan notifikasi real-time melalui Telegram, memungkinkan pemantauan akses secara efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem kunci pintu otomatis berbasis face recognition menggunakan mikrokontroler ESP32-Cam. Sistem ini akan diterapkan pada pintu ruangan Proactive Robotics dan diintegrasikan dengan aplikasi Telegram untuk notifikasi dan logging. Sistem ini akan memanfaatkan ESP32-Cam yang memiliki kamera, dukungan kartu microSD, Wi-Fi, dan Bluetooth, serta FTDI sebagai konverter sinyal USB ke TTL untuk komunikasi dengan komputer.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis, dimulai dari analisis masalah hingga pengujian sistem. Pada tahap pertama dilakukan indentifikasi dan pemecahan masalah yang ada yaitu keamanan pintu yang belum terintegrasi dengan sistem IoT, serta solusi yang mungkin dapat diterapkan. Setelah masalah teridentifikasi, tahap selanjutnya adalah perancangan sistem. Pada tahap ini, dilakukan perancangan sistem kunci pintu otomatis berbasis pendeteksi wajah. Perancangan ini mencakup desain sistem keseluruhan, mulai dari perangkat keras hingga perangkat lunak yang diperlukan. Komponen perangkat keras dan perangkat lunak ini disusun untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat berfungsi secara optimal dan sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Setelah tahapan perancangan, berikutnya adalah tahap implementasi, dimana desain yang telah dibuat direalisasikan. Pada tahap ini, kode program ditulis dan diunggah ke mikrokontroler ESP32-Cam menggunakan Arduino IDE. Skema rangkaian yang telah dirancang di Fritzing kemudian direalisasikan dengan komponen fisik. Papan sirkuit dibuat menggunakan Eagle, dan casing 3D dirancang dengan Blender untuk memastikan penempatan komponen sesuai dan rapi. Sistem kunci pintu otomatis ini juga diintegrasikan dengan Telegram untuk memberikan notifikasi ketika pintu dibuka.

Tahap terakhir adalah pengujian sistem. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Setiap komponen diuji secara individual dan kemudian sebagai bagian dari sistem keseluruhan. Jika ditemukan masalah, perbaikan dan pengembangan dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem. Sistem logging dan

notifikasi Telegram juga diuji untuk memastikan bahwa data siapa saja yang membuka kunci pintu tercatat dengan baik dan notifikasi terkirim tepat waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis masalah dan kebutuhan

Analisis permasalahan dilakukan dengan mengidentifikasi dan memecahkan masalah yang ada pada instansi Proactive Robotic, sebuah lembaga pendidikan dan pelatihan yang sering menerima study tour dari beberapa sekolah dan kampus. Instansi ini sudah memiliki beberapa alat smart home seperti lampu dan kipas angin pintar. Tetapi pintu kantor belum memiliki sistem keamanan terintegrasi dengan IoT. Untuk membuat sistem keamanan tersebut dibutuhkan perangkat keras dan lunak seperti yang terdapat pada Table 1 dan Table 2.

Tabel 1 Kebutuhan *hardware*

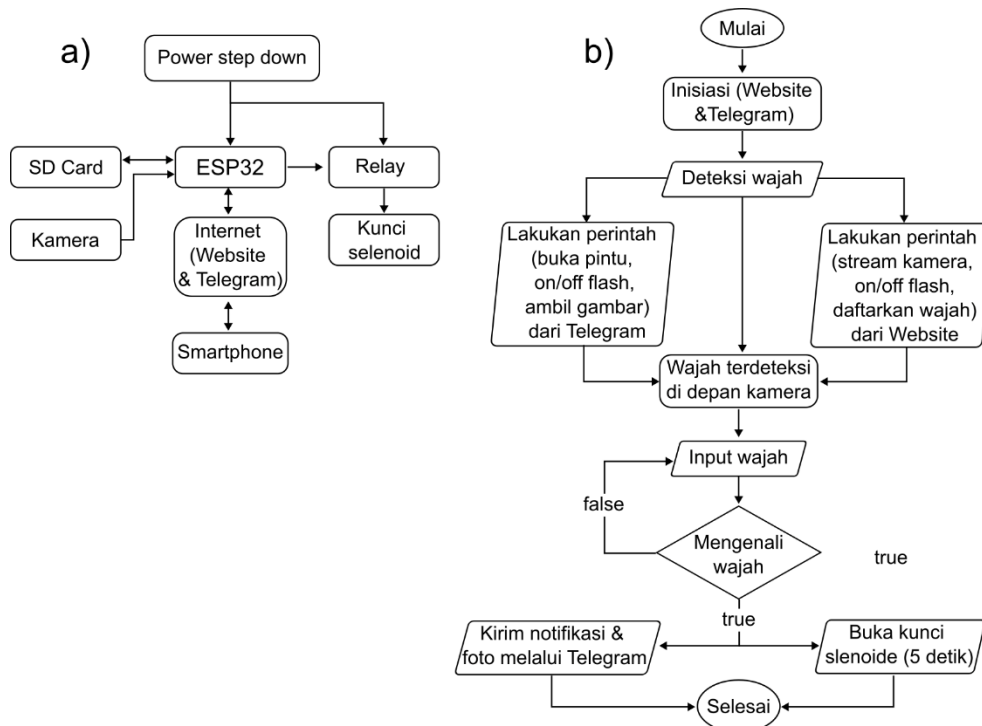
Hardware	Fungsi
ESP32-Cam	Microcontroller dan Kamera
Kartu memori	Menyimpan gambar
FTDI FT232RL	Menghubungkan ESP32-Cam dengan PC
Modul Relay	Saklar Elektromagnetik
Kunci Selenoid	Kunci Pintu Elektromagnetik
Mini 360 DC Buck Converter	Penurun Tegangan
Power Adaptor 12V DC	Sumber Tegangan
Project box	Casing alat

Tabel 2 Kebutuhan *software*

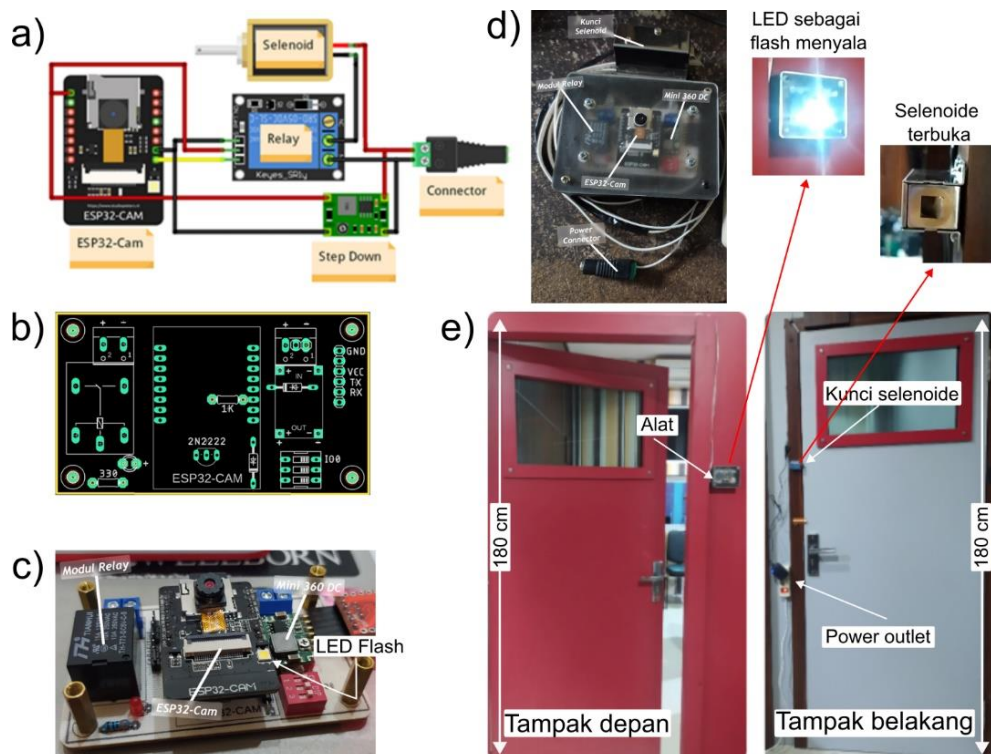
Software	Fungsi
Arduino IDE	Menulis dan mengunggah source code pada <i>microcontroller</i> ESP32-Cam
Fritzing	Merancang skema rangkaian alat
Eagle	Membuat papan sirkuit board yang sudah dirancang pada skema rangkaian
Blender	Membuat rancangan desain 3D <i>casing</i> dan rancangan penempatan alat
Telegram	Membuat bot untuk mengirimkan notifikasi dari alat

Perancangan dan implementasi

Perancangan alat dimulai dengan membuat diagram blok keterhubungan antar perangkat keras yang digunakan (Gambar 1a), alur kerja sistem (Gambar 1b), membuat rangkaian elektronik dan mencetaknya di PCB (Gambar 2a-2c), mendesain dan mencetak casing/box elektronik perangkat (Gambar 2d), dan menentukan titik penempatan alat (Gambar 2e).



Gambar 1. a) diagram blok keterhubungan perangkat yang digunakan, dan b) alur kerja dari sistem kunci pintu otomatis berbasis face recognition



Gambar 2. a) Skema rangkaian, b) desain letak komponen elektronik pada printed circuit board (PCB), c) foto komponen yang sudah dipasang pada PCB, d) foto Smart Door Lock, e) posisi penempatan alat pada pintu

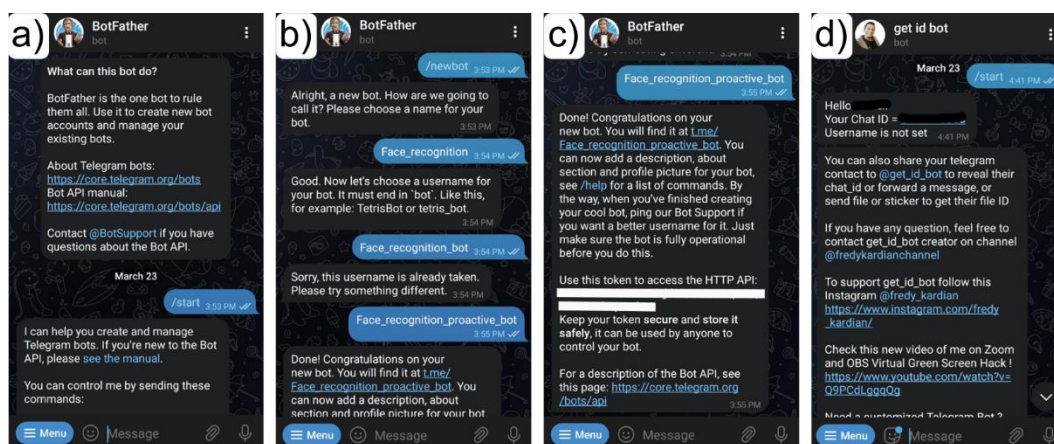
Pada Gambar 1a, ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang menerima tegangan 5V dari step down [10]. Kamera dan SD Card digunakan untuk menangkap dan menyimpan gambar, sementara kunci selenoid berfungsi untuk membuka dan mengunci pintu [11]. Antarmuka pengguna dilakukan melalui website dan Telegram yang terhubung melalui jaringan internet [12]

Pada Gambar 1b, flowchart menunjukkan proses kerja sistem yang dimulai dengan inisiasi ESP32-Cam untuk mencari dan terhubung ke jaringan internet yang telah terdaftar. Setelah terkoneksi, ESP32-Cam memeriksa gambar yang tersimpan di SD Card untuk didaftarkan sebagai wajah yang dikenal. Selanjutnya, ESP32-cam dapat melakukan perintah pada Telegram dan Website. Ketika kamera mendeteksi wajah, sistem mencocokkan matriks wajah yang tersimpan dengan wajah yang terdeteksi, setelah mengonversi gambar ke format RGB8888 untuk proses pengenalan. Jika wajah dikenali, sistem membuka kunci selenoid pintu selama 5 detik, serta mengirimkan notifikasi dan foto melalui Telegram. Namun, jika wajah tidak dikenali, sistem menampilkan label '*intruder*' saat streaming pada website dan tidak membuka kunci pintu.

Pada skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 2a, sumber tegangan 12V dari adaptor melalui konektor memberikan daya ke step down dan kunci selenoid. Karena ESP32-Cam hanya menggunakan tegangan 5V, digunakan Mini 360 DC step down untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V. Jika ESP32-Cam menerima tegangan kurang dari 5V, fitur "brownout detector" akan menghentikan operasinya, sedangkan jika menerima lebih dari 5V tanpa step down, ESP32-Cam kemungkinan akan terbakar. Pembuatan skematik rangkaian PCB menggunakan aplikasi Eagle ditunjukkan pada Gambar 2b. Setelah merancang skematik pada Eagle, skematik dicetak pada papan PCB polos. Proses pencetakan PCB melibatkan beberapa tahap: mencetak dan menyetrika kertas pada papan PCB, melarutkan PCB dalam larutan FeCl untuk menghilangkan logam yang tidak diperlukan, dan membolongi papan PCB pada lubang yang akan dipasang komponen seperti ESP32-Cam. Komponen kemudian dipasang pada papan PCB yang telah dicetak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2c.

Pada Gambar 2d, box menggunakan project box X4 berukuran 12.5cm x 8.5cm x 5cm yang pada bagian depan dari akrilik untuk tampilan menarik, kamera ESP32-Cam ditempatkan di tengah untuk membantu deteksi wajah. Kabel konektor dan kunci selenoid melalui lubang di sisi kiri casing. Box in dipasang pada pintu ruangan kantor direktur Proactive Robotics dengan posisi sejajar dengan wajah untuk memudahkan deteksi, sesuai dengan tinggi badan direktur (Gambar 2e). Project box memiliki bagian depan dari akrilik untuk tampilan menarik, dan alat dipasang pada pintu dengan ketinggian sejajar wajah seperti terlihat pada Gambar 30.

Konfigurasi Telegram dilakukan melalui beberapa tahapan untuk menghubungkan mikrokontroler dengan bot yang dibuat di aplikasi Telegram. Pertama, buat bot Telegram dengan mencari akun "BotFather" di Telegram dan memasukkan perintah `"/start"` (Gambar 3a). BotFather akan memberikan beberapa perintah, dan untuk membuat bot baru, gunakan perintah `"/newbot"` (Gambar 3b). Beri nama bot "`Face_recognition`" dan username "`Face_recognition_proactive_bot`". Setelah itu, BotFather akan menyediakan link akun bot dan token Telegram (Gambar 3c), yang dimasukkan ke dalam kode program mikrokontroler untuk menghubungkannya dengan akun bot. Akun bot ini hanya dapat diakses oleh akun dengan ID yang sudah terdaftar pada source code. Untuk mengetahui ID akun yang akan ditambahkan, gunakan bot Telegram bernama "`get id bot`" (Gambar 3d).

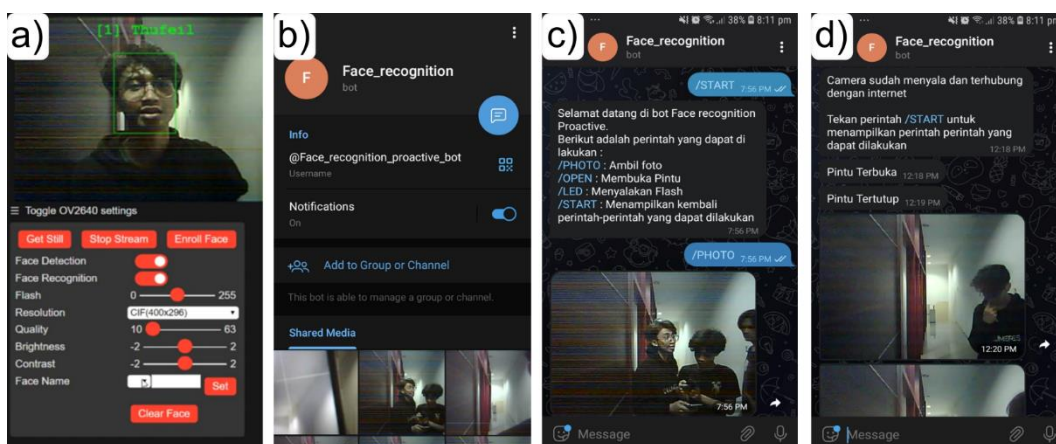


Gambar 3. Tangkapan layar dari a) Telegram bot, b) Botfather untuk membuat bot Telegram baru, c) API bot Telegram, d) ID bot Telegram

Pengujian

Pengujian sistem dilakukan secara berkala pada setiap tahap implementasi untuk memastikan alat berjalan dengan baik dan sesuai dengan tujuan awal. Jika terdapat kendala, maka dilakukan perbaikan agar alat dapat berfungsi optimal. Pengujian kamera ESP32-Cam dilakukan untuk memastikan kamera dapat menampilkan gambar atau video dengan benar. Ini dilakukan dengan menjalankan program dasar mikrokontroler melalui Arduino IDE dan memantau hasilnya melalui halaman web ESP32-Cam, yang menunjukkan stream video langsung dan fitur-fitur seperti deteksi dan pengenalan wajah. Gambar 4a menunjukkan halaman web dari ESP32-Cam yang berfungsi dengan baik, termasuk fitur-fitur seperti *Face Detection* dan *Face Recognition* yang menampilkan kotak di sekitar wajah untuk mendeteksi dan mengidentifikasi wajah. Tiga tombol utama "*Get Still*" untuk mengambil gambar, "*Start/Stop Stream*" untuk memulai atau menghentikan streaming kamera, dan "*Enroll Face*" untuk mendaftarkan wajah ke sistem, semuanya berfungsi dengan baik, meskipun ID wajah yang terdaftar bersifat sementara dan akan hilang jika alat kehilangan daya. Fitur konfigurasi kamera seperti *flash*, *resolution*, *quality*, *brightness*, dan *contrast* juga berfungsi dengan baik. Fitur "*Face Name*" menampilkan nama di atas wajah yang terdaftar pada sistem dan berfungsi dengan baik, sementara tombol "*Clear Face*" digunakan untuk menghapus ID wajah dan juga berfungsi dengan baik.

Pada Pengujian jarak deteksi pada kamera menunjukkan bahwa kamera dapat mendeteksi wajah dalam rentang jarak 10 m hingga 25 m serta dapat membuka kunci selenoid, namun pada jarak di atas 30 m kamera tidak dapat mendeteksi wajah sehingga kunci selenoid tidak terbuka. Selain itu, kamera juga sudah dilakukan pengujian pada kondisi pencahayaan dan respons terhadap pengenalan wajah serta operasi kunci selenoid. Dalam kondisi lampu ruangan menyala, sistem mampu secara konsisten mengenali wajah yang terdaftar, kunci selenoid terbuka, waktu respons 1-1,4 detik. Namun, saat lampu ruangan mati, sistem tidak dapat mengenali wajah yang terdaftar, kunci selenoid tertutup, waktu respons 0 detik. Saat lampu mati, tetapi flash dinyalakan sistem mampu mengenali wajah terdaftar dalam waktu 1,2 detik dan membuka kunci selenoid.



Gambar 4. Tangkapan layar dari a) Halaman Website, b) *Bot Face_recognition*, c) Telegram berhasil menerima kiriman gambar dari alat, d) notifikasi yang diterima Telegram saat alat melakukan aksi membuka kunci pintu.

Pengujian Telegram dilakukan untuk menguji fungsi perintah pada bot Telegram yang terintegrasi dengan sistem kunci pintu otomatis menggunakan *face recognition*. Langkah awal pengujian meliputi penambahan bot dengan mencari username yang telah dibuat pada akun *BotFather* seperti yang terlihat pada Gambar 4b. Pengujian dilakukan dengan membatasi penggunaan hingga dua ID agar fitur-fitur pada Telegram tidak terhalang oleh delay dari alat dan kinerja alat tetap optimal. Pengujian pertama menggunakan perintah `"/START"` untuk menginisiasi bot dan menguji beberapa perintah lainnya seperti `"/OPEN"` untuk membuka kunci pintu secara manual jika face recognition tidak berfungsi, serta `"/LED"` untuk menyalakan flashlight pada ESP32-Cam dalam kondisi ruangan gelap. Pada pengujian pertama tersebut, semua fitur dapat berkerja dengan baik. Selanjutnya dilakukan Pengujian pengambilan gambar langsung dari kamera ESP32-Cam menggunakan perintah `"/PHOTO"` (Gambar 4c). Pengujian terakhir adalah menguji notifikasi yang diterima saat pintu dibuka menggunakan face recognition, yang mencakup pengiriman gambar dan pesan notifikasi, terlihat dalam Gambar 4d. Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa Telegram berfungsi dengan baik dalam interaksi dengan sistem kunci pintu otomatis menggunakan face recognition.

Pengujian jaringan terhadap Telegram dilakukan untuk menguji responsivitas sistem dalam mengirimkan notifikasi dan gambar melalui aplikasi telegram. Pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat responsivitas sistem secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi jaringan. Semakin buruk kondisi jaringan yang terhubung, respons sistem akan semakin lambat, sedangkan kondisi jaringan yang baik akan mendukung respons yang lebih cepat. Evaluasi ini penting untuk memastikan sistem dapat beroperasi secara optimal tergantung pada kondisi jaringan yang tersedia.

Tabel 3. Pengujian koneksi telegram pada beberapa kondisi jaringan

Kondisi Jaringan	NotifikasiTerkirim	GambarTerkirim	Waktu Respon (detik)
Baik	True	True	1
Buruk 2	False	False	Tidak merespon
Buruk 1	True	False	2,4
Baik	True	True	1,4
Buruk 1	True	True	5

Uji Terima Pengguna (UAT) dilakukan oleh end user untuk menguji fungsi utama sistem. Pengujian melibatkan dua pengguna: satu dengan wajah yang sudah terdaftar dan satu lagi dengan wajah yang belum terdaftar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi dan mengenali wajah yang terdaftar, membuka kunci pintu, dan mengirim notifikasi Telegram sesuai dengan fungsinya. Sebaliknya, wajah yang tidak terdaftar terdeteksi namun tidak dikenali, sehingga kunci tidak terbuka dan notifikasi tidak dikirim.

Pembahasan

Hasil dari pengujian membuktikan bahwa sistem kunci pintu otomatis berbasis face recognition menggunakan mikrokontroler ESP32-Cam dan Telegram berhasil beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Sistem ini efektif meningkatkan keamanan dengan mengontrol akses pintu hanya kepada pengguna yang telah terdaftar, serta memberikan notifikasi secara real-time melalui platform Telegram ketika akses terjadi [13], [14].

Dari perspektif fisika, sistem ini memanfaatkan dua prinsip dasar utama: elektromagnetisme untuk operasi modul relay dan kunci selenoid, serta optik untuk deteksi dan pengenalan wajah menggunakan kamera ESP32-Cam [14]. Modul relay dan kunci selenoid berfungsi secara otomatis untuk membuka dan menutup kunci pintu berdasarkan sinyal yang dikirim dari mikrokontroler, sementara kamera merekam gambar untuk mengenali wajah yang telah terdaftar dalam sistem. Penerapan teknologi face recognition juga telah memanfaatkan keunggulan dalam akurasi dan keandalannya sebagai metode biometrik [11], [14]. Integrasi dengan Telegram sebagai platform notifikasi memberikan keunggulan tambahan dengan memfasilitasi komunikasi real-time antara perangkat dan pengguna, memanfaatkan API Telegram untuk interaksi yang lebih efisien dan efektif.

Penelitian ini memiliki beberapa kelebihan; Pertama, penggunaan mikrokontroler ESP32-Cam yang terintegrasi dengan kamera memungkinkan sistem untuk tidak hanya mendeteksi, tetapi juga mengenali wajah secara real-time [2], [10]. ESP32-Cam telah terbukti efektif dalam aplikasi IoT yang membutuhkan pengolahan gambar dan komunikasi data melalui WiFi. Keunggulan ini menjadikan sistem lebih fleksibel dan mudah diimplementasikan dalam berbagai lingkungan. Kedua, integrasi dengan platform Telegram untuk notifikasi memberikan keunggulan dalam hal interaksi antara sistem dan pengguna. Telegram menawarkan API yang dapat digunakan untuk mengirimkan pesan secara otomatis, sehingga pengguna dapat menerima informasi tentang akses pintu secara instan dan efisien. Hal ini meningkatkan responsivitas sistem dan memudahkan pengelolaan akses ke ruangan [15], [16].

Namun, riset ini juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, sistem deteksi wajah masih memerlukan peningkatan dalam hal keakuratan, terutama dalam kondisi pencahayaan yang tidak ideal. Peningkatan algoritma pengenalan wajah dan adaptasi terhadap berbagai kondisi lingkungan cahaya akan menjadi fokus penting untuk penelitian mendatang. Selain itu, aspek keamanan sistem ini juga perlu diperhatikan lebih lanjut, terutama dalam melindungi data pengguna yang tersimpan dalam sistem dan memastikan tidak adanya celah keamanan yang dapat dimanfaatkan oleh pihak yang tidak berwenang. Penerapan protokol keamanan yang lebih kuat dan audit keamanan secara berkala menjadi krusial untuk menjaga integritas dan privasi data pengguna.

Secara keseluruhan, meskipun riset ini menunjukkan kemajuan signifikan dalam mengimplementasikan sistem kunci pintu otomatis berbasis face recognition menggunakan ESP32-Cam dan Telegram, terdapat ruang untuk pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan performa, keamanan, dan fleksibilitas sistem dalam berbagai skenario aplikasi IoT dan keamanan. Pendekatan yang dapat dilakukan adalah meningkatkan algoritma deteksi dan pengenalan wajah agar lebih adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan. Penggunaan

teknologi pengolahan citra yang lebih canggih dan pengembangan model deep learning agar keakuratan sistem dapat ditingkatkan. Selain itu, penting untuk melakukan evaluasi keamanan sistem secara menyeluruh dengan mengimplementasikan protokol keamanan yang lebih kuat, termasuk enkripsi data dan mekanisme autentikasi ganda untuk melindungi privasi pengguna.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kunci pintu otomatis berbasis face recognition yang efektif menggunakan ESP32-Cam dan Telegram. Sistem ini memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas, keamanan, dan kemudahan integrasi dengan aplikasi komunikasi seperti Telegram. Dengan memanfaatkan teknologi mikrokontroler dan IoT, sistem ini dapat diimplementasikan secara luas dalam berbagai lingkungan dan skenario keamanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam mendeteksi dan mengenali wajah, serta memberikan respons notifikasi yang cepat dan akurat kepada pengguna yang berwenang. Namun, masih ada ruang untuk peningkatan dalam hal akurasi deteksi wajah terutama di bawah kondisi pencahayaan yang buruk dan untuk memperkuat aspek keamanan data pengguna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada lembaga pendidikan *Proactive Robotic* atas segala dukungannya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. F. Siallagan and T. Tita, "Di Rancang Bangun Sistem Keamanan Terhadap Kunci Ruang Berbasis Bot Telegram Menggunakan Mikrokontroler Esp8266," *J. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 45–54, Aug. 2020, doi: 10.47292/joint.v2i2.23.
- [2] C. Kolluru, A. G V, S. P. S, K. R. D, and A. S. Kumar, "Development of Face Recognition-Based Smart Door Lock System with Remote Servo Control Authentication," in *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, IEEE, Jul. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCCNT56998.2023.10307437.
- [3] Y. Motwani, S. Seth, D. Dixit, A. Bagubali, and R. Rajesh, "Multifactor door locking systems: A review," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 7973–7979, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.708.
- [4] S. Saleem, J. Shiney, B. Priestly Shan, and V. Kumar Mishra, "Face recognition using facial features," *Mater. Today Proc.*, vol. 80, pp. 3857–3862, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.402.
- [5] L. Li, X. Mu, S. Li, and H. Peng, "A Review of Face Recognition Technology," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 139110–139120, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3011028.
- [6] K. Juneja and C. Rana, "An Extensive Study on Traditional-to-Recent Transformation on Face Recognition System," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 118, no. 4, pp. 3075–3128, Jun. 2021, doi: 10.1007/s11277-021-08170-3.
- [7] M. Zulfiqar, F. Syed, M. J. Khan, and K. Khurshid, "Deep Face Recognition for Biometric Authentication," in *2019 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, IEEE, Jul. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICECCE47252.2019.8940725.
- [8] R. V. Petrescu, "Face Recognition as a Biometric Application," *SSRN Electron. J.*, 2019, doi: 10.2139/ssrn.3417325.
- [9] M. Chowdhury, J. Gao, and R. Islam, "Biometric Authentication Using Facial Recognition," 2017, pp. 287–295. doi: 10.1007/978-3-319-59608-2_16.

- [10] C. G. C. Carducci, A. Monti, M. H. Schraven, M. Schumacher, and D. Mueller, "Enabling ESP32-based IoT Applications in Building Automation Systems," in *2019 II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT)*, IEEE, Jun. 2019, pp. 306–311. doi: 10.1109/METROI4.2019.8792852.
- [11] S. A. Radzi, M. K. M. F. Alif, Y. N. Athirah, A. S. Jaafar, A. H. Norihan, and M. S. Saleha, "IoT based facial recognition door access control home security system using raspberry pi," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 11, no. 1, p. 417, Mar. 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i1.pp417-424.
- [12] A. RidzaAzri Ramlee, Eric Law Chee Yong, Siva Kumar Subramaniam, AsemKhmag and S. Rahman, "Home Switching using IoT System via Telegram and Web User Interface," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 2S6, pp. 814–819, Sep. 2019, doi: 10.35940/ijrte.B1151.0782S619.
- [13] B. Yanto, B. Basorudin, S. Anwar, A. Lubis, and K. Karmi, "Smart Home Monitoring Pintu Rumah Dengan Identifikasi Wajah Menerapkan Camera ESP32 Berbasis IoT," *J. Sisfokom (Sistem Inf. dan Komputer)*, vol. 11, no. 1, pp. 53–59, Mar. 2022, doi: 10.32736/sisfokom.v11i1.1180.
- [14] R. Josphineleela, D. Lekha, L. Natrayan, and K. C. Purohit, "Biometric Aided Intelligent Security System Built using Internet of Things," in *2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*, IEEE, Mar. 2023, pp. 548–551. doi: 10.1109/ICEARS56392.2023.10085572.
- [15] M. Barthelmäs, M. Killinger, and J. Keller, "Using a Telegram chatbot as cost-effective software infrastructure for ambulatory assessment studies with iOS and Android devices," *Behav. Res. Methods*, vol. 53, no. 3, pp. 1107–1114, Jun. 2021, doi: 10.3758/s13428-020-01475-4.
- [16] M. Idhom, A. Fauzi, R. Alit, and H. E. Wahanani, "Implementation System Telegram Bot for Monitoring Linux Server," in *Proceedings of the International Conference on Science and Technology (ICST 2018)*, Paris, France: Atlantis Press, 2018. doi: 10.2991/icst-18.2018.219.