

---

**IMPLEMENTASI SISTEM KEAMANAN RUMAH BERBASIS FACE RECOGNITION  
DENGAN PERINGATAN ALARM OTOMATIS MENGGUNAKAN  
METODE LOCAL BINARY PATTERNS HISTOGRAM**

**Jonathan Crystal Galle Oppier<sup>1</sup>, Abdul Kholiq<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Prodi Teknik Informatika, Universitas Satya Negara Indonesia

<sup>2</sup>Prodi Sistem Informasi, Universitas Satya Negara Indonesia

gallejnthn@gmail.com, abdulkholiq@usni.ac.id

Correspondent author : abdulkholiq@usni.ac.id

<b>Tgl. Diterima</b>	<b>Tgl. Revisi</b>	<b>Tgl. Disetujui</b>	<b>Tgl. Terbit</b>
10 Mei 2026	15 Mei 2026	21 Mei 2026	31 Mei 2026

---

**Abstract**

This research aims to design and implement a home security system based on facial recognition that is capable of working in real-time and integrated with the Internet of Things (IoT), in order to overcome the limitations of conventional security systems that are not yet able to detect and respond to potential threats automatically and still rely on manual supervision. The system was developed using an ESP32-CAM module with a Local Binary Pattern Histogram (LBPH) algorithm for the facial identification process, and is integrated with a buzzer and the Telegram application as a two-layer warning system. The method used is prototyping with an iterative approach for two months through direct testing in a residential environment. The test results show that the system is able to recognize faces with 95.42% accuracy, provides a fast response, and works stably in various lighting conditions. The conclusion of this research shows that the system is effective, economical, and can be implemented without major changes to the building structure. This system also shows potential for further development on a more complex smart home scale.

**Keywords :** Home Security, Face Recognition, LBPH, ESP32-CAM, Telegram, IoT

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan rumah berbasis pengenalan wajah yang mampu bekerja secara real-time dan terintegrasi dengan Internet of Things (IoT), guna mengatasi keterbatasan sistem keamanan konvensional yang belum mampu mendeteksi serta merespons potensi ancaman secara otomatis dan masih bergantung pada pengawasan manual. Sistem dikembangkan menggunakan modul ESP32-CAM dengan algoritma Local Binary Pattern Histogram (LBPH) untuk proses identifikasi wajah, serta diintegrasikan dengan buzzer dan aplikasi Telegram sebagai sistem peringatan dua lapis. Metode yang digunakan adalah prototyping dengan pendekatan iteratif selama dua bulan melalui pengujian langsung di lingkungan rumah tinggal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali wajah dengan akurasi 95,42%, memberikan respons cepat, serta bekerja stabil dalam berbagai kondisi pencahayaan. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dibangun efektif, ekonomis, dan dapat diimplementasikan tanpa perubahan besar pada struktur bangunan. Sistem ini juga menunjukkan potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala smart home yang lebih kompleks.

**Kata Kunci :** Keamanan Rumah, Pengenalan Wajah, LBPH, ESP32-CAM, Telegram, IoT

---

## PENDAHULUAN

Keamanan rumah menjadi kebutuhan yang semakin penting seiring meningkatnya kasus kriminalitas seperti pencurian dan perampokan. Namun, sistem keamanan konvensional yang masih mengandalkan kunci manual atau pengawasan pasif memiliki berbagai kelemahan, seperti mudah disalahgunakan dan lambat dalam merespons ancaman. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan yang lebih cerdas, otomatis, dan mampu memberikan perlindungan secara proaktif. Salah satu teknologi yang dinilai efektif adalah pengenalan wajah (face recognition), karena mampu mengidentifikasi individu secara otomatis, membatasi akses hanya kepada pengguna yang terdaftar, serta mendeteksi keberadaan orang yang tidak dikenal secara akurat.

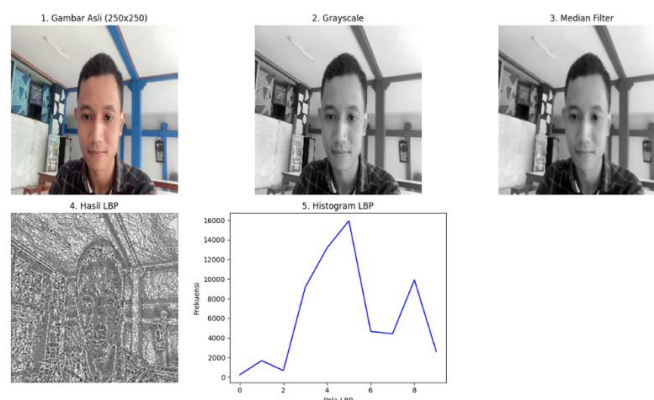
Dalam penelitian ini, metode Local Binary Pattern Histogram (LBPH) dipilih sebagai teknik utama pengenalan wajah karena memiliki tingkat akurasi dan ketahanan yang tinggi terhadap perubahan pencahayaan maupun sudut pandang. Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode LBPH mampu mencapai akurasi hingga 100% pada pengujian real-time dan menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan metode Eigenface yang hanya mencapai akurasi sekitar 63,54%. Keunggulan tersebut menjadikan LBPH sebagai metode yang andal untuk diterapkan pada sistem keamanan rumah berbasis pengenalan wajah.

Untuk meningkatkan efektivitas keamanan, sistem yang dikembangkan tidak hanya mengandalkan pengenalan wajah, tetapi juga mengintegrasikan alarm otomatis, notifikasi real-time melalui Telegram, serta pencatatan log aktivitas berbasis Internet of Things (IoT). Alarm akan aktif ketika sistem mendeteksi wajah yang tidak dikenali sehingga dapat memberikan peringatan langsung sebelum notifikasi diterima oleh pengguna. Dengan integrasi fitur-fitur tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem keamanan rumah yang lebih responsif, terintegrasi, dan mampu memberikan perlindungan yang lebih optimal melalui implementasi face recognition menggunakan metode LBPH.

## LANDASAN TEORI

### 1. LOCAL BINARY PATTERN HISTOGRAM (LBPH)

Local Binary Pattern Histogram (LBPH) adalah metode ekstraksi fitur yang banyak digunakan dalam sistem pengenalan wajah karena keakuratannya yang tinggi serta efisiensi komputasi yang baik. Metode ini bekerja dengan membandingkan intensitas piksel di sekitar piksel pusat dalam sebuah patch berukuran kecil (biasanya 3x3), dan mengubah hasil perbandingan tersebut ke dalam bentuk kode biner. Kode biner ini kemudian dikonversi ke nilai desimal yang mewakili tekstur lokal dari wajah tersebut. Selanjutnya, histogram dari nilai-nilai LBP disusun dan digunakan sebagai vektor fitur yang menggambarkan karakteristik unik dari setiap wajah. Citra wajah yang digunakan biasanya telah dikonversi ke grayscale dan dibagi menjadi beberapa blok, di mana histogram dari tiap blok dikombinasikan menjadi satu vektor fitur global. Dalam proses identifikasi, sistem membandingkan vektor fitur wajah baru dengan data yang tersimpan di database menggunakan ukuran jarak seperti Euclidean Distance untuk menentukan tingkat kemiripan wajah (Ahonen et al., 2006).



**Gambar 2.1** Contoh Penerapan LBPH

## 2. COMPUTER VISION

Computer vision adalah cabang dari kecerdasan buatan yang berfokus pada kemampuan sistem komputer untuk memperoleh, memproses, dan memahami informasi dari data visual seperti gambar dan video. Menurut Szeliski (2020), tujuan utama dari bidang ini adalah meniru cara manusia dalam menginterpretasikan visual, sehingga sistem mampu mengenali objek, pola, dan karakteristik tertentu dari citra yang diamati. Dalam implementasinya, computer vision mencakup berbagai teknik seperti pengolahan citra digital, deteksi objek, dan pengenalan pola. Salah satu pendekatan yang berkembang pesat dalam bidang ini adalah pembelajaran mendalam (deep learning), khususnya melalui penggunaan convolutional neural networks (CNN).

## 3. FACE RECOGNITION

Pengenalan wajah (face recognition) adalah metode biometrik yang digunakan untuk mengidentifikasi atau memverifikasi identitas seseorang berdasarkan karakteristik unik pada wajah. Menurut Zhao, Chellappa, dan Phillips (2021), proses kerja sistem face recognition terdiri dari beberapa tahapan, yaitu deteksi wajah, ekstraksi fitur, dan pencocokan dengan data yang tersimpan di basis data. Pada tahap awal, sistem mendeteksi wajah dari citra atau rekaman video menggunakan algoritma seperti Haar Cascade. Setelah wajah terdeteksi, sistem mengekstraksi fitur-fitur penting dari wajah, seperti jarak antar mata, bentuk hidung, atau kontur wajah, yang berguna untuk membedakan individu. Tahap akhir adalah proses pencocokan, di mana fitur yang telah diekstraksi dibandingkan dengan data dalam database untuk menentukan identitas orang tersebut. Teknologi ini banyak digunakan dalam berbagai bidang, termasuk sistem keamanan, autentikasi identitas, dan pengawasan (Zhao, Chellappa, & Phillips, 2021).

## 4. INTERNET OF THINGS

Menurut Putra (2020), Internet of Things adalah sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus, memungkinkan mesin, peralatan, dan benda fisik lainnya terhubung dengan sensor, jaringan, dan aktuator. Dengan koneksi ini, perangkat-perangkat tersebut dapat mengumpulkan data, mengelola kinerjanya secara otomatis, serta melakukan tindakan berdasarkan informasi yang diperoleh secara independen. IoT merupakan gagasan bahwa berbagai objek di dunia nyata dapat saling terhubung dan berkomunikasi dalam satu sistem yang terintegrasi melalui jaringan internet. Implementasi praktis dari konsep ini dapat ditemukan pada sistem pengawasan CCTV yang terhubung ke ruang kontrol dari jarak jauh, atau rumah pintar (smart home) yang dapat dikendalikan menggunakan smartphone.

## 5. MIKROKONTROLER ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems dan telah menjadi komponen kunci dalam berbagai aplikasi Internet of Things (IoT). Salah satu keunggulan utama dari perangkat ini adalah kemampuannya untuk mendukung konektivitas nirkabel, termasuk Wi-Fi dan Bluetooth, secara terintegrasi. Selain itu, ESP32 dilengkapi dengan antarmuka komunikasi standar seperti GPIO, ADC, DAC, SPI, I2C, dan UART, yang memungkinkan interaksi dengan berbagai sensor dan aktuator. Fitur-fitur ini menjadikan ESP32 pilihan yang ideal untuk membangun sistem otomasi dan pemantauan jarak jauh, termasuk sistem keamanan berbasis pengenalan wajah (Espressif Systems, 2020). Dari segi fleksibilitas pengembangan, ESP32 kompatibel dengan beberapa platform pemrograman populer seperti Arduino IDE dan MicroPython. Dukungan terhadap berbagai lingkungan pengembangan ini memberikan kemudahan bagi pengembang untuk membangun sistem sesuai dengan kebutuhan spesifik (Suwardono & Puspitasari, 2023).



**Gambar 2.4** Komponen ESP 32 CAM

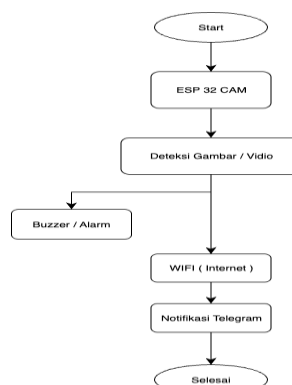
## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem keamanan rumah yang berbasis ESP32-CAM dengan teknologi pengenalan wajah. Fokus utama dari penelitian ini adalah menciptakan sistem yang dapat meningkatkan tingkat keamanan rumah dengan memanfaatkan fitur pengenalan wajah, serta dilengkapi dengan alarm otomatis sebagai sistem peringatan ketika terdeteksi adanya ancaman. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian pengembangan (research and development), yang bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi sistem keamanan rumah berbasis ESP32-CAM. Sistem ini dirancang untuk mengenali wajah penghuni rumah dan memberikan notifikasi atau peringatan melalui alarm otomatis jika terdeteksi wajah yang tidak dikenal atau aktivitas mencurigakan. Jenis penelitian yang diterapkan adalah deskriptif eksperimental, di mana peneliti mendeskripsikan sistem yang dikembangkan secara rinci dan melakukan pengujian terhadap kinerja sistem, khususnya dalam hal akurasi pengenalan wajah dan efektivitas sistem alarm otomatis. Selain itu, penelitian ini juga bersifat korelasional, dengan mengkaji hubungan antara keberhasilan pengenalan wajah dan tingkat keefektifan alarm dalam menjaga keamanan. Proses penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan berikut :

1. Analisis Kebutuhan: Tahap ini mencakup identifikasi dan pemahaman terhadap kebutuhan pengguna serta permasalahan yang terkait dengan sistem keamanan rumah, yang kemudian menjadi dasar untuk perancangan sistem.<sup>[1]</sup>
2. Perancangan Sistem: Pada tahap ini, dilakukan perancangan sistem keamanan berbasis ESP32-CAM. Proses perancangan meliputi pemilihan dan penentuan komponen utama seperti modul ESP32-CAM, buzzer atau alarm otomatis, serta skema integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak.<sup>[1]</sup>
3. Pengembangan Sistem: Tahap ini melibatkan implementasi desain sistem yang telah dibuat, dengan mengintegrasikan semua komponen baik hardware maupun software sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.<sup>[1]</sup>
4. Pengujian Sistem: Pengujian dilakukan terhadap sistem yang telah dikembangkan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi dan fitur berjalan dengan baik, serta mampu merespons ancaman dengan tepat.<sup>[1]</sup>
5. Evaluasi Hasil Pengujian: Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap hasil pengujian sistem. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai apakah sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu meningkatkan keamanan rumah dengan teknologi pengenalan wajah yang responsif dan alarm otomatis yang efektif.

## Perancangan Alat

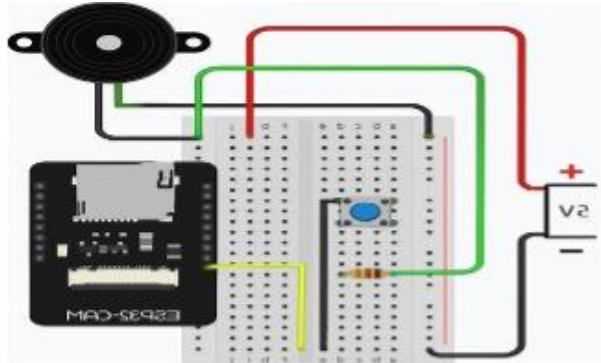
Perancangan alat merupakan proses merancang suatu perangkat berdasarkan kebutuhan tertentu, dengan tujuan agar alat tersebut dapat berfungsi secara efektif dan efisien. Tahapan ini mencakup identifikasi kebutuhan, penentuan spesifikasi, pemilihan komponen, hingga pembuatan prototipe. Proses ini penting untuk menghasilkan alat yang sesuai fungsi dan dapat diandalkan dalam penggunaannya.



**Gambar 3.2** Perancangan Alat

### Diagram Rancangan

Tahapan merancang skema sistem yang menghubungkan komponen utama: ESP32-CAM dan *buzzer* aktif. ESP32-CAM berfungsi sebagai pusat kendali yang menangkap gambar, melakukan proses identifikasi wajah, serta mengirimkan hasil ke *server*. Apabila wajah tidak terdaftar dalam basis data, sistem akan mengaktifkan *buzzer* sebagai alarm peringatan sekaligus mengirimkan notifikasi melalui Telegram.



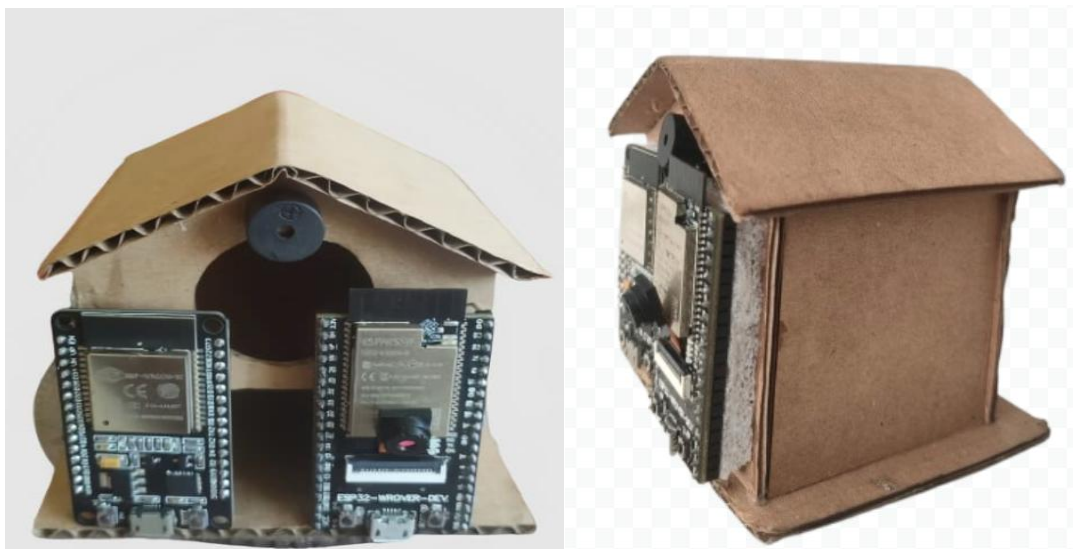
**Gambar 4.2** Simulasi Visualisasi Alat ESP32-CAM dan Buzzer

Simulasi dilakukan melalui Arduino IDE untuk menguji alur kontrol ESP32-CAM terhadap buzzer melalui pin GPIO12. Skenario uji mencakup kondisi wajah dikenali (akses diizinkan, buzzer off) dan wajah tidak dikenali (akses ditolak, buzzer aktif).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### PROTOYPE ALAT

Prototype alat dikembangkan dengan menggunakan ESP32-CAM sebagai mikrokontroler utama yang dilengkapi dengan kamera untuk mendeteksi wajah. Sistem ini juga dilengkapi dengan buzzer yang berfungsi sebagai alarm yang akan aktif jika wajah yang terdeteksi tidak dikenali. Rangkaian perangkat keras disusun menggunakan jumper wire, dan buzzer dikendalikan melalui salah satu pin GPIO pada ESP32, seperti GPIO 14 atau GPIO 2. Untuk casing, digunakan kardus sebagai wadah sederhana untuk pemasangan komponen, yang bertujuan untuk mempermudah proses uji coba sistem.



### Gambar 4.5 Prototipe Alat

Gambar tersebut menampilkan wujud fisik prototipe sistem keamanan rumah berbasis pengenalan wajah yang telah dirakit, menunjukkan integrasi antara modul ESP32-CAM, buzzer, dan komponen pendukung lainnya dalam sebuah casing sederhana.

### PERANGKAT LUNAK

Melakukan tahapan coding untuk menerapkan logika program pada perangkat board, dimana dalam implementasi tersebut menggunakan Interface Development Environment dari Ardiono IDE. Sehingga setelah pengembangan sistem pada Arduino IDE dilakukan dan upload pada mikrotroller, maka perangkat baru akan berfungsi dengan baik. Adapun tahapan implementasi perangkat lunak tersebut Adalah sebagai berikut :

1. Inisialisasi koneksi WiFi → agar ESP32-CAM dapat mengakses jaringan internet.
2. Konfigurasi kamera → mengatur resolusi citra dan format JPEG.
3. Integrasi dengan Telegram Bot API → agar sistem bisa mengirim notifikasi otomatis.
4. Aktivasi buzzer → ketika wajah yang terdeteksi tidak dikenali.
5. Pengenalan wajah (LBPH) → dijalankan di sisi server menggunakan Python-OpenCV.



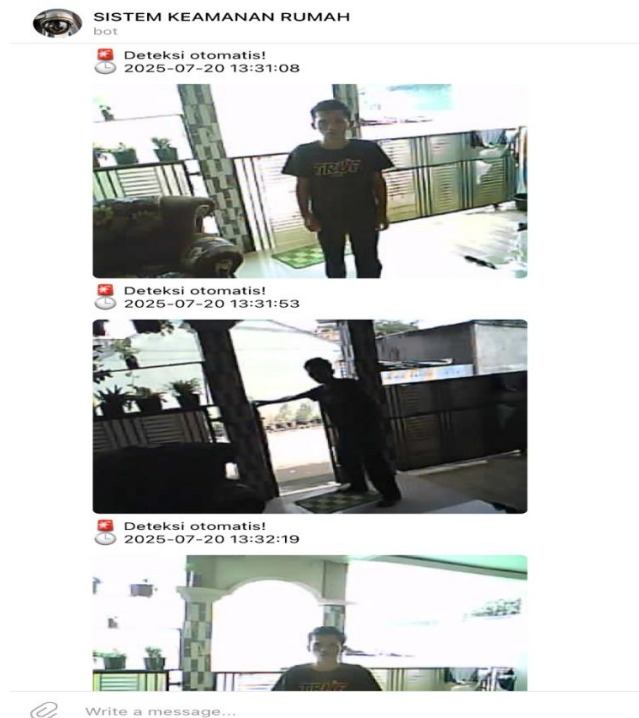
```
← → ↻ ⓘ 127.0.0.1:5000/klasifikasi
Pretty-print 
[
  {
    "confidence": 0.982,
    "label": "Jonathan"
  },
  {
    "confidence": 0.963,
    "label": "Clara"
  },
  {
    "confidence": 0.915,
    "label": "Unik"
  },
  {
    "confidence": 0.443,
    "label": "Unknown"
  }
]
```

Gambar 4.7 Output Server pada Serial Monitor ESP32-CAM

### PENGUJIAN

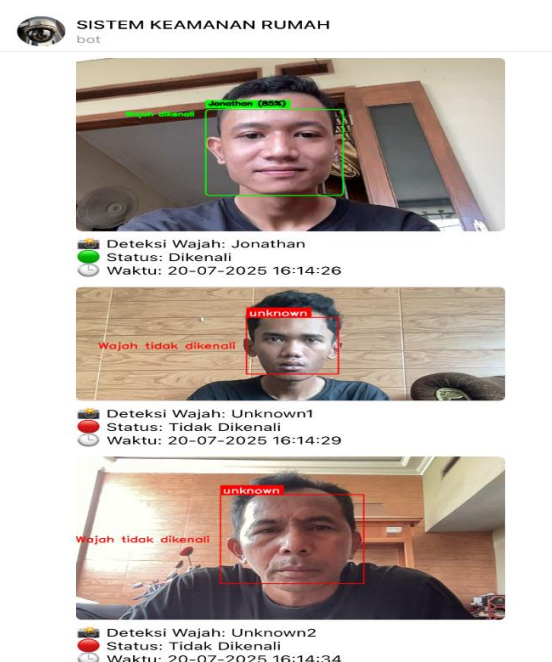
Pengujian lebih lanjut difokuskan pada respons sistem terhadap keberadaan objek asing, khususnya wajah yang tidak terdaftar dalam basis data. Ketika seorang individu yang tidak dikenali berada di depan kamera, modul ESP32-CAM secara otomatis melakukan proses deteksi wajah. Setelah wajah teridentifikasi sebagai wajah asing, sistem segera mengaktifkan mekanisme pengiriman notifikasi melalui aplikasi Telegram. Notifikasi tersebut tidak hanya berupa pesan teks peringatan, tetapi juga dilengkapi dengan

foto hasil tangkapan kamera secara real-time, sehingga pengguna dapat melakukan verifikasi visual terhadap kondisi yang terjadi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini yang cepat, akurat, dan terintegrasi, sehingga dapat meningkatkan aspek keamanan serta mempercepat proses pengambilan keputusan oleh pengguna.



**Gambar 4.5** Hasil Tangkapan ESP 32 CAM





Hasil pengujian menunjukkan salah satu citra wajah yang berhasil ditangkap oleh modul ESP32-CAM, yang akan menjadi input utama bagi proses identifikasi wajah dalam sistem. Citra ini kemudian menjalani tahap pra-pemrosesan, termasuk normalisasi ukuran, konversi ke skala abu-abu, dan peningkatan kontras, sebelum fitur-fitur penting wajah diekstraksi oleh algoritma LBPH (Local Binary Patterns Histograms). Tahap ini memastikan bahwa sistem mampu mengenali pola wajah dengan akurat, sekaligus meminimalkan potensi kesalahan dalam proses identifikasi individu.



**Gambar 4.8** Notifikasi Telegram Sistem Mendeteksi Wajah

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan pesan otomatis melalui aplikasi Telegram ketika wajah asing terdeteksi oleh kamera. Pesan notifikasi yang diterima pengguna berisi informasi peringatan sekaligus dilengkapi dengan gambar tangkapan wajah asing secara real-time, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan identifikasi cepat terhadap individu yang muncul di area pemantauan. Fitur ini membuktikan bahwa integrasi antara ESP32-CAM dan layanan Telegram Bot dapat berjalan dengan baik serta mampu meningkatkan tingkat keamanan dengan memberikan akses informasi instan dan akurat langsung ke perangkat pengguna.

**Tabel 4.4** Hasil Analisis Pengujian Sistem

No	Foto Subjek	Nama Wajah	Status Deteksi	Notifikasi Telegram	Status Buzzer
1		Jonathan	Dikenali	Terkirim	Tidak Aktif
2		Clara	Dikenali	Terkirim	Tidak Aktif
3		Unik	Dikenali	Terkirim	Tidak Aktif
4		Unknown 1	Tidak Dikenali	Terkirim	Aktif
5		Unknown 2	Tidak Dikenali	Terkirim	Aktif

Berdasarkan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil mengenali wajah-wajah yang termasuk dalam dataset latih dan memberikan respon yang sesuai. Wajah yang dikenali tidak memicu buzzer, sementara wajah yang tidak dikenali langsung memicu sistem keamanan berupa buzzer dan mengirimkan gambar ke Telegram sebagai notifikasi real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses komunikasi antara ESP32-CAM dan server berjalan lancar, dengan waktu respon yang cepat untuk setiap kasus. Sistem memberikan hasil yang konsisten sesuai dengan alur logika yang dirancang, serta menunjukkan potensi yang baik untuk diterapkan pada sistem monitoring berbasis IoT yang lebih luas.

## KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan proses yang telah dilakukan dalam penelitian ini, mulai dari tahap perancangan, implementasi hingga pengujian sistem keamanan rumah berbasis pengenalan wajah dengan metode Local Binary Pattern Histogram (LBPH) yang dikombinasikan dengan sistem alarm otomatis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem Keamanan Rumah yang Terintegrasi secara Efisien. Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem keamanan rumah yang mengintegrasikan modul ESP32-CAM sebagai unit pemroses dan pengambil gambar, buzzer sebagai perangkat alarm, serta push button. Komponen perangkat keras tersebut terhubung dengan perangkat lunak berbasis algoritma LBPH melalui pustaka OpenCV dan berjalan stabil di jaringan WiFi. Sistem ini juga berhasil mengirimkan notifikasi secara real-time melalui aplikasi Telegram, mendukung proses respons keamanan secara cepat dan efektif.
2. Kinerja Efektif dari Algoritma LBPH. Algoritma pengenalan wajah LBPH menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan tingkat akurasi sebesar 95,42% pada data uji yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa metode LBPH cukup layak digunakan untuk sistem pengenalan wajah dalam konteks pengamanan rumah, khususnya pada lingkungan dengan jumlah data terbatas, pencahayaan stabil, dan kondisi wajah yang beragam.
3. Pemanfaatan Optimal Modul ESP32-CAM. Modul ESP32-CAM terbukti mampu menjalankan fungsi pengambilan gambar secara efektif dan mengirimkan hasil tangkapan ke server pengenalan wajah melalui jaringan WiFi. Proses komunikasi antarperangkat berlangsung dengan stabil, serta sistem dapat memberikan respons secara otomatis terhadap wajah yang dikenali maupun tidak dikenali, tanpa memerlukan intervensi dari pengguna.
4. Kemampuan Sistem Memberikan Respons Otomatis dan Cerdas. Sistem yang dirancang mampu membedakan secara akurat antara wajah yang dikenali dan yang tidak dikenali. Jika wajah yang terdeteksi merupakan wajah terdaftar, sistem akan mengirimkan notifikasi ke Telegram. Namun, jika wajah tidak dikenali, sistem secara otomatis mengaktifkan alarm melalui buzzer serta mengirimkan gambar wajah tersebut ke Telegram sebagai bentuk peringatan kepada pemilik rumah. Hal ini memberikan nilai tambah dalam hal efektivitas sistem pengawasan dan keamanan.
5. Potensi Implementasi pada Sistem Keamanan Berbasis IoT. Dengan adanya integrasi antara komponen perangkat keras dan perangkat lunak serta penggunaan jaringan Internet of Things (IoT), sistem ini menunjukkan potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi keamanan rumah yang cerdas dan terotomatisasi. Sistem ini dapat diterapkan untuk lingkungan rumah skala kecil hingga menengah, dengan tujuan meningkatkan perlindungan terhadap penghuni maupun properti.

## REFERENSI

- [1] Waroh, R., Makarawung, H., & Tiwow, M. (2024). Penerapan Teknologi Pengenalan Wajah untuk Sistem Keamanan Rumah Cerdas. *Jurnal Teknologi Informasi dan Keamanan*, 15(1), 45–52.
- [2] Siregar, A. A., Periyadi, & Hapsari, G. I. (2023). Evaluasi Sistem Keamanan Rumah Konvensional di Era Digitalisasi. *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, 12(2), 101–108.
- [3] Muhana, F., & Fuad, M. (2024). Smart Home Security System berbasis Otomasi dan Deteksi Wajah. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Inovasi*, 2024, 88–95.
- [4] Aji Pangestu, Galuh, & Moch Yusuf Asyhari. (2024). Sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan notifikasi bot Telegram untuk pendeteksian gerak. *Jurnal X*, 4(1).
- [5] Andi Abdullah Siregar, Periyadi, & Gita Indah Hapsari. (2023). Sistem keamanan ruangan pribadi menggunakan QR code dan Telegram monitoring berbasis Internet of Things.
- [6] Fadlurahman, M. (2024). Implementasi face recognition berbasis Local Binary Pattern Histogram dalam sistem keamanan rumah. *Jurnal Teknologi Keamanan*, 10(2), 123–134.
- [7] Fahd Al-Mutawa, Rihab, & Fathy Albouraei Eassa. (2020). A smart home system based on Internet of Things. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 11.

Retrieved from [www.ijacsa.thesai.org](http://www.ijacsa.thesai.org)

- [8] Fatih Muhana, Muhammad, & Evans Fuad. (2024). Keamanan. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 8.
- [9] Jain, A. K., Ross, A., & Prabhakar, S. (2004). An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 4–20. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818349>
- [10] Liu, L., & Li, K. (2021). Optimization of image buffering using PSRAM on ESP32-CAM platform. *Journal of Embedded Systems*.
- [11] Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164–173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- [12] Nugroho, D. R. (2018). Computer vision dalam sistem keamanan rumah. *Jurnal Pengolahan Citra*, 14(3), 67–78.
- [13] Nugroho, M. A., Kuswara, R. P., & Kusumoputro, B. (2018). Convolution neural network for pose estimation of noisy three-dimensional face images. In *Proceedings of the 2018 IEEE 5th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS)* (pp. xx–xx). 22–23 November 2018.
- [14] Ojala, T., Pietikäinen, M., & Harwood, D. (2002). A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions. *Pattern Recognition*, 29(1), 51–59.
- [15] Purno, Ari, & Wahyu Wibowo. (2016). Implementasi teknik computer vision dengan metode colored markers trajectory secara real time. *Jurnal Teknik Informatika*, 8.
- [16] Purno, B. H., & Wibowo, A. (2016). Deep learning dalam pengenalan pola gambar. *Jurnal Teknologi Visual*, 8(2), 45–58.
- [17] Santoso, J. T., Agus Wibowo, & M. Si. (n.d.). Keamanan sistem tertanam (Embedded system security).
- [18] Santoso, P. W., Piarsa, I. N., & Marini Mandenni, N. M. I. (2021). Sistem keamanan helm berbasis Internet of Things dengan fitur pelacakan menggunakan Android. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 5(5), 967–976. <https://doi.org/10.29207/resti.v5i5.3507>
- [19] Stepanus, R. S., Beni Satria, & Ahmad Dani. (2025). Instal: Jurnal Komputer Implementation of LBPH algorithm in automatic door opening system with facial recognition. <https://doi.org/10.54209/jurnalinstall.v16i06.349>
- [20] Sundararajan, S. (2021). Biometric authentication: Konsep dan aplikasi. *International Journal of Biometrics and Security*, 8(1), 15–28.
- [21] Suwardono, A., & Puspitasari, D. (2023). Implementasi mikrokontroler ESP32 dalam sistem IoT keamanan rumah.
- [22] Suwardono, A., & Puspitasari, M. D. M. (2023). Menguasai ESP32: Dasar, jaringan, sensor, dan proyek IoT. Lima Aksara.
- [23] Waroh, A. P. Y., Sajangbati, N., Sawidin, S., Kondo, M. A. S., & Wungkana, T. J. (n.d.). Sistem keamanan rumah melalui pengenalan wajah dengan webcam berbasis Raspberry Pi4. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 7.
- [24] Zhao, W., Chellappa, R., & Phillips, P. J. (2021). *Face recognition: Advances in biometric recognition systems* (2nd ed.). Springer.
- [25] Szeliski, R. (2020). *Computer vision: Algorithms and applications* (2nd ed.). Springer.
- [26] Ahonen, T., Hadid, A., & Pietikäinen, M. (2006). Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(12), 2037–2041. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2006.244>
- [27] Putra, R. D. (2020). *Internet of Things (IoT): Konsep dan Implementasinya dalam Kehidupan Sehari-hari*. Yogyakarta: Deepublish.
- [28] Lutz, M. (2013). *Learning Python* (5th ed.). O'Reilly Media. Müller, A., & Guido, S. (2016). *Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Data Scientists*. O'Reilly Media.