Penerapan Pola Pengenalan Wajah pada Sistem Keamanan Pintu Rumah Cerdas dengan Teknologi *Internet of Things*



Disusun Oleh:

N a m a : Fawwaz Kalam Maji

NIM : 20523125

PROGRAM STUDI INFORMATIKA – PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Penerapan Pola Pengenalan Wajah pada Sistem Keamanan Pintu Rumah Cerdas dengan Teknologi *Internet of Things*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

N a m a	: Fawwaz Kalam Maji
NIM	: 20523125

Yogyakarta, 20 Juli 2025

Pembimbing,



(Kurniawan D. Irianto, S.T., M.Sc.)

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Penerapan Pola Pengenalan Wajah pada Sistem Keamanan Pintu Rumah Cerdas dengan Teknologi *Internet of Things*

TUGAS AKHIR

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer dari Program Studi Informatika – Program Sarjana di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 20 Juli 2025

Tim Penguji

Kurniawan Dwi Irianto, S.T., M.Sc. _____

Anggota 1

Chanifah Indah Ratnasari, S.Kom., M.Kom. _____

Anggota 2

Sri Mulyati, S.Kom., M.Kom. _____

Mengetahui,
Ketua Program Studi Informatika – Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

(Dhomas Hatta Fudholi S.T., M.Eng., Ph.D.)

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fawwaz Kalam Maji

NIM : 20523125

Tugas akhir dengan judul:

Penerapan Pola Pengenalan Wajah Pada Sistem Keamanan Pintu Rumah Cerdas Dengan Teknologi *Internet Of Things*

Menyatakan bahwa seluruh komponen dan isi dalam tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, tugas akhir yang diajukan sebagai hasil karya sendiri ini siap ditarik kembali dan siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun.

Demikian surat pernyataan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 20 Juli 2025



(Fawwaz Kalam Maji)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah Swt., karya ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tuaku tercinta, yang telah memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan tanpa henti.
2. Dosen pembimbingku, Bapak Kurniawan D. Irianto, S.T., M.Sc., atas bimbingan dan ilmu yang diberikan selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama masa studi.

HALAMAN MOTO

“Jika aku menyerah sekarang, aku akan menyesalinya nanti.”

— Monkey D. Luffy

“Tidak ada mimpi yang gagal, yang ada hanyalah mimpi yang tertunda, sekiranya merasa gagal dalam mencapainya, jangan khawatir, mimpi – mimpi lain bisa diciptakan.”

— Windah Basudara

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt. atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir penelitian dengan judul **Penerapan Pola Pengenalan Wajah pada Sistem Keamanan Pintu Rumah Cerdas dengan Teknologi *Internet of Things***.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer di Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunannya, penulis menghadapi berbagai kendala, baik teknis maupun non-teknis. Namun, berkat bimbingan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikannya.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua, adik, dan keluarga besar saya yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Raden Teduh Dirgahayu, S.T., M.Sc. Ketua Jurusan Informatika Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D. Ketua Program Studi Informatika Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Kurniawan Dwi Irianto, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan ilmu, arahan serta waktu untuk membimbing penulis mengerjakan tugas akhir ini.
5. Rekan-rekan perkuliahan yang senantiasa menemani dan memberikan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis menerima segala bentuk kritik dan saran yang membangun. Semoga Allah Swt. memberikan taufik dan hidayah-Nya kepada kita semua. Amin.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 20 Juli 2025



(Fawwaz Kalam Maji)

SARI

Sistem keamanan rumah yang menggunakan pengenalan wajah menawarkan cara yang efektif untuk mengendalikan akses ke rumah. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menerapkan sistem pintu rumah cerdas dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan modul ESP32-CAM yang dilengkapi kamera pendeteksi wajah. Pengumpulan data, perancangan perangkat lunak dan perangkat keras, serta pengujian sistem merupakan teknik yang digunakan dalam penelitian ini.

Metode yang dikembangkan memungkinkan wajah pengguna dideteksi dan dikenali, pintu terbuka secara otomatis jika wajah sesuai, serta memberikan pemberitahuan melalui aplikasi Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi tinggi dengan waktu respons rata-rata 1,51 detik dan jarak pendeteksian optimal 25–50 cm. Selain itu, sistem dapat berfungsi dalam kondisi pencahayaan rendah dan terhubung ke platform IoT untuk pemantauan jarak jauh. Oleh karena itu, sistem ini mencapai tujuan sebagai solusi keamanan pintu rumah yang efisien, pintar, dan praktis.

Kata kunci: Pengenalan wajah, ESP32-CAM, IoT, Blynk, Sistem keamanan pintu.

.

GLOSARIUM

Blynk	Platform IoT yang memungkinkan smartphone untuk memantau dan mengendalikan perangkat secara *real-time*.
Compile	Proses mengubah kode program menjadi format yang memungkinkan sistem komputer menjalankannya.
Debug	Kesalahan yang ditemukan dan diperbaiki dalam kode program.
ESP32-CAM	Modul mikrokontroler yang memiliki kamera terintegrasi dan mendukung pengolahan gambar, konektivitas *Wi-Fi*, dan sebagainya.
Internet of Things	Konsepnya adalah untuk memungkinkan berbagai perangkat elektronik berkolaborasi dan mengirimkan data melalui jaringan internet.
Pengenalan wajah	Metode biometrik yang digunakan untuk mengidentifikasi orang berdasarkan karakteristik wajah.
Relay	Komponen elektronik yang digunakan sebagai saklar otomatis untuk mengendalikan arus listrik.
Solenoid lock	Mekanisme pengunci pintu elektronik yang bekerja dengan arus listrik.
Web server	Sistem yang memungkinkan layanan akses dan kontrol menggunakan *Graphical User Interface* (GUI).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
HALAMAN MOTO vi
KATA PENGANTAR vii
SARI viii
GLOSARIUM ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Metodologi Penelitian 3
BAB II LANDASAN TEORI 5
2.1 *Internet of Things* 5
2.2 Rumah Pintar 6
2.3 Pengenalan Wajah 6
2.4 ESP32-CAM 7
2.5 ESP32-CAM Socket Holder 8
2.6 Relay 2 Channel + PC817 (Optocoupler) 10
2.7 Emergency Switch 11
2.8 Solenoid Door Lock Elektrik 12 V DC 12
2.9 Blynk 13
2.10 Arduino IDE 15
2.11 Otomatisasi 16
2.12 Kajian Literatur 17
2.12.1 Sintesis Perbandingan Rangkaian dari Penelitian Terdahulu 19
2.12.2 Justifikasi Rangkaian Penelitian 19
BAB III METODE PENELITIAN 21
3.1 Tahapan Pengembangan Sistem 21
3.2 Pengumpulan Data dan Informasi 22
3.3 Identifikasi Kebutuhan 22
3.3.1 *Flowchart* 23
3.3.2 Skema Perangkat 24
3.3.3 Kebutuhan Perangkat Keras 27
3.3.4 Kebutuhan Perangkat Lunak 27
3.4 Perancangan Sistem 27
3.4.1 Perancangan Komponen Perangkat IoT 28
3.5 Pengujian Alat dan Bahan 32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1 Hasil 33

4.1.1 Pengujian Integrasi Komponen Sistem 33
4.1.2 Pengujian Fungsional Sistem 34
4.1.3 Pengujian Kecepatan Respons Sistem 42
4.1.4 Pengujian Jarak Efektif Pendeteksian Wajah 44
4.2 Pembahasan 46
4.2.1 Pembahasan Kode Program ESP32-CAM 46
4.2.2 Kesesuaian Sistem dengan Tujuan Perancangan 48
4.2.3 Keunggulan Sistem 48
4.2.4 Keterbatasan Sistem 49
4.2.5 Implikasi dan Potensi Pengembangan 50
4.2.6 Kendala Selama Pengembangan Sistem 51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 53
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran 53
DAFTAR PUSTAKA 56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Literatur.....17
Tabel 3.1 Komponen Perangkat Keras IoT.....30
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Integrasi Komponen Sistem……..……..……..33
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fungsional…….…….35
Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sistem……..…….41
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kecepatan Respons Sistem……...…….43
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Jarak Efektif Pendeteksian Wajah……...….…….44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem IoT 5
Gambar 2.2 ESP32-CAM. 8
Gambar 2.3 ESP32-CAM Socket Holder. 9
Gambar 2.4 Relay 2 Channel + PC817 10
Gambar 2.5 Emergency Switch 12
Gambar 2.6 Solenoid Door Lock Elektrik 12 V DC 13
Gambar 2.7 Blynk 14
Gambar 2.8 Arduino IDE 15
Gambar 3.1 Tahapan Pengerjaan. 21
Gambar 3.2 *Flowchart* Perancangan Sistem 24
Gambar 3.3 Perancangan Alat ESP32-CAM 26
Gambar 3.4 Skematik ESP32-CAM 26
Gambar 4.1 Hasil Rakitan Komponen Sistem.. 34
Gambar 4.2 Wajah Terdaftar Dikenali 36
Gambar 4.3 Status Wajah Terdaftar Dikenali 37
Gambar 4.4 Wajah Tidak Terdaftar 38
Gambar 4.5 Status Wajah Tidak Terdaftar 38
Gambar 4.6 Wajah Tidak Terdeteksi 39
Gambar 4.7 Status Wajah Tidak Terdeteksi. 39
Gambar 4.8 Pengujian Pada Perempuan Dengan Jilbab 40
Gambar 4.9 Pengujian Dengan Masker 41
Gambar 4.10 Pengujian Kecepatan Respon 44
Gambar 4.11 Pengujian Jarak Efektif Deteksi Wajah. 45
Gambar 4.12 Kode Program Library dan Konstanta 46
Gambar 4.13 Kode Program *Wi-Fi* dan Blynk 46
Gambar 4.14 Kode Program Pin dan Kamera 46
Gambar 4.15 Kode Program Konfigurasi Kamera 47
Gambar 4.16 Kode Program Server dan *Recognition* 47
Gambar 4.17 Kode Program Deteksi Pengenalan Wajah 47
Gambar 4.18 Kode Program Fungsi Pembuka Pintu 48

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah merupakan bangunan yang digunakan untuk beristirahat, makan, tidur, mandi, dan melakukan berbagai aktivitas lainnya. Untuk menjaga keseimbangan hidup sehari-hari, rumah perlu memiliki suasana yang nyaman. Saat ini, aspek keamanan menjadi prioritas utama bagi banyak orang. Maraknya kasus pencurian menimbulkan ancaman serius bagi pemilik rumah. Oleh karena itu, keamanan rumah menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan oleh setiap pemiliknya (Sujono & Herlambang, 2021). Pada umumnya sistem keamanan pintu saat ini menggunakan keamanan pintu konvensional, kunci konvensional memiliki kelemahan, seperti risiko kehilangan kunci atau pencurian kunci. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan yang lebih canggih dan efisien untuk melindungi rumah beserta seluruh yang ada di dalamnya.

Rumah adalah bangunan yang berfungsi sebagai tempat tinggal, hunian, dan sarana pembinaan keluarga. Dalam pengertian yang luas, rumah bukan hanya sebuah bangunan (*struktural*), tetapi juga tempat kediaman yang memenuhi syarat-syarat kehidupan yang layak, dipandang dari berbagai aspek kehidupan masyarakat (Mulyani & Frick, 2006). Rumah pintar adalah teknologi digital yang memungkinkan untuk memenuhi persyaratan. Sebuah sistem rumah cerdas yang memanfaatkan teknologi semaksimal mungkin, rumah pintar berfokus pada otomatisasi peralatan rumah sehingga orang dapat melakukan aktivitas di rumah dengan cara yang lebih praktis, cepat, dan mudah. Perangkat rumah pintar biasanya terdiri dari perangkat kontrol dan pemantauan yang dapat diakses melalui komputer (Yurmama & Azman, 2009).

Meningkatnya tingkat kebutuhan hidup telah berkontribusi pada peningkatan jumlah tindak kejahatan yang terjadi. Pencurian dokumen penting dan barang berharga telah meningkat belakangan ini. Salah satu fungsinya adalah membobol sistem pengaman ruangan kunci mekanik konvensional. Salah satu alasan mengapa kasus pencurian hak milik atau barang sering terjadi adalah karena niat pelaku dan juga karena kesempatan, kelalaian, atau kurang waspada korban.

Hal ini membuat sistem keamanan yang lebih baik diperlukan, terutama untuk perlindungan rumah atau tempat tinggal. Salah satu kemajuan teknologi terbaru telah membuat beberapa bagian kehidupan sehari-hari menjadi lebih praktis dan efisien. Salah

satunya adalah sistem rumah cerdas, yang memiliki banyak aplikasi yang terkait dengan *Internet of Things* (IoT) dan dirancang untuk digunakan di rumah. Konsep *Internet of Things* mengacu pada suatu objek yang memiliki kemampuan untuk mengirimkan data hanya melalui jaringan yang dikenal sebagai internet (Putra & Budiyanto, 2021).

Meskipun di pasaran telah tersedia produk pintu cerdas (*smart door lock*) yang dilengkapi dengan fitur pengenalan wajah, sebagian besar produk tersebut memiliki harga yang relatif tinggi, bersifat tertutup (*closed source*), dan tidak memungkinkan pengguna untuk melakukan modifikasi atau integrasi dengan sistem *Internet of Things* lain yang telah dimiliki. Selain itu, banyak perangkat yang beredar belum terhubung dengan sistem pemantauan jarak jauh berbasis aplikasi terbuka, sehingga fleksibilitas dan aksesibilitasnya terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan pintu rumah cerdas berbasis *Internet of Things* dengan pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM, yang bersifat lebih terjangkau, dapat dikembangkan sesuai kebutuhan, dan mendukung integrasi dengan platform terbuka seperti Blynk.

Pada dasarnya, *Internet of Things* (IoT) merujuk pada banyaknya sistem dan *device* di seluruh dunia yang terhubung ke internet untuk berbagi data. Teknologi-teknologi ini biasanya memiliki sensor dan software yang memungkinkan mereka berkomunikasi, mengendalikan, menghubungkan, dan bertukar data dengan perangkat lain selama tetap terhubung ke internet dan dapat beroperasi tanpa bantuan kabel. Komunikasi mesin ke mesin (*M2M*) adalah istilah untuk konsep *Internet of Things* (IoT) yang mengacu pada kenyataan bahwa semua perangkat terhubung ke internet (Prasetyo, 2020). Akibatnya, sistem ini dapat berkomunikasi satu sama lain tanpa menggunakan perantara manusia. Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah berkembang pesat dan memberikan kemampuan untuk menghubungkan berbagai perangkat dalam jaringan yang terintegrasi. Dengan IoT, perangkat seperti kamera, sensor, dan relay dapat berkomunikasi secara *real-time*, memungkinkan pengembangan sistem keamanan pintu yang lebih canggih.

Dengan memanfaatkan IoT sistem keamanan pintu telah berkembang menjadi lebih canggih dan efektif untuk melindungi properti dan keamanan penghuni. Salah satu hasil dari kemajuan pemanfaatan IoT saat ini adalah sistem keamanan pintu otomatis. Pengamanan dengan kunci standar yang digunakan secara luas oleh masyarakat dapat dengan mudah dirusak oleh individu yang melakukan kejahatan. Selain itu, kunci standar sistem keamanan menjadi kurang terbukti karena kunci konvensional sulit ditemukan dalam penggunaannya,

yang membuat sistem ini dianggap tidak praktis dan jangkauan pencurian (Muwardi & Adisaputro, 2021). Selain itu, beberapa sistem pengamanan kontemporer telah dibuat dengan menggunakan sensor *fingerprint* pada *handle* pintu, pola pengenalan wajah atau sistem pengenalan suara. Maka dari itu penulis ingin membuat penerapan pola pengenalan wajah pada sistem keamanan pintu rumah cerdas dengan teknologi *Internet of Things* (IoT).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat dihasilkan rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana merancang penerapan pola pengenalan wajah pada sistem keamanan pintu rumah cerdas dengan teknologi *internet of things*?

1.3 Batasan

Tujuan dari batasan ini adalah untuk memastikan bahwa topik penelitian tetap jelas dan tidak meluas ke masalah yang tidak diinginkan. Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

a. Sistem keamanan ini hanya diterapkan pada pintu rumah yang memiliki *handle*.
b. Sistem ini dapat bekerja jika terhubung dengan daya listrik.
c. Sistem ini menggunakan modul ESP32-CAM.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu merancang dan membuat prototipe penerapan pola pengenalan wajah pada sistem keamanan pintu rumah cerdas dengan teknologi *internet of things*, agar sistem keamanan pintu menjadi lebih kuat dan efisien dalam penggunaannya, serta membuat pemilik rumah menjadi lebih aman.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

a. Sistem ini bermanfaat untuk meningkatkan keamanan rumah.
b. Sistem ini dapat mempermudah pengguna untuk membuka pintu secara otomatis tanpa kunci.

1.6 Metodologi Penelitian

Berikut merupakan tahapan dalam penelitian ini:

a. Pengumpulan data dan informasi

Dalam proses ini, peneliti mengumpulkan data dan informasi penting yang digunakan sebagai dasar untuk membangun sistem penerapan pola pengenalan wajah pada keamanan pintu rumah cerdas dengan *Internet of Things*. Proses yang dilakukan di sini adalah penelitian literatur yang bertujuan untuk menyelidiki elemen yang terkait dengan teori-teori tersebut dan memberikan dukungan selama proses perancangan sistem.

b. Identifikasi kebutuhan

Pada proses ini, peneliti menemukan semua hal yang diperlukan untuk membangun sistem, seperti alat yang akan digunakan dan skema rangkaian sistem untuk digunakan sebagai panduan perancangan.

c. Perancangan sistem

Pada proses ini, peneliti mulai mengerjakan sistem menggunakan pedoman skema yang telah dibuat sebelumnya. Pertama, membuat perangkat keras untuk menyambungkan kamera dan perangkat tambahan. Setelah itu, mereka menulis kode agar perangkat dapat mendeteksi wajah pengguna.

d. Pengujian alat dan sistem

Pada proses ini, peneliti menguji sistem untuk mengidentifikasi *bug* dan kekurangan yang dapat diperbaiki.

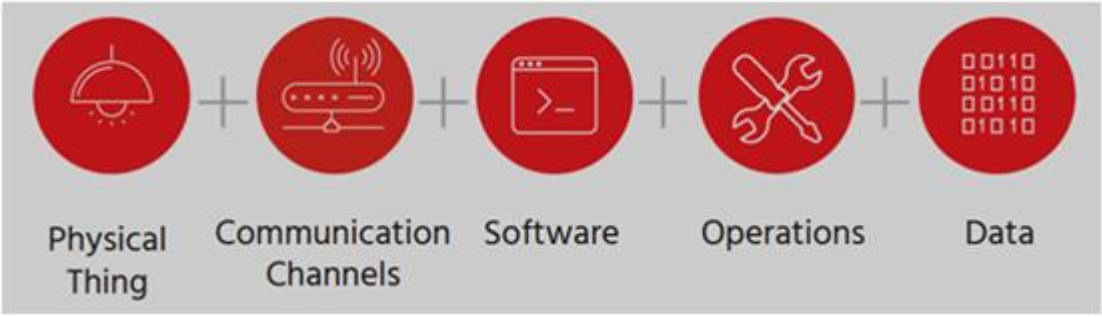
e. Implementasi

Tujuan dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa penerapan pola pengenalan wajah pada keamanan pintu rumah cerdas dengan *Internet of Things* memenuhi harapan dan bekerja dengan baik tanpa masalah atau gangguan.

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 *Internet of Things*

Internet of Things merupakan kemampuan suatu objek untuk mentransmisikan atau mengirimkan data melalui jaringan tanpa bantuan perangkat komputer atau manusia (Turyadi et al., 2021). Pada tahun 2002, Kevin Ashton pertama kali menggunakan istilah *Internet of Things* (IoT). Proses produksi pada negara maju, terutama Amerika Serikat dan Eropa Barat sudah mulai memanfaatkan kemajuan teknologi *internet*. Setelah munculnya *Internet of Things* (IoT), komputer dibuat menjadi lebih mampu memahami dunia nyata secara mandiri. Pada awalnya, *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk menggunakan komputer berbagai kebutuhan manusia, inti dari konsep ini yaitu komputer dapat digunakan di mana saja dan untuk apa saja. Namun, sejak tahun 2009, Komisi Eropa dibentuk untuk mendefinisikan kembali *Internet of Things* (IoT). IoT didefinisikan sebagai fase berikutnya dari evolusi internet, dengan transformasi dari jaringan komputer menjadi jaringan objek atau benda yang saling terhubung (Commission of the European Communities, 2009). Pada Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana bentuk fisik *Internet of Things* terlihat.



Gambar 2.1 Sistem IoT

Sumber: (Dunko et al., 2017)

Bagian 1: Objek fisik sensor, aktuator, pemrosesan, kontrol, dan daya adalah kemampuan benda fisik yang dapat digunakan oleh *Internet of Things* (IoT). Harga, ukuran, kinerja, dan tantangan lingkungan adalah faktor yang memengaruhi spesifikasi fisik.

Bagian 2: Metode komunikasi *transfer* data pada *Thing-to-Thing*, *Thing-to-Server*, atau *Server-to-Server* dapat dilakukan dengan menggunakan solusi konektivitas dan protokol *internet*, tergantung pada bidang penggunaan desain.

Bagian 3: Perangkat lunak memungkinkan pengumpulan, pemrosesan, penyimpanan, dan analisis data dari objek. *Software* juga menawarkan tingkat aplikasi yang memungkinkan manusia untuk memvisualisasikan data dan berinteraksi dengan sistem *Internet of Things*.

Bagian 4: Operasi. Aksesibilitas infrastruktur cloud untuk membangun dan mengawasi sistem *Internet of Things*.

Bagian 5: Data adalah produk dari sistem *Internet of Things* dan merupakan media untuk komunikasi.

Internet of Things terdiri dari dua kata utama, yaitu "*Things*" yang berarti objek atau perangkat dan "*Internet*" yang menghubungkan dan mengatur konektivitas. Secara sederhana, "*Things*" memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data dan mengirimkannya ke internet, serta dapat mengakses data tersebut, pada proses pengiriman data melalui jaringan dapat dilakukan di mana pun tanpa adanya interaksi dari manusia ke manusia ataupun dari manusia ke perangkat komputer (Encep et al., 2022).

2.2 Rumah Pintar

Rumah pintar juga dikenal sebagai *smart home*, rumah pintar mengacu pada pengaturan rumah yang nyaman di mana perangkat dan peralatan dapat dikontrol secara otomatis melalui internet dari mana saja dan kapan saja. Kombinasi teknologi dan layanan yang dirancang khusus untuk digunakan di rumah untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kenyamanan tinggal bagi mereka yang tinggal di sana. Sistem rumah pintar biasanya terdiri dari perangkat pemantauan dan kontrol yang dapat diakses melalui komputer. Teknologi ini bertujuan untuk membuat pemilik rumah lebih mudah memantau kondisi peralatan elektronik yang terhubung dari perangkat mereka.

Dengan berkembangnya teknologi *Internet of Things* (IoT), konsep rumah pintar adalah salah satu ide baru. Sistem rumah cerdas memanfaatkan teknologi semaksimal mungkin, rumah cerdas berfokus pada otomatisasi peralatan rumah sehingga orang dapat berinteraksi dengan rumah dan melakukan aktivitas yang lebih mudah, cepat, dan praktis (Ratnamaya, 2021).

2.3 Pengenalan Wajah

Pengenalan wajah merupakan perangkat lunak yang dapat mengidentifikasi atau mengonfirmasi identitas seseorang menggunakan wajah. Pengenalan wajah dapat mengidentifikasi wajah manusia dalam bentuk gambar ataupun *video*, untuk menentukan

apakah wajah di dua gambar sama, atau mencari wajah di antara berbagai kumpulan gambar. Pengenalan wajah biasa digunakan oleh sistem keamanan biometrik untuk memperkuat aktivitas autentikasi pengguna dengan mengidentifikasi individu secara unik selama orientasi masuk atau keluar serta memperkuat aktivitas autentikasi pengguna. Selain itu, teknologi penganalisis wajah umumnya digunakan untuk menjaga keamanan perangkat seluler dan pribadi. Bagian tubuh manusia yang paling menonjol saat berinteraksi dengan orang lain, yaitu wajah yang dapat menunjukkan emosi dan identitas seseorang (Nadzif, 2024).

Face Recognition adalah evolusi dari teknologi deteksi wajah yang dapat mengubah atau menghasilkan wajah dari tangkapan kamera dengan mendeteksi hubungan antara wajah dan data wajah yang diketahui komputer, memungkinkan komputer untuk mengenali dan mengidentifikasi keberadaan seseorang. Sistem biometrik *non*-kontak dengan pengenalan wajah lebih efisien dan dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak dan perangkat keras seperti ponsel pintar, sistem keamanan, dan kamera CCTV. Deteksi wajah, ekstraksi fitur, konversi ke data digital, dan pencocokan dengan database umumnya merupakan proses kerja yang memungkinkan identifikasi atau verifikasi secara *real-time*.

2.4 ESP32-CAM

ESP32-CAM adalah mikrokontroler yang memiliki banyak fitur tambahan, seperti Bluetooth, *Wi-Fi*, kamera, dan slot microSD (Ardiansyah et al., 2023). Fungsi utama dari ESP32-CAM diantaranya yaitu, koneksi *Wi-Fi* dan Bluetooth, modul kamera, pengiriman data, dan monitoring keamanan. Modul ESP32-CAM lebih sering digunakan dalam proyek IoT yang membutuhkan fitur kamera karena memiliki lebih sedikit pin I/O daripada produk ESP32 sebelumnya, ESP32-WROOM (Yunus, 2021).

Modul mikrokontroler ESP32-CAM menggabungkan chip ESP32 dengan modul kamera OV2640 dan memiliki konektivitas nirkabel *Wi-Fi* dan Bluetooth. Meskipun kecil, modul ini dapat memproses gambar dengan resolusi hingga 2 megapiksel, dan memiliki slot microSD yang dapat digunakan untuk menyimpan gambar atau data yang dihasilkan. Aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang membutuhkan pengolahan dan pengiriman gambar secara *real-time* sangat didukung oleh fitur ini.

Modul ESP32 cukup dikenal karena memiliki prosesor *dual-core* dengan kecepatan hingga 160 MHz, kapasitas memori yang cukup, dan berbagai port I/O, termasuk UART, SPI, dan I2 C, yang memungkinkan integrasi dengan perangkat lain. ESP32-CAM dapat digunakan sebagai modul kamera pengawas (CCTV) dengan kemampuan streaming video

secara langsung melalui jaringan nirkabel berkat kombinasi fitur kamera dan *Wi-Fi*. Selain itu, platform pengembangan Arduino IDE mendukung modul ini, yang sangat membantu dalam pemrograman dan *debugging*.

Berikut spesifikasi dari ESP32-CAM:

a. 802.11b/g/n Wi-Fi,
b. Bluetooth 4.2 with BLE,
c. UART, SPI, I2C and PWM interfaces,
d. Clock speed up to 160 MHz,
e. Computing power up to 600 DMIPS,
f. 520 KB SRAM plus 4 MB PSRAM,
g. Supports Wi-Fi Image Upload,
h. Multiple Sleep modes, *Firmware Over the Air* (FOTA) upgrades possible,
i. 9 GPIO ports,
j. Built-in Flash LED,
k. Kamera OV2640 (2MP).



Gambar 2.2 ESP32-CAM

2.5 ESP32-CAM **Socket Holder**

ESP32-CAM adalah salah satu modul mikrokontroler berbasis ESP32 yang memiliki kamera. Banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem pemantauan, pengenalan

wajah, dan IoT (*Internet of Things*). Namun, selama pemrograman dan penerapan modul ESP32-CAM pada perangkat keras, sering muncul masalah terkait koneksi dan keamanan pemasangan pin. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan perangkat tambahan yang disebut ESP32-CAM Socket Holder.

Socket Holder ESP32-CAM merupakan adaptor khusus yang dirancang untuk menopang dan menghubungkan modul ESP32-CAM secara aman dan stabil ke perangkat lain, seperti komputer, melalui koneksi USB. Modul ini biasanya telah dilengkapi dengan konverter USB ke TTL (serial) yang berfungsi sebagai penghubung antara ESP32-CAM dan perangkat pemrogram, sehingga proses pengunggahan program menjadi lebih praktis tanpa perlu menyambung kabel secara manual ke masing-masing pin. Selain itu, socket holder juga berperan sebagai pelindung fisik yang membantu mencegah kerusakan akibat kesalahan instalasi atau benturan saat proses uji coba maupun saat digunakan dalam produk akhir.

Dalam pembuatan prototipe, penggunaan socket holder sangat penting karena dapat membantu proses pemrograman berulang, mengurangi kesalahan instalasi, dan mempercepat pemasangan modul ESP32-CAM pada sistem yang sedang diuji. Dengan adanya socket holder, pengembangan dan implementasi sistem berbasis ESP32-CAM dapat dilakukan dengan lebih efisien dan aman.

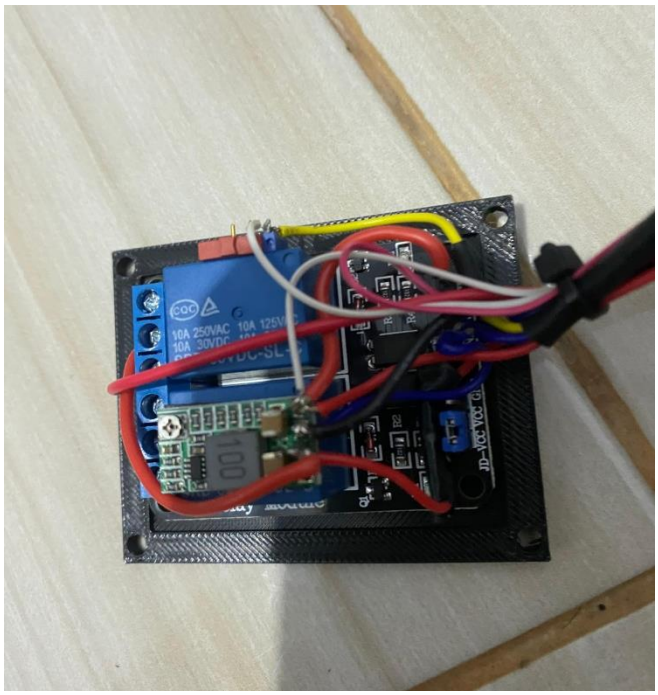


Gambar 2.3 ESP32-CAM Socket Holder

2.6 Relay 2 Channel + PC817 (Optocoupler)

Dalam rangkaian kontrol elektronik, Relay 2 channel dan PC817 (optocoupler) sering digunakan bersama, terutama untuk mengontrol perangkat bertegangan tinggi yang digunakan oleh mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi, atau PLC. Dalam modul relay dua channel, PC817 biasanya terletak di bagian input kontrol. Sinyal mikrokontroler masuk ke input optocoupler (PC817), yang kemudian mengaktifkan relay tanpa ada kontak listrik langsung antara rangkaian beban dan mikrokontroler.

Untuk mengontrol masing-masing channel, relay dua channel ini membutuhkan arus sekurang-kurangnya 15–20 mA. Ini juga memiliki relay dengan arus tinggi yang dapat menghubungkan perangkat ke AC 250 V 10 A. Ketika kumparan induktor dialiri arus listrik, efek induksi magnet menyebabkan kontak tertutup dan terbuka. Berbeda dengan saklar karena kontak dapat digerakkan pada kondisi on atau off secara manual tanpa memerlukan arus listrik, sedangkan relay membutuhkan arus listrik (Isfarizky et al., 2017).



Gambar 2.4 Relay 2 Channel + PC817

Sedangkan PC817 (optocoupler) berfungsi sebagai isolator optik untuk memisahkan sirkuit kontrol, seperti mikrokontroler, dari sirkuit daya tinggi yang dikendalikan relay. Melindungi mikrokontroler dari lonjakan listrik, suara, atau gangguan tegangan dari sisi beban atau relay. Menggunakan fototransistor dan LED inframerah dalam satu paket untuk

mengirimkan sinyal secara optik tanpa menggunakan listrik langsung meningkatkan keamanan rangkaian. Sering digunakan untuk menghubungkan logika tegangan rendah (seperti 3.3V atau 5V dari mikrokontroler) ke rangkaian relay yang mungkin memiliki berbagai sumber tegangan.

2.7 Emergency Switch

Salah satu fungsi utama tombol darurat adalah untuk memberi pengguna cara yang cepat dan mudah untuk mengaktifkan tindakan darurat (Desrul et al., 2024). Ketika tombol tersebut ditekan, sistem biasanya secara instan menghentikan atau membatasi operasi normal perangkat dan mengalihkan ke modus darurat yang telah ditetapkan sebelumnya. Fungsi ini sangat penting dalam kasus berbahaya seperti korslet alat, ancaman keselamatan, atau kejadian lain yang memerlukan tindakan cepat. Namun, gangguan sistem utama pemutus aliran listrik adalah shunt trip (Rane & Narvel, 2016).

Tombol darurat siap digunakan ketika tombol "on" ditekan untuk mengaktifkan sistem. Jika tombol darurat ditekan (Ya), sinyal darurat akan mengaktifkan sirkuit kontrol, yang kemudian mengalirkan sinyal ke shunt trip coil dan sirkuit breaker/sakelar pemutus arus. Setelah shunt trip coil memutuskan daya pada sirkuit breaker/sakelar pemutus arus, aliran daya ke sistem dihentikan. Jika tombol darurat tidak ditekan (NO), sistem tidak melakukan tindakan darurat, dan aliran daya tetap berjalan normal ke beban, di mana sistem tetap aktif.

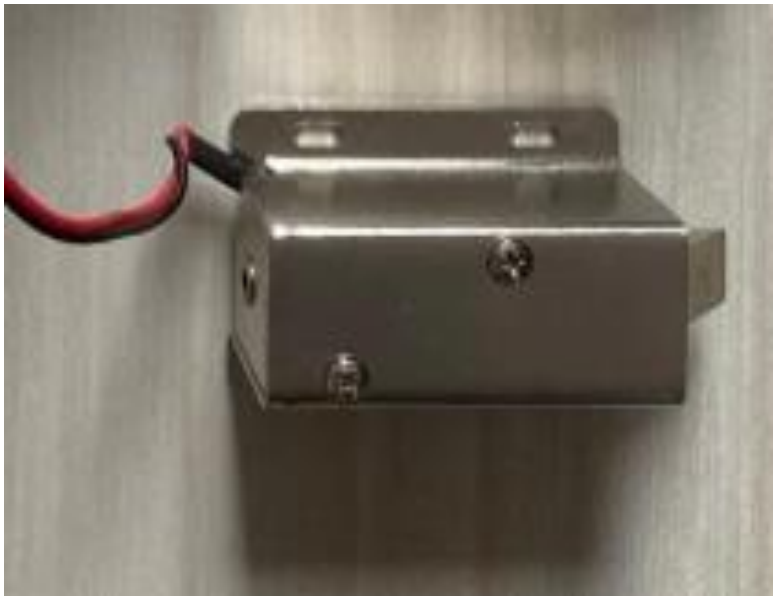


Gambar 2.5 Emergency Switch

2.8 Solenoid Door Lock Elektrik 12 V DC

Solenoid Door Lock merupakan pengunci pintu yang dimaksudkan untuk mengunci pintu secara elektronik (Ariandi et al., 2018). Ada dua sistem kerja untuk solenoid, yaitu Normally Closed (NC) dan Normally Open (NO). Untuk cara kerjanya sendiri solenoid (NC) dan (NO) memiliki perbedaan, yaitu saat diberi tegangan solenoid (NC) akan memanjang atau tertutup. Namun, cara kerja solenoid (NO) adalah kebalikannya (Kharisma & Utama, 2018).

Biasanya solenoid door lock membutuhkan input 12V DC, tetapi ada juga yang hanya membutuhkan input 5V DC, yang memungkinkannya bekerja dengan tegangan output dari pin IC digital (Amin & Mulyani, 2018). Namun, jika solenoid door lock menggunakan 12V DC, akan membutuhkan power supply 12V dan relay untuk mengaktifkannya.

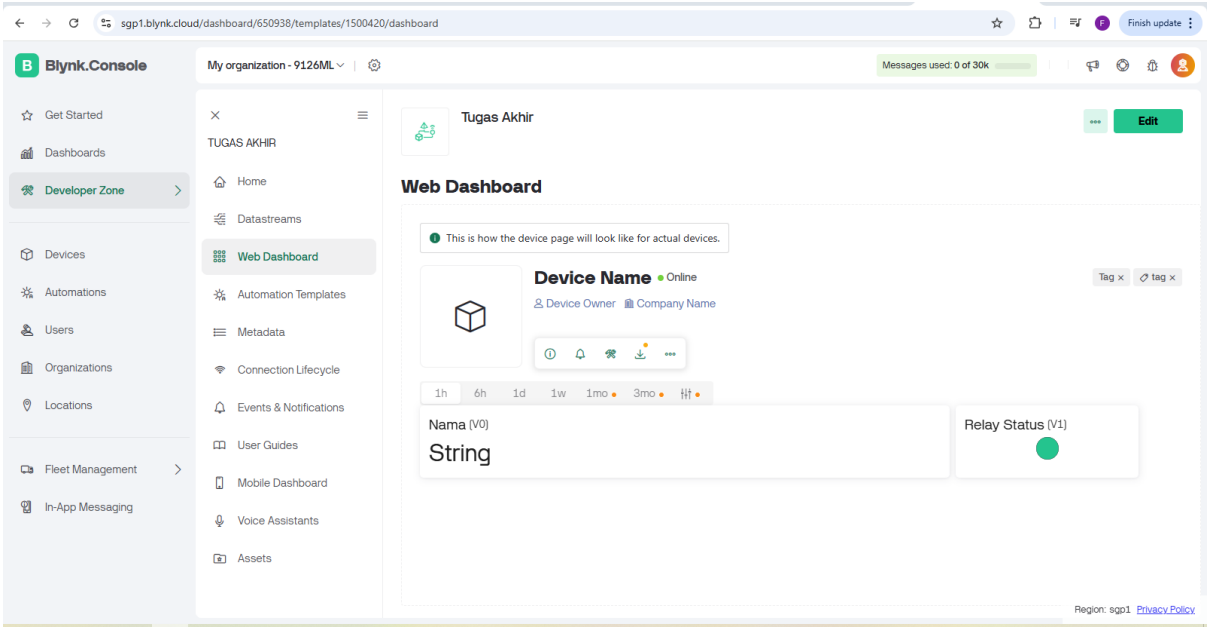


Gambar 2.6 Solenoid Door Lock Elektrik 12 V DC

2.9 Blynk

Blynk adalah platform yang dirancang untuk memudahkan pengembangan antarmuka IoT untuk smartphone berbasis Android dan iOS (Barri & Pramudita, 2023). Pengguna Blynk dapat terhubung dengan server melalui arsitektur Blynk sebagai *Software as a Service* (SaaS), dalam arsitektur ini server menyediakan layanan tanggapan dan permintaan untuk kebutuhan pemantauan dan pengendalian perangkat IoT yang menggunakan development board seperti Arduino, Raspberry Pi, dan Electric Imp, antara lain (Laili et al., 2022). Blynk membutuhkan koneksi internet untuk terhubung ke cloud dan berfungsi dengan baik.

Salah satu peran penting dalam ekosistem Blynk adalah server, yang berfungsi sebagai penghubung antara aplikasi dan perangkat keras. Blynk menyediakan server publik gratis untuk semua pengguna, tetapi pengguna yang membutuhkan lebih banyak kontrol atau pengaturan dapat menginstal server lokal. Secara keseluruhan, Blynk adalah solusi yang sangat fleksibel dan mudah digunakan bagi siapa saja yang tertarik dengan pengembangan aplikasi IoT. Dengan antarmuka yang mudah digunakan dan dukungan komunitas yang kuat, pengguna dapat mengembangkan proyek IoT dengan cepat dan efisien. Platform ini memungkinkan pengguna membuat solusi IoT yang inovatif dan berguna tanpa terjebak dalam kerumitan teknis dan juga memudahkan pengembangan.



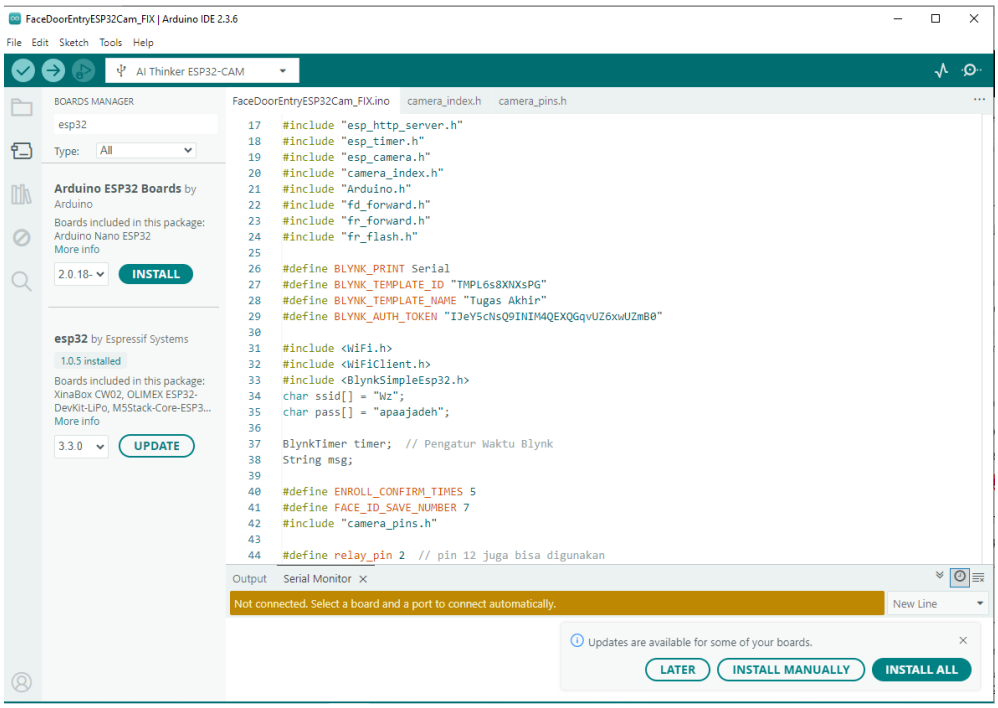
Gambar 2.7 Blynk

Sebagai platform IoT untuk sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah dengan ESP32-CAM, Blynk dipilih karena kemudahan integrasi, kecepatan respons, dan kelengkapan fiturnya. Kompatibel dengan ESP32-CAM, pustaka (library) resmi BlynkSimpleESP32 dari Blynk memungkinkan penghubung antara perangkat keras dan aplikasi hanya menggunakan *auth token*, *SSID*, dan kata sandi *Wi-Fi*, tanpa perlu konfigurasi server tambahan. Hal ini berbeda dengan platform serupa seperti Thingspeak, yang berfokus pada perekaman dan visualisasi data daripada kontrol langsung, atau Arduino IoT Cloud, yang membutuhkan pembuatan objek, perangkat, dan sertifikat khusus. Selain itu, kemampuan Blynk untuk mengirimkan data dan perintah secara *real-time* dengan latensi rendah memungkinkan untuk memantau status sistem tanpa jeda yang signifikan. Dengan mendukung *drag-and-drop widget* untuk membuat *dashboard*, antarmuka Blynk pada perangkat Android dan iOS memungkinkan pengguna mengubah tampilan tanpa mengubah kode program. Sementara platform lain sering memerlukan integrasi pihak ketiga untuk menyediakan fitur serupa. Blynk adalah pilihan yang efisien dan andal yang didukung oleh dokumentasi resmi yang lengkap dan komunitas pengguna yang luas. Selain itu, tidak membutuhkan banyak sumber daya perangkat, sehingga sangat cocok untuk ESP32-CAM, yang juga menjalankan proses pengolahan citra kamera.

2.10 Arduino IDE

Perangkat lunak Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah perangkat lunak yang memungkinkan pengguna menulis, mengedit, menguji, dan mengunggah kode ke papan mikrokontroler Arduino. Arduino IDE menyediakan lingkungan terintegrasi yang terdiri dari editor teks untuk menulis kode (disebut *sketch*), *compiler* untuk menerjemahkan kode ke bahasa mesin, dan *uploader* yang dapat digunakan untuk mengirimkan program ke papan Arduino yang terhubung ke USB (Endra et al., 2019). Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memprosesnya, dan kemudian menghasilkan output yang diinginkan. Dengan demikian, mikrokontroler berfungsi sebagai "otak" rangkaian elektronik dan bertanggung jawab untuk mengontrol input, proses, dan output-nya.

Salah satu fitur utama Arduino IDE adalah mendukung bahasa pemrograman C/C++ dengan pustaka khusus Arduino (*Wiring*), antarmuka sederhana dan intuitif yang memudahkan penulisan kode dengan fitur seperti penyorotan sintaks, cut, paste, find, dan replace, memiliki monitor serial untuk komunikasi dan *debugging* dengan perangkat Arduino, serta mendukung berbagai tipe board Arduino yang kompatibel.



Gambar 2.8 Arduino IDE

2.11 Otomatisasi

Otomatisasi dalam *Internet of Things* (IoT) mengacu pada penggunaan perangkat dan sistem yang terhubung yang memungkinkan berbagai proses dikontrol, dipantau, dan dikelola tanpa *intervensi* manusia secara langsung. Perangkat dapat berkomunikasi satu sama lain, mengumpulkan data, dan secara otomatis mengambil tindakan berdasarkan data ini melalui otomatisasi IoT.

Beberapa komponen utama otomatisasi *Internet of Things* meliputi:

a. Pemantauan dan Pengumpulan Data: Perangkat *Internet of Things* memiliki sensor yang mengumpulkan data tentang hal-hal seperti suhu, kelembaban, dan tekanan. Data ini kemudian dikirim ke sistem pusat untuk dianalisis.
b. Pengolahan dan Analisis Data: Pola, anomali, atau kebutuhan tertentu dapat ditemukan dengan menggunakan algoritma dan pembelajaran mesin.
c. Pengambilan Keputusan Otomatis: Sistem IoT dapat secara otomatis membuat keputusan berdasarkan analisis data. Misalnya, sistem pengering, ventilasi, dan pendinginan (HVAC) dapat dinyalakan atau diatur secara otomatis jika sensor menemukan suhu ruangan yang terlalu tinggi.
d. Pengendalian dan Eksekusi Tindakan: Perangkat IoT dapat melakukan tindakan yang diperlukan setelah membuat keputusan. Sistem irigasi otomatis, misalnya, yang menyalakan sprinkler ketika tanah kering
e. Komunikasi Antar Perangkat: Untuk koordinasi yang lebih baik, perangkat IoT sering berbicara satu sama lain. Misalnya, lampu jalan yang saling terhubung dapat mengubah kecerahan sesuai dengan lalu lintas yang terdeteksi oleh sensor lainnya.

Contoh nyata dari otomatisasi *Internet of Things* termasuk:

a. Rumah Pintar: Peralatan rumah seperti kamera keamanan, termostat, lampu, dan peralatan lainnya dapat diatur dan dikendalikan secara otomatis sesuai dengan kebiasaan dan preferensi pengguna.
b. Industri 4.0: Mesin dan peralatan yang terhubung di pabrik dapat secara otomatis mengatur produksi, pemeliharaan prediktif, dan manajemen *inventaris*.
c. Pertanian Cerdas: Sistem pemantauan dan irigasi tanaman yang menilai tanah dan cuaca untuk mengoptimalkan penggunaan air dan nutrisi.

d. Kesehatan: Alat medis yang melacak tanda-tanda vital pasien dan melakukan intervensi otomatis jika ada masalah.

Otomatisasi IoT dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi, kenyamanan, pengeluaran operasional, dan kemampuan untuk membuat keputusan yang lebih baik dan tepat waktu (Pratista, 2024).

2.12 Kajian Literatur

Berikut ini adalah kajian literatur dari beberapa penelitian sebelumnya sebagai acuan penelitian ini:

Tabel 2.1 Kajian Literatur

No.	Judul dan Penulis	Pembahasan	Perbandingan
1.	Implementasi sistem pengenalan wajah sebagai *automatic door lock* menggunakan modul ESP32-CAM (Difa et al., 2021).	Dalam artikel ini, membahas penggunaan modul ESP32-CAM dalam sistem pengenalan wajah untuk mengunci pintu secara otomatis. Pada sistem ini menggunakan *web browser* (Chrome) untuk memantau kamera.	Berbeda dengan jurnal di samping, sistem yang penulis buat menggunakan sistem aplikasi Blynk sebagai pemantau dan *web browser* (Chrome) digunakan untuk mengontrol serta mendaftar.
2.	Rancang bangun sistem keamanan pintu menggunakan metode pengenalan wajah berbasis *Internet of Things* (Handayani et al., 2023).	Dalam artikel ini, metode pengenalan wajah berbasis IoT digunakan untuk membuat sistem keamanan pintu. Artikel ini menggunakan Raspberry Pi, sistem ini memberikan contoh sistem keamanan pintu yang dapat menggunakan teknologi IoT.	Berbeda dengan jurnal di samping, modul yang penulis buat menggunakan modul ESP32-CAM sebagai mikrokontroler dan sensor pendeteksi.
3.	Sistem akses pintu berbasis *face recognition* menggunakan ESP32 *module* dan aplikasi telegram (Nuraeni et al., 2021).	Jurnal ini membahas tentang pengembangan sistem akses pintu berbasis pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM dan aplikasi Telegram. Sistem ini dirancang untuk meminimalisir terjadinya tindak kejahatan dengan mengontrol kunci pintu secara *online*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengirim data dari ESP32 ke Telegram dan mengontrol sistem melalui *bot*	Berbeda dengan jurnal di samping, sistem yang penulis buat menggunakan sistem aplikasi Blynk sebagai pemantau dan *web browser* (Chrome) digunakan untuk mengontrol serta mendaftar.

		Telegram	
4.	Design sistem keamanan pintu menggunakan *face detection* (Muwardi & Adisaputro, 2021).	Jurnal ini membahas terkait dengan sistem keamanan pintu yang inovatif untuk mencegah tingkat pencurian, salah satunya dengan menggunakan pengenalan wajah. Rancangan sistem keamanan menggunakan *face detection* atau pengenalan wajah berbasis *Internet of Things*. Menggunakan kamera ESP32-CAM sebagai kontroler untuk melakukan pengenalan wajah pemilik rumah. Jika pengenalan wajah gagal, pengguna dapat memasukkan *password* melalui *keypad* manual. Sistem akan memverifikasi *password* yang dimasukkan, jika *password* benar, sistem akan membuka kunci pintu. Pemilik rumah dapat memantau dan mengontrol sistem keamanan dari jarak jauh melalui aplikasi Telegram.	Berbeda dengan jurnal di samping, sistem cadangan yang penulis buat menggunakan sistem tombol Emergency switch yang berfungsi sebagai tombol darurat jika tidak ada arus listrik yang tersambung ke modul ESP32-CAM.
5.	Implementasi sistem penguncian pintu rumah berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan fingerprint dengan model NodeMCU ESP8266 (Casdik & Fauzi, 2023).	Dalam artikel ini, metode sidik jari berbasis IoT digunakan untuk membuat sistem keamanan pintu. Artikel ini menggunakan modul NodeMCU ESP8266, sistem ini memberikan contoh sistem keamanan pintu berbasis IoT.	Berbeda dengan jurnal di samping, sistem yang penulis buat menggunakan sistem pendeteksi wajah berbasis IoT.

Berdasarkan Tabel 2.1, membahas berbagai cara teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat meningkatkan sistem keamanan pintu, seperti pengenalan wajah, sidik jari, dan aplikasi *online*. Semua sistem ini dirancang untuk meningkatkan keamanan, meminimalkan pelanggaran, dan membuat kontrol pintu menjadi lebih mudah dan otomatis. Penulis menyimpulkan sistem yang dibuat terdapat perbedaan dengan sistem yang sebelumnya sudah dibuat. Pada sistem yang penulis buat pengguna dapat mengontrol dan memantau kondisi melalui aplikasi Blynk yang terhubung pada perangkat, modul yang digunakan menggunakan ESP32-CAM sebagai pendeteksi wajah. Sistem kontrol cadangan yang dibuat menggunakan tombol sebagai kontrol darurat.

2.12.1 Sintesis Perbandingan Rangkaian dari Penelitian Terdahulu

Berdasarkan kajian literatur pada Tabel 2.1, dapat disintesis pola perancangan rangkaian sistem keamanan pintu berbasis biometrik yang digunakan oleh penelitian-penelitian terdahulu sebagai berikut.

a) Difa et al. (2021) menggunakan modul ESP32-CAM yang melakukan pemrosesan di perangkat (*edge processing*) dan menampilkan hasil melalui *web browser*. Topologi rangkaian yang digunakan pada prinsipnya adalah ESP32-CAM → modul relay → solenoid pengunci pintu, dengan catu daya terpisah antara 5V untuk pengendali dan 12V untuk aktuator. Kanal pemantauan dilakukan melalui *web server* lokal.
b) Handayani et al. (2023) mengusulkan arsitektur berbasis Raspberry Pi sebagai pengendali utama, kamera sebagai sensor biometrik, serta aktuator kunci (*servo*/solenoid) yang digerakkan melalui relay. Pilihan ini menambah kompleksitas sisi perangkat lunak dan kebutuhan sumber daya, namun memberikan fleksibilitas integrasi tingkat sistem operasi.
c) Nuraeni et al. (2021) memanfaatkan ESP32 dengan kanal notifikasi/kendali berbasis Telegram. Rangkaian daya dan aktuator tetap mengikuti pola umum: pengendali → relay → solenoid, dengan monitoring berorientasi notifikasi, bukan *dashboard real-time*.
d) Muwardi & Adisaputro (2021) memadukan ESP32-CAM untuk *face detection* dengan jalur cadangan berbasis *keypad*. Akibatnya, terdapat dua jalur logika biometrik dan *keypad,* yang keduanya bermuara pada aktuator melalui relay.
e) Casdik & Fauzi (2023) mengimplementasikan pengunci berbasis *fingerprint* dengan NodeMCU ESP8266. Perbedaannya terletak pada sensor biometrik, namun topologi penggerak aktuator tetap serupa, yakni pengendali → relay → solenoid.

2.12.2 Justifikasi Rangkaian Penelitian

Rangkaian yang diusulkan pada penelitian ini dirancang dengan pertimbangan keandalan, biaya, dan kemudahan integrasi. Pertama, pemilihan ESP32-CAM memungkinkan pemrosesan citra dilakukan secara *standalone* di sisi perangkat (*edge processing*), sehingga latensi autentikasi rendah dan tidak bergantung pada layanan komputasi awan. Kedua, arsitektur catu daya memisahkan jalur aktuator dan pengendali: sumber 12V sebagai power supply utama untuk solenoid, kemudian diturunkan melalui *step-down converter* (LM2596)

menjadi 5V untuk memasok ESP32-CAM dan modul relay. Pemisahan ini menekan gangguan tegangan dan meningkatkan stabilitas sistem. Ketiga, modul relay dua kanal dengan optocoupler (PC817) dipilih untuk memberikan isolasi galvanik antara logika tegangan rendah dan beban tegangan lebih tinggi, serta mengurangi risiko *ground loop*. Keempat, pemasangan limit switch/lever switch pada mekanisme pintu berfungsi sebagai umpan balik status mekanis (terkunci/terbuka), sehingga sistem dapat melakukan sinkronisasi keadaan secara andal dan mengurangi kesalahan logika. Kelima, penambahan Emergency switch pada jalur suplai memberikan opsi penghentian cepat pada kondisi darurat dan mendukung prinsip *fail-safe*.

Dibandingkan penelitian A–E pada Tabel 2.1, rancangan ini memiliki beberapa diferensiasi:

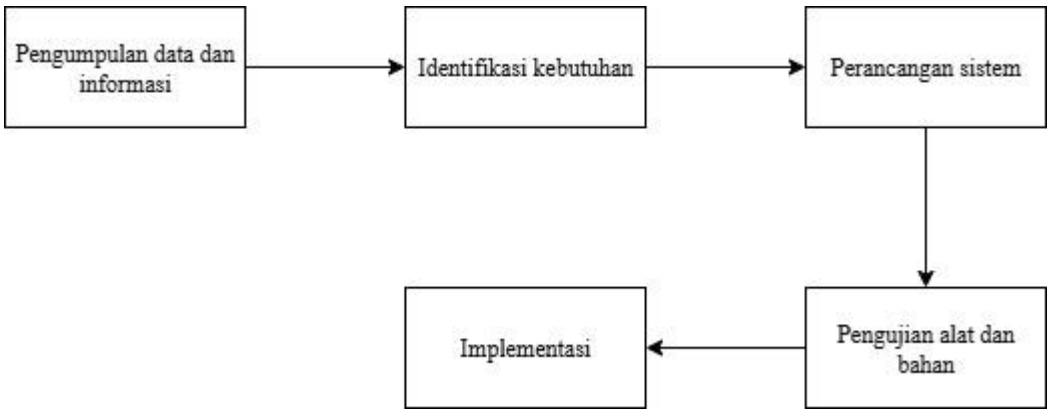
1) Integrasi kanal pemantauan berbasis Blynk sebagai *dashboard real-time* untuk status sistem, sementara pendaftaran pengguna tetap dilakukan melalui *web server* lokal agar proses enrolmen lebih aman dan terkontrol.
2) Penggunaan *limit switch* untuk konfirmasi status mekanis yang tidak banyak ditonjolkan pada penelitian-penelitian terdahulu.
3) Skema catu daya terpisah 12V/5V dengan *step-down* converter untuk menjaga kestabilan tegangan pada ESP32-CAM.
4) Penyediaan jalur darurat dengan Emergency switch untuk mitigasi risiko operasional.

Perbedaan-perbedaan ini dipilih untuk menyeimbangkan aspek keamanan, biaya, dan kemudahan penerapan di lingkungan rumah tangga, serta menjaga kesederhanaan rangkaian dibanding pendekatan berbasis Raspberry Pi yang lebih mahal dan boros daya. Dengan demikian, rancangan rangkaian pada penelitian ini tetap sejalan dengan pola umum pada literatur (pengendali → relay → solenoid), namun memberikan penambahan fitur yang relevan dengan konteks penggunaan dan tujuan penelitian.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Pengembangan Sistem

Untuk menyelesaikan penelitian tentang penerapan pola pengenalan wajah pada sistem keamanan pintu berbasis *Internet of Things*, beberapa proses dan langkah-langkah harus dilakukan. Proses dan tahapan penelitian ini yaitu:



Gambar 3.1 Tahapan Pengerjaan

a. Pengumpulan data dan informasi

   Dalam proses ini, peneliti mengumpulkan data dan informasi penting yang digunakan sebagai dasar untuk membangun sistem penerapan pola pengenalan wajah pada keamanan pintu rumah cerdas dengan *Internet of Things*. Proses yang dilakukan di sini adalah penelitian literatur yang bertujuan untuk menyelidiki elemen yang terkait dengan teori-teori tersebut dan memberikan dukungan selama proses perancangan sistem.

b. Identifikasi kebutuhan

   Pada proses ini, peneliti menemukan semua hal yang diperlukan untuk membangun sistem, seperti alat yang akan digunakan dan skema rangkaian sistem untuk digunakan sebagai panduan perancangan.

c. Perancangan sistem

   Pada proses ini, peneliti mulai mengerjakan sistem menggunakan pedoman skema yang telah dibuat sebelumnya. Pertama, membuat perangkat keras untuk

menyambungkan kamera dan perangkat tambahan. Setelah itu, mereka menulis kode agar perangkat dapat mendeteksi wajah pengguna.

d. Pengujian alat dan sistem

Pada proses ini, peneliti menguji sistem untuk mengidentifikasi bug dan kekurangan yang dapat diperbaiki.

e. Implementasi

Tujuan dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa penerapan pola pengenalan wajah pada keamanan pintu rumah cerdas dengan *Internet of Things* memenuhi harapan dan bekerja dengan baik tanpa masalah atau gangguan.

3.2 Pengumpulan Data dan Informasi

Salah satu masalah utama dalam menjaga keamanan rumah adalah kurangnya keamanan pintu rumah yang masih menggunakan kunci konvensional yang lemah dan mudah dilacak atau dicuri, sehingga meningkatkan risiko pencurian rumah. Selain itu, pemilik rumah juga kehilangan kontrol dan monitoring yang efektif, karena mereka tidak dapat memantau siapa yang masuk ke dalam rumah secara *real-time*, sehingga memungkinkan orang tidak dikenal untuk memasuki rumah.

Penggunaan teknologi yang masih tradisional dan tidak efektif dalam menjaga keamanan rumah juga merupakan masalah yang perlu diatasi. Kunci konvensional tidak dapat diintegrasikan dengan teknologi canggih, sehingga tidak dapat memberikan perlindungan yang maksimal. Selain itu, kemudahan akses yang tidak terkontrol juga merupakan masalah yang signifikan. Pemilik rumah tidak memiliki kemampuan untuk mengontrol siapa saja yang masuk ke dalam rumah, sehingga memungkinkan akses tidak terkontrol.

Dari identifikasi masalah di atas dapat disimpulkan bahwa, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan pintu rumah yang lebih canggih dan efektif menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan pengenalan wajah. Dengan demikian, sistem keamanan pintu rumah cerdas ini dapat meningkatkan keamanan dan kontrol akses rumah, sehingga mengurangi risiko pencurian dan memastikan bahwa hanya orang yang sah yang dapat memasuki rumah.

3.3 Identifikasi Kebutuhan

Sistem keamanan pintu rumah cerdas yang menggunakan pengenalan wajah menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) ini bertujuan untuk meningkatkan keamanan

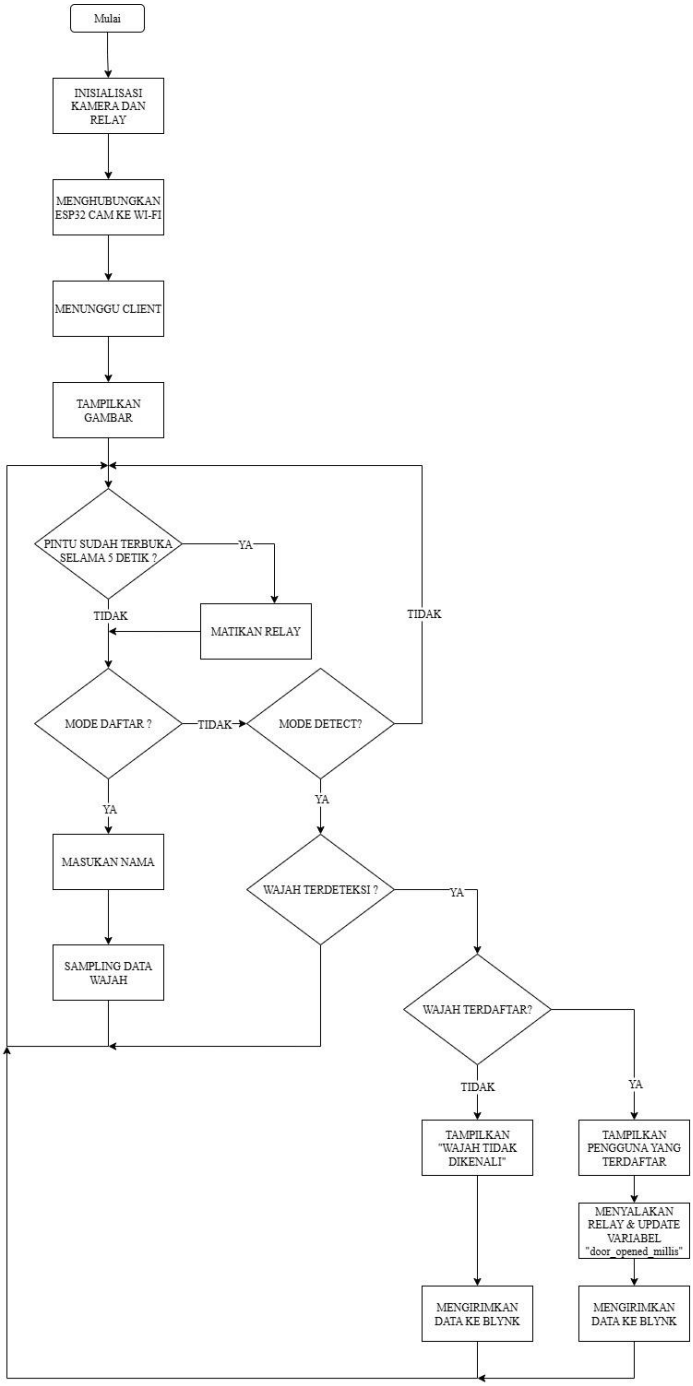
dan kenyamanan saat mengelola akses ke rumah. Beberapa komponen utama sistem ini adalah kamera wajah, modul pengenalan wajah, dan perangkat IoT untuk kendali pintu yaitu Blynk. Kamera wajah terletak di pintu dan mengambil foto orang di depannya. Data ini kemudian dikirim ke modul pengenalan wajah, yang menggunakan algoritma untuk mencocokkan wajah dengan data pengguna yang telah terdaftar. Sistem akan mengirimkan sinyal ke perangkat IoT yang terhubung ke mekanisme kunci pintu, yang akan memungkinkan pintu terbuka secara otomatis jika wajahnya sesuai. Selain itu, sistem ini dapat diintegrasikan ke dalam aplikasi smartphone, memungkinkan pengguna menerima notifikasi atau mengatur akses dari jarak jauh. Teknologi *Internet of Things* ini membuat keamanan pintu rumah lebih canggih dan efisien karena hanya orang yang terdaftar yang dapat masuk dan pemilik rumah dapat memantau akses secara *real-time*.

3.3.1 *Flowchart*

Sistem keamanan pintu rumah berbasis ESP32-CAM dimulai dengan proses inisialisasi perangkat keras, termasuk kamera dan relay. Setelah selesai, ESP32-CAM akan mencoba terhubung ke jaringan *Wi-Fi* yang telah dikonfigurasi. Sistem akan masuk ke tahap menunggu koneksi pengguna atau klien setelah koneksi berhasil. Selain itu, kamera ESP32-CAM memindai lingkungan terus-menerus untuk mengidentifikasi wajah. Jika tidak terdeteksi, sistem akan kembali ke proses awal untuk menunggu *input* dari klien, tetapi jika wajah terdeteksi, sistem akan melakukan proses *verifikasi*.

Sistem akan memeriksa apakah wajah yang terdeteksi sudah terdaftar dalam *database*. Jika tidak, sistem akan memeriksa apakah saat ini berada dalam mode pendaftaran. Jika ya, pengguna diminta untuk memasukkan nama, dan sistem akan melakukan proses pengambilan sampel wajah (sampling) dan menampilkan hasil gambar yang diambil. Jika tidak berada dalam mode pendaftaran, sistem akan menampilkan pesan "wajah tidak dikenali".

Sebaliknya, jika wajah yang terdeteksi sudah terdaftar, sistem akan menampilkan nama pengguna yang sesuai, mengaktifkan relay sebagai mekanisme pembukaan pintu, dan memperbarui *variabel door_opened_millis* untuk mencatat waktu pembukaan pintu. Selain itu, sebagai bagian dari fitur pemantauan jarak jauh berbasis *Internet of Things* (IoT), sistem juga akan mengirimkan data aktivitas ini ke platform Blynk. Sistem akan memantau waktu pembukaan pintu setelah terbuka. Setelah lima detik berlalu, relay akan dimatikan secara otomatis untuk menutup kembali pintu. Selanjutnya, proses kembali ke tahap awal untuk menunggu klien berikutnya.



Gambar 3.2 *Flowchart* Perancangan Sistem

3.3.2 Skema Perangkat

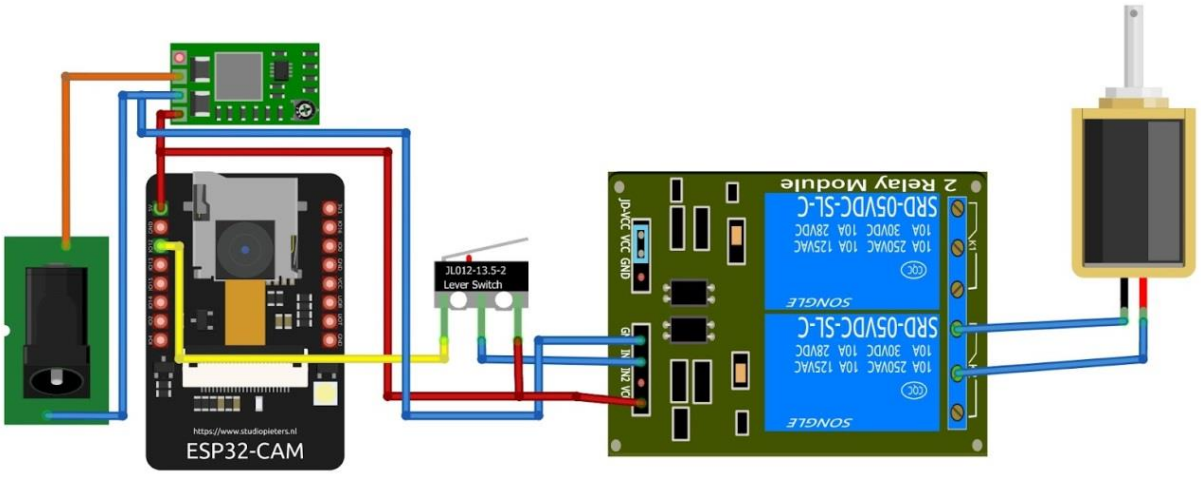
Sistem keamanan pintu ini menggunakan modul ESP32-CAM sebagai mikrokontroler utama yang dilengkapi dengan kamera deteksi wajah. Modul ESP32-CAM terhubung dengan beberapa komponen pendukung, seperti modul *regulator* tegangan (*step-down converter*), *motor* solenoid, sensor penghalang batas, dan modul relay dua channel.

Dengan menggunakan modul *step-down converter* berbasis LM2596, modul ESP32-CAM mendapatkan tegangan dari adaptor DC yang terlebih dahulu diturunkan. Output *step-down converter* diatur menjadi 5V untuk memenuhi kebutuhan tegangan ESP32-CAM. Kabel merah menunjukkan jalur VCC (positif 5V), kabel biru menunjukkan jalur GND, dan kabel kuning menunjukkan jalur data.

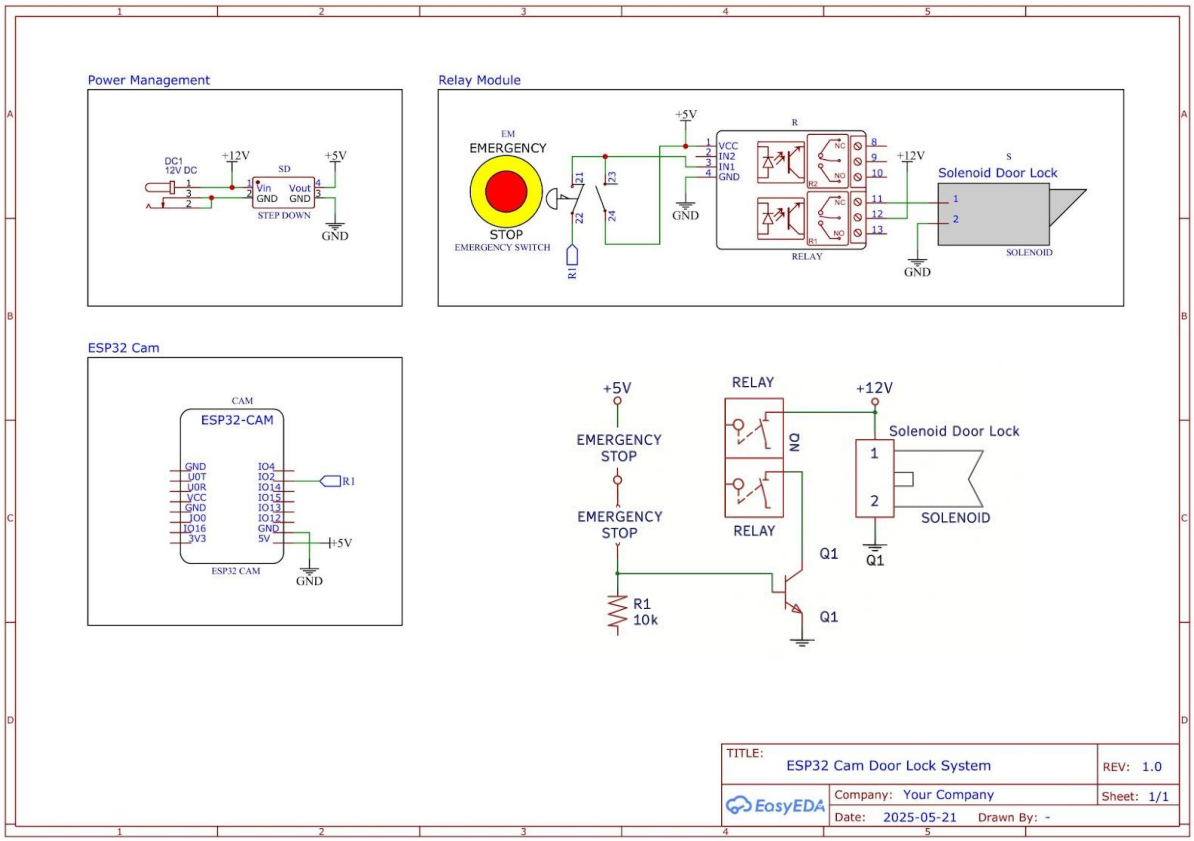
Untuk mengontrol kunci pintu, solenoid dikendalikan oleh modul relay. Ini terhubung langsung ke ESP32-CAM melalui pin GPIO, dengan dua jalur kontrol IN1 dan IN2 terhubung ke input digital modul relay. Tugas modul relay adalah mengatur aliran arus menuju motor solenoid, yang memungkinkan untuk membuka atau mengunci pintu sesuai perintah ESP32-CAM setelah pengenalan wajah berhasil.

Selain itu, sensor penghalang batas (JL012-13.5-2) digunakan untuk mendeteksi posisi kunci terbuka atau tertutup. Dengan *limit switch* ini, sensor ini terhubung ke salah satu pin GPIO ESP32-CAM dan juga ke jalur VCC dan GND. Ini memungkinkan sistem untuk mengetahui status fisik kunci, sehingga mereka dapat memberikan *feedback* atau logika tambahan selama proses penguncian.

Secara umum, rangkaian ini bekerja secara otomatis berdasarkan hasil pengenalan wajah ESP32-CAM. Jika wajah yang dikenali sesuai dengan *database*, ESP32-CAM akan mengaktifkan relay untuk menggerakkan solenoid, yang mengakibatkan pembukaan pintu. Setelah itu, *limit switch* memberikan sinyal status yang menunjukkan bahwa pintu telah terbuka. Dengan demikian, sistem dapat melakukan tindakan lanjutan, seperti menutup kembali pintu setelah waktu tertentu.



Gambar 3.3 Perancangan Alat ESP32-CAM



Gambar 3.4 Skematik ESP32-CAM

3.3.3 Kebutuhan Perangkat Keras

Berikut ini kebutuhan perangkat keras yang diperlukan:

a. ESP32-CAM.
b. Electronic door lock 12 V.
c. Relay 2 Channel + PC817 (optocoupler).
d. Step Down.
e. Emergency Switch.
f. 12V DC adaptor.

3.3.4 Kebutuhan Perangkat Lunak

Berikut ini adalah kebutuhan perangkat lunak yang dibutuhkan:

a. Blynk.
b. *Web server*.
c. Arduino IDE.

3.4 Perancangan Sistem

Untuk memastikan operasi berjalan secara otomatis dan efisien, setiap komponen sistem keamanan pintu ini memiliki peran dan fungsi yang saling mendukung. ESP32-CAM, komponen utama, berfungsi sebagai pusat kendali sistem dan modul pengenalan wajah. Dengan dukungan kamera bawaan, ia memproses gambar wajah dan mencocokkannya dengan data yang telah tersimpan. Jika wajah dikenali, ESP32-CAM mengirimkan sinyal untuk membuka kunci pintu.

Regulator step-down converter (LM2596) menurunkan tegangan dari sumber daya, yang biasanya 12V, menjadi 5V yang dibutuhkan oleh modul relay dan ESP32-CAM. Ini memastikan bahwa semua komponen mendapatkan pasokan tegangan yang stabil, sehingga sistem dapat berjalan dengan aman dan optimal. Modul relay dua channel berfungsi sebagai saklar elektronik yang mengontrol aliran arus listrik ke motor solenoid yang mengunci pintu. Dengan menerima sinyal dari ESP32-CAM, relay dapat menghubungkan atau memutuskan arus, yang memungkinkan motor solenoid bergerak untuk membuka atau mengunci pintu sesuai perintah.

Solenoid berfungsi sebagai aktuator pengunci mekanis. Saat relay mengalirkan arus ke solenoid, solenoid menarik atau mendorong batang pengunci, yang memungkinkan pintu secara fisik dibuka atau dikunci. Sensor *limit switch* berfungsi untuk mendeteksi status fisik

kunci pintu, apakah dalam keadaan terbuka atau tertutup. Sensor ini mengirimkan sinyal balik ke ESP32-CAM sebagai umpan balik logika sistem, sehingga sistem dapat mengambil keputusan lanjutan, seperti mengunci kembali pintu setelah dibuka. Adaptor DC berfungsi sebagai sumber daya utama dan menyuplai tegangan ke seluruh rangkaian. Kemudian, tegangan ini diturunkan oleh konvertor *step-down* sebelum di distribusikan ke komponen lainnya.

Pengguna utama dari sistem ini adalah pemilik rumah dan anggota keluarga yang telah terdaftar pada sistem, sehingga hanya mereka yang dapat melakukan akses masuk secara sah melalui autentikasi wajah. Sistem keamanan pintu rumah cerdas ini dirancang agar akses masuk hanya dapat dilakukan melalui proses autentikasi berbasis pengenalan wajah. Modul ESP32-CAM melakukan identifikasi terhadap wajah pengguna yang telah terdaftar pada sistem, dan apabila sesuai, maka sinyal dikirimkan ke modul relay untuk mengaktifkan *solenoid door lock*, sehingga pintu dapat terbuka.

Sebaliknya, untuk akses keluar dari dalam rumah, tidak digunakan autentikasi berbasis wajah. Sebagai gantinya, disediakan sebuah *push button*/Emergency switch yang terhubung langsung dengan modul relay. Tombol ini dapat ditekan pengguna dari dalam rumah untuk membuka pintu tanpa melalui proses identifikasi wajah. Desain ini dipilih untuk meningkatkan aspek keamanan dari luar, karena akses masuk tidak dapat dilakukan tanpa verifikasi biometrik, namun tetap memberikan kemudahan dan keamanan penghuni saat ingin keluar rumah. Selain itu, penyediaan *push button*/Emergency switch pada sisi dalam pintu juga berfungsi sebagai jalur evakuasi cepat dalam kondisi darurat, sehingga sistem tidak hanya berfokus pada keamanan, tetapi juga mempertimbangkan aspek keselamatan pengguna.

Dalam penelitian ini tidak digunakan pintu mini sebagai media uji coba, melainkan langsung diaplikasikan pada pintu berukuran sebenarnya. Pertimbangan utama adalah agar sistem dapat diuji dalam kondisi nyata (*real environment*), sehingga aspek kekuatan mekanik solenoid, penempatan sensor, serta kestabilan rangkaian dapat dievaluasi secara komprehensif. Dengan demikian, hasil penelitian lebih relevan dengan kebutuhan pengguna akhir dan tidak menimbulkan perbedaan kinerja ketika diterapkan pada pintu sesungguhnya.

3.4.1 Perancangan Komponen Perangkat IoT

Untuk sistem keamanan pintu rumah cerdas berbasis pengenalan wajah yang menggunakan ESP32-CAM, komponen perangkat keras harus dirancang dengan

mempertimbangkan fungsi, spesifikasi teknis, dan efisiensi daya. Modul mikrokontroler, modul relay, aktuator kunci pintu, catu daya, konverter tegangan, dan perangkat pendukung lainnya adalah semua komponen yang digunakan.

Proses perakitan perangkat IoT pada sistem keamanan pintu rumah cerdas ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, sumber daya DC 12V dihubungkan ke modul regulator *step-down converter* untuk menurunkan tegangan menjadi 5V yang sesuai dengan kebutuhan modul ESP32-CAM dan modul relay. Kedua, modul ESP32-CAM dihubungkan dengan modul relay melalui pin GPIO12 untuk mengendalikan *solenoid door lock*, serta dihubungkan dengan Lever switch melalui pin GPIO13 untuk mendeteksi status pintu terbuka atau tertutup. Ketiga, modul relay dihubungkan ke solenoid door lock untuk mengatur aliran arus listrik sesuai perintah dari ESP32-CAM. Keempat, seluruh rangkaian dihubungkan ke aplikasi Blynk melalui koneksi *Wi-Fi* yang telah dikonfigurasi pada kode program. Setelah semua komponen terpasang dan terhubung sesuai skema, sistem siap digunakan untuk proses pengenalan wajah dan pengendalian pintu secara otomatis.

3.4.1.1 Perangkat Keras

Tabel 3.1 Komponen Perangkat Keras IoT

No.	Komponen	Pin / Terminal	Terhubung ke	Keterangan
1.	Power Supply DC	(+) Positive	VIN modul regulator (input)	Sumber tegangan 12V
		(–) Ground	GND semua komponen	Ground sistem terhubung bersama
2.	Modul Regulator	OUT (5V)	VCC ESP32-CAM dan VCC relay	Memberi daya 5V stabil ke ESP32 dan relay
		GND	GND ESP32-CAM dan GND relay	Ground regulator ke semua GND
3.	ESP32-CAM	GND	GND umum (dari regulator)	Ground ESP32-CAM
		5V	OUT regulator 5V	Daya ESP32-CAM
		GPIO12	IN1 Relay 1	Mengontrol relay untuk mengaktifkan solenoid
		GPIO13	Middle pin lever switch	Membaca status saklar pintu

		GPIO3 (U0R)	Untuk pemrograman	Opsional (biasanya digunakan saat flashing)
4.	Relay 2 Channel	VCC	5V dari regulator	Daya untuk modul relay
		GND	GND umum	Ground
		IN1	GPIO12 ESP32-CAM	Kontrol channel 1 (solenoid)
		NO (Normally Open)	Salah satu kabel ke Solenoid	Arus mengalir saat relay aktif
		COM	Kabel positif dari power supply 12V	Jalur utama dari power ke solenoid
5.	Solenoid Lock	+ (merah)	NO relay	Mendapatkan daya saat relay aktif
		– (hitam)	GND power supply	Jalur ground langsung
6.	Lever Switch	Sisi 1 (umumnya C)	GND	Ground untuk saklar pintu
		Sisi 2 (umumnya NO/NC)	GPIO13 ESP32-CAM	Input deteksi status pintu (terbuka atau tertutup)

Tabel 3.1 menunjukkan hubungan pin atau terminal dari setiap komponen yang digunakan dalam sistem keamanan pintu rumah cerdas berbasis pengenalan wajah yang menggunakan ESP32-CAM, serta fungsi dan keterangannya.

a) Power Supply DC

Sumber daya utama sistem berasal dari sumber daya DC dengan keluaran 12 V. Pin VIN modul regulator dihubungkan ke terminal positif (+) sebagai input daya, dan pin negatif (−) dihubungkan ke jalur GND semua komponen sebagai *common ground*. Tegangan ini digunakan untuk menyuplai seluruh rangkaian.

b) Modul Regulator

Modul kontrol berfungsi menurunkan dan menstabilkan tegangan keluaran sumber daya agar sesuai dengan kebutuhan komponen. Untuk menyediakan tegangan 5 V yang stabil, pin OUT (5V) pada modul regulator dihubungkan ke pin VCC pada ESP32-CAM dan VCC pada relay. Pin GND pada regulator dihubungkan ke GND relay, GND ESP32-CAM, serta GND umum. Pin 5V digunakan untuk menyuplai daya ESP32-CAM yang berasal dari regulator.

c) ESP32-CAM

Mikrokontroler ESP32-CAM berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Pin GPIO13 dihubungkan ke pin tengah lever switch untuk mendeteksi status pintu terbuka atau tertutup. Pin GPIO12 dihubungkan ke pin IN1 pada relay 1 untuk mengontrol aktivasi relay yang menyalakan solenoid lock. Pin GPIO3 (U0R) umumnya digunakan pada proses *flashing* atau pemrograman modul karena merupakan salah satu opsi jalur komunikasi serial.

d) Relay 2 Channel

Sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh ESP32-CAM, pin VCC pada relay dihubungkan ke keluaran 5 V regulator, sedangkan pin GND pada relay dihubungkan ke GND umum. Pin IN1 pada relay dihubungkan ke GPIO12 pada ESP32-CAM untuk mengontrol channel 1 yang mengaktifkan solenoid. Kontak (NO) pada relay dihubungkan ke salah satu kabel solenoid, sedangkan pin COM pada relay dihubungkan ke kabel positif dari sumber daya 12 V yang berfungsi sebagai jalur utama untuk menyalurkan daya ke solenoid.

e) Solenoid Lock

Pengunci pintu solenoid bekerja dengan prinsip elektromagnetik. Untuk melengkapi rangkaian, kabel negatif (−) pada solenoid dihubungkan langsung ke GND sumber daya, sehingga terminal positif (+) pada solenoid hanya menerima daya ketika relay aktif.

f) Lever Switch

Lever switch berfungsi sebagai sensor untuk mendeteksi status pintu. Dengan konfigurasi ini, ESP32-CAM dapat membaca kondisi pintu terbuka atau tertutup berdasarkan perubahan sinyal pada saklar. GND dihubungkan ke terminal pertama yang umumnya merupakan C (*common*), sedangkan terminal kedua yang umumnya (NO) atau (NC) dihubungkan ke GPIO13 pada ESP32-CAM.

3.4.1.2 Perangkat Lunak

Dalam melakukan interaksi perangkat secara daring dapat dilakukan dengan bantuan aplikasi Blynk sebagai pengontrol perangkat *smart lock door*. Langkah pertama membuat projek baru di aplikasi Blynk berisikan *Label* yang berfungsi sebagai indikator perangkat mendeteksi pengguna, lalu tambahkan LED berfungsi untuk melihat status pengguna sudah terdaftar atau tidak. *Library* board ESP32 versi 1.0.5 dipilih dalam implementasi sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah dengan ESP32-CAM karena memiliki

tingkat kompatibilitas dan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan versi 3.2.0. Versi 1.0.5 telah teruji bekerja optimal dengan *library esp_camera* dan modul pengenalan wajah bawaan tanpa memerlukan modifikasi signifikan pada kode sumber, sementara versi 3.2.0 cenderung menimbulkan permasalahan kompatibilitas akibat perubahan API dan *driver* internal.

Untuk memantau tampilan kamera serta melakukan proses pendaftaran pengguna baru, sistem ini memanfaatkan antarmuka berbasis *web server*. Langkah pertama yang harus dilakukan untuk mengakses *web server* adalah mengunggah *source code* ke perangkat ESP32-CAM menggunakan bantuan perangkat lunak Arduino IDE. Proses pengunggahan ini harus dilakukan dengan benar agar perangkat dapat menjalankan program sesuai yang diharapkan. Setelah proses unggah berhasil dan tidak terdapat kesalahan pada *source code* maupun koneksi perangkat, alamat IP dari *web server* akan muncul pada *serial monitor* Arduino IDE. Alamat IP tersebut merupakan jalur akses menuju antarmuka *web server*. Selanjutnya, pengguna dapat membuka alamat tersebut melalui peramban (*browser*) pada perangkat yang terhubung ke jaringan yang sama dengan ESP32-CAM. Melalui halaman *web server* ini, pengguna dapat melihat tampilan kamera secara langsung (*live streaming*) serta melakukan pendaftaran wajah baru yang akan disimpan ke dalam basis data sistem.

3.5 Pengujian Alat dan Bahan

Tujuan dari pengujian alat dan sistem keamanan pintu rumah cerdas ini adalah untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja sesuai fungsinya dan bahwa fitur pengenalan wajah bekerja dengan benar. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama, pengujian perangkat keras dilakukan untuk memastikan bahwa komponen seperti ESP32-CAM, sumber daya elektronik, dan kunci pintu elektronik bekerja dengan stabil. Setelah itu, pengujian pengenalan wajah digunakan untuk memastikan bahwa hanya wajah yang dikenali yang dapat membuka kunci pintu, sementara wajah yang tidak terdaftar ditolak. Terakhir, untuk memastikan bahwa pengguna dapat memantau dan mengontrol akses pintu dari jarak jauh, pengujian konektivitas IoT dilakukan melalui aplikasi Blynk. Hasil dari setiap tahap pengujian ini akan membantu mengevaluasi kinerja sistem dan menentukan perbaikan yang diperlukan untuk meningkatkan keamanannya.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian terhadap sistem yang telah dibuat apakah bekerja sesuai dengan perancangan penulis atau tidak serta untuk mengevaluasi kinerja sistem keamanan pintu rumah cerdas dengan teknologi IoT. Penulis menggunakan modul ESP32-CAM untuk pengambilan gambar wajah yang terhubung ke sistem IoT untuk melakukan pengenalan wajah, membuka pintu secara otomatis jika wajah yang terdeteksi terdaftar, dan memberikan notifikasi jika wajah yang tidak dikenali terdeteksi.

4.1.1 Pengujian Integrasi Komponen Sistem

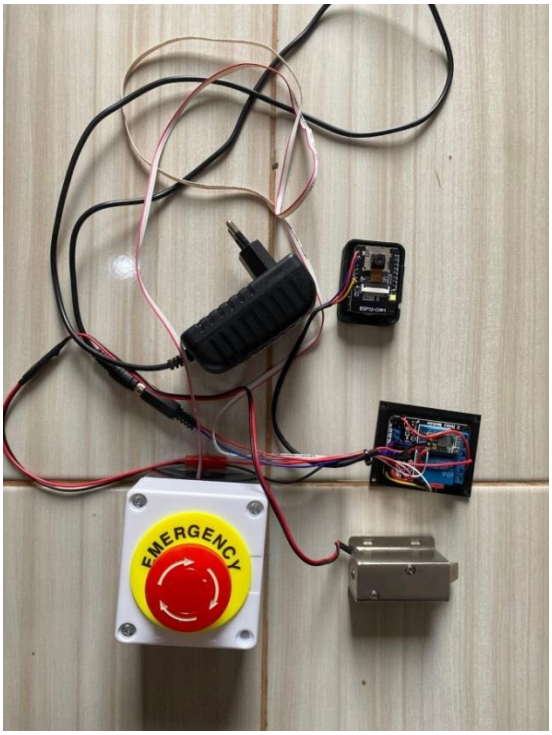
Untuk memastikan bahwa setiap komponen yang digunakan dalam sistem dapat terhubung dan bekerja secara sinergis, pengujian integrasi dilakukan. Sistem ini menggunakan komponen utama ESP32-CAM sebagai modul mikrokontroler yang memiliki kamera bawaan, modul relay berfungsi sebagai pengendali kunci pintu, dan koneksi *Wi-Fi* digunakan untuk menghubungkan sistem ke Blynk dan *web*.

Untuk memulai pengujian, ESP32-CAM disambungkan ke jaringan *Wi-Fi* yang telah dikonfigurasi. Selanjutnya, ESP32-CAM menjalankan proses pengenalan wajah secara lokal. Sistem secara otomatis mengaktifkan modul relay untuk membuka pintu ketika wajah dikenali. Selain itu, sistem mengirimkan data status pengenalan wajah ke antarmuka *web* untuk menunjukkan apakah berhasil atau tidak.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Integrasi Komponen Sistem

Komponen	Fungsi	Hasil Integrasi	Status
ESP32-CAM	Deteksi dan pengenalan wajah	Berfungsi dengan baik	Berhasil
Modul Relay	Mengontrol kunci pintu	Aktif saat wajah dikenali	Berhasil
Wi-Fi	Komunikasi ke *web server*	Stabil dan terhubung	Berhasil
Antarmuka Web	Menampilkan status pengenalan	Menerima notifikasi	Berhasil

Hasil pengujian integrasi menunjukkan bahwa ESP32-CAM dapat melakukan deteksi dan pengenalan wajah, mengaktifkan modul relay untuk membuka pintu, dan mengirimkan data status pengenalan ke antarmuka *web*. Selain itu, setiap komponen utama sistem, termasuk antarmuka web, modul relay, dan koneksi *Wi-Fi*, dapat bekerja secara bersamaan tanpa mengalami gangguan. Selain itu, stabilitas jaringan membantu kinerja sistem dalam transmisi data secara *real-time*. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi perangkat lunak dan perangkat keras berhasil dan sesuai dengan rancangan sistem.



Gambar 4.1 Hasil Rakitan Komponen Sistem

4.1.2 Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem keamanan pintu rumah cerdas yang dibangun menggunakan ESP32-CAM dapat melakukan fungsi utamanya, yaitu melakukan identifikasi wajah dan mengontrol akses otomatis ke pintu. Beberapa skenario dirancang untuk menguji respons sistem terhadap berbagai kondisi lingkungan dan input pengguna yang berbeda.

Untuk mencegah respons yang tidak diinginkan dari sistem, skenario yang diuji termasuk pengenalan wajah yang telah terdaftar dalam sistem, penolakan akses terhadap

wajah yang tidak dikenali, efek pencahayaan pada proses deteksi, dan respons terhadap wajah yang buram atau tidak fokus.

Hasil pengujian fungsional disajikan dalam Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fungsional

No.	Skenario Pengujian	Ekspektasi	Hasil Pengujian	Status
1	Wajah terdaftar dikenali	Pintu terbuka	Pintu terbuka	Berhasil
2	Wajah tidak terdaftar	Pintu terkunci	Pintu terkunci	Berhasil
3	Pencahayaan rendah	Pengenalan tetap berhasil	Wajah dikenali	Berhasil
4	Wajah buram/tidak fokus	Pengenalan gagal	Akses ditolak	Berhasil
5	Tidak ada wajah di depan kamera	Tidak ada aksi	Tidak ada aksi	Berhasil

Pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem dapat membedakan wajah yang telah terdaftar dari yang tidak. Sistem membuka pintu hanya ketika wajah pengguna dikenali, dan mengunci pintu ketika “wajah tidak dikenali” atau tidak terdeteksi. Sistem tetap dapat mengenali wajah yang terdaftar dalam kondisi pencahayaan rendah, menunjukkan bahwa modul kamera cukup sensitif terhadap pencahayaan rendah. Sebaliknya, wajah yang tidak fokus atau buram ditolak oleh sistem, yang menunjukkan bahwa ada mekanisme yang menyaring input yang tidak valid. Oleh karena itu, sistem menunjukkan kinerja fungsional yang akurat dan dapat diandalkan dalam beberapa kondisi.

Pengujian sistem keamanan pintu rumah cerdas berbasis *Internet of Things* dengan metode pengenalan wajah dilakukan terhadap lima orang responden dengan karakteristik yang berbeda. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi keakuratan sistem dalam mengenali wajah pengguna yang telah terdaftar, menolak akses bagi wajah yang tidak terdaftar, serta menguji respons sistem terhadap kondisi tertentu seperti penggunaan jilbab, penggunaan masker, dan ketiadaan wajah di depan kamera.

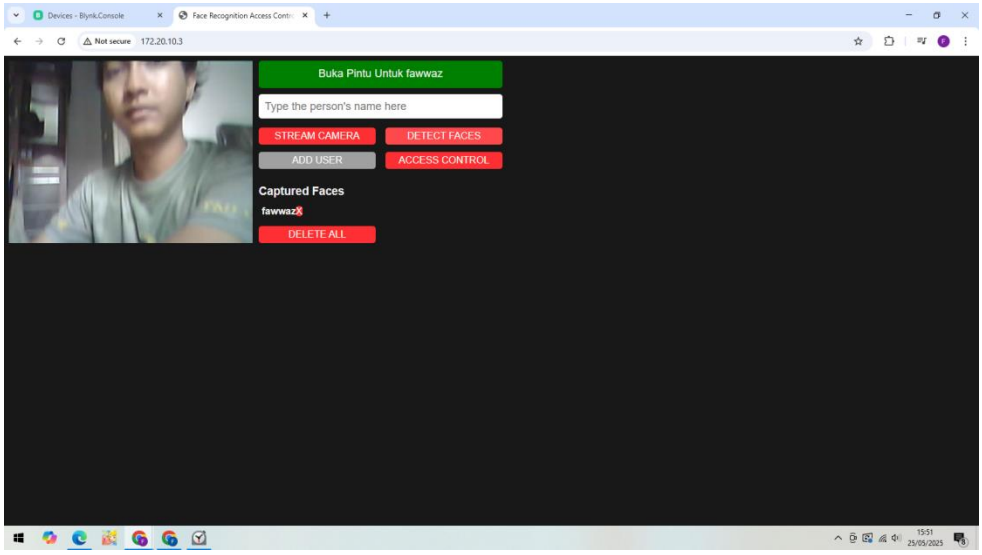
Responden yang terlibat dalam pengujian terdiri dari:

1. Responden A: laki-laki, usia 23 tahun, wajah terdaftar pada sistem.
2. Responden B: laki-laki, usia 23 tahun, wajah tidak terdaftar pada sistem.
3. Responden C: laki-laki, usia 23 tahun, wajah tidak ditampilkan (wajah tidak terdeteksi di kamera)
4. Responden D: perempuan, usia 20 tahun, wajah terdaftar pada sistem, menggunakan jilbab.
5. Responden E: perempuan, usia 20 tahun, wajah terdaftar pada sistem, menggunakan masker.

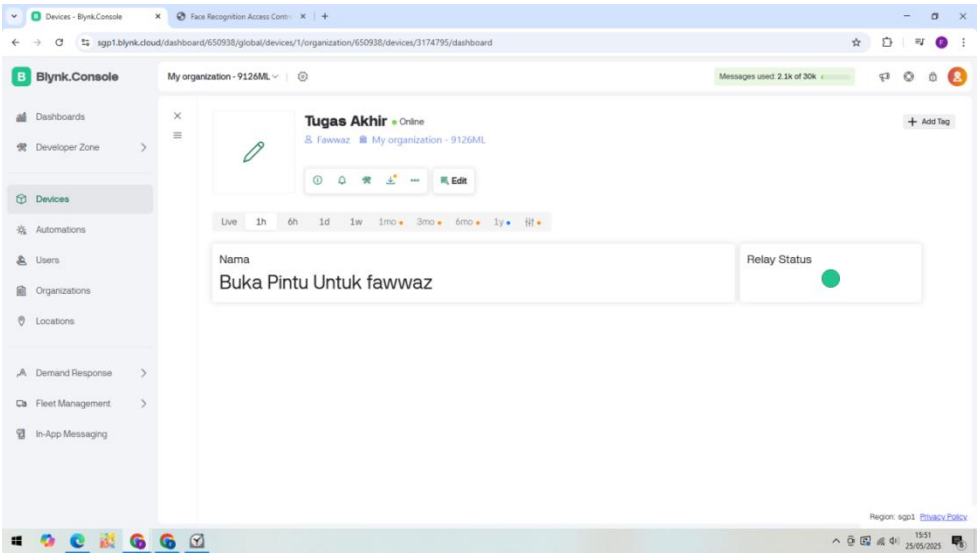
Pengujian dilakukan dengan dua skenario utama, yaitu:

1. Skenario 1: responden dengan wajah yang telah terdaftar mencoba membuka pintu melalui kamera ESP32-CAM.
2. Skenario 2: responden dengan wajah yang tidak terdaftar, menggunakan masker, atau tidak menampilkan wajah mencoba mengakses pintu.

Melalui pengujian ini, dapat diamati kemampuan sistem dalam memberikan akses hanya kepada pengguna sah, serta menolak akses bagi wajah yang tidak terdaftar maupun kondisi yang tidak sesuai. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam mengimplementasikan autentikasi berbasis pengenalan wajah pada pintu rumah cerdas.



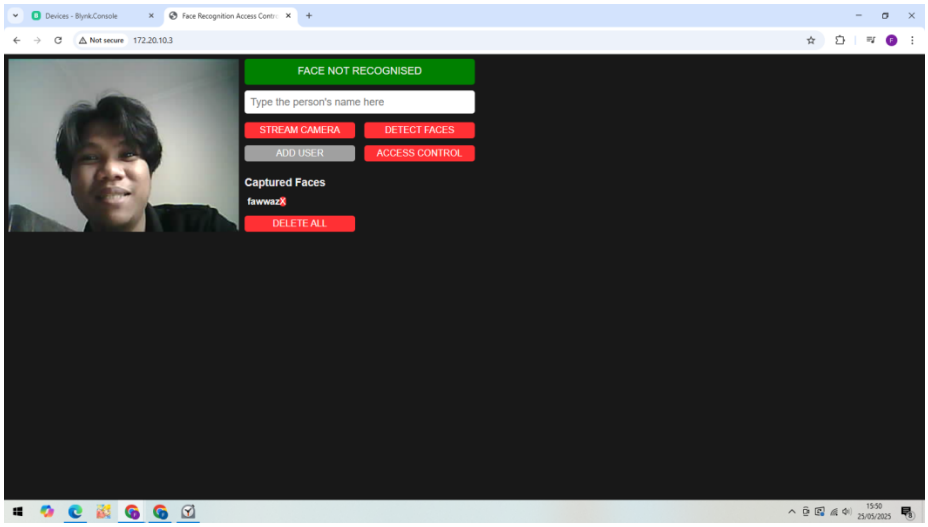
Gambar 4.2 Wajah Terdaftar Dikenali



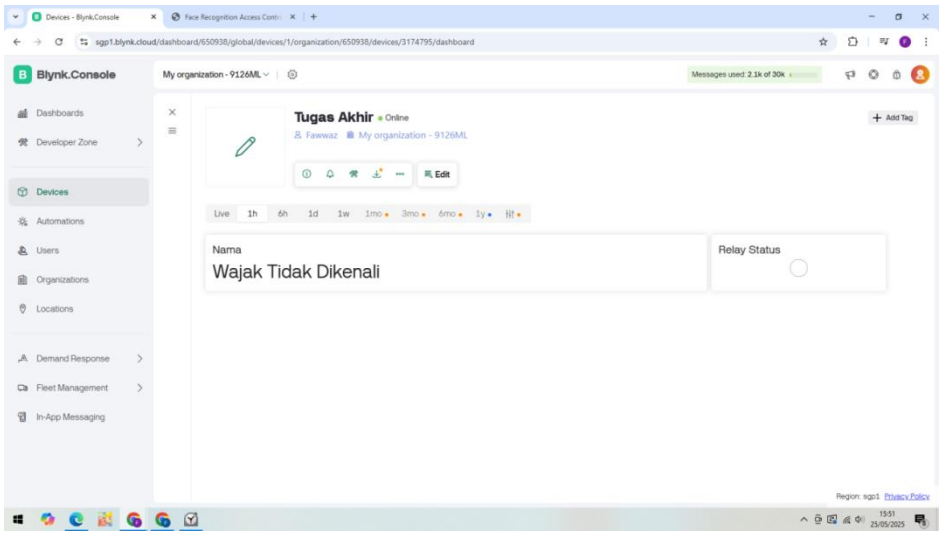
Gambar 4.3 Status Wajah Terdaftar Dikenali

Responden A adalah seorang laki-laki berusia 23 tahun yang wajahnya telah didaftarkan pada sistem. Pada saat melakukan uji coba, modul ESP32-CAM berhasil mengenali wajah responden sebagaimana ditampilkan pada *web server* lokal (Gambar 4.2). Hasil deteksi menunjukkan nama pengguna “fawwaz”, dan sistem memberikan status akses “buka pintu untuk fawwaz”.

Selanjutnya, tampilan *dashboard* Blynk *Console* (Gambar 4.3) juga mengonfirmasi bahwa modul relay aktif, ditandai dengan indikator status berwarna hijau. Hal ini menunjukkan bahwa pintu berhasil terbuka ketika wajah yang terdaftar dikenali oleh sistem. Dengan demikian, pengujian pada responden A dapat disimpulkan berhasil.



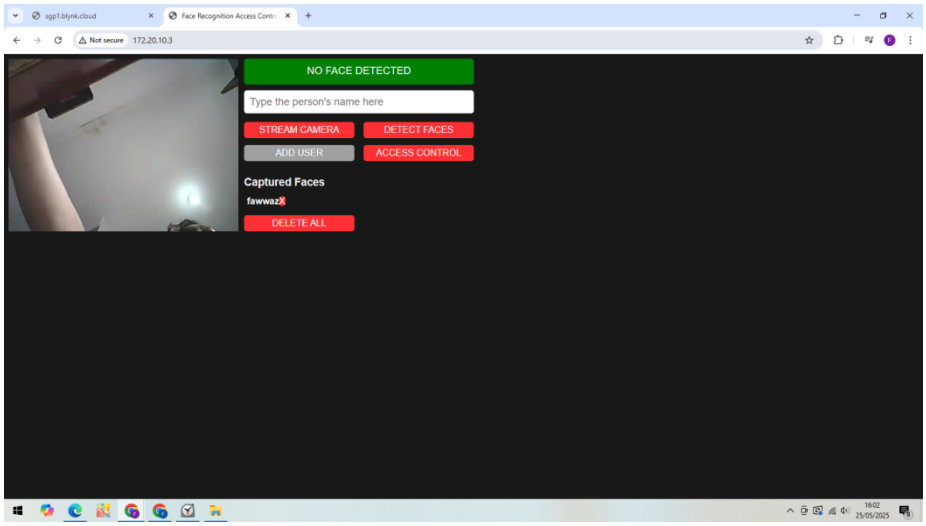
Gambar 4.4 Wajah Tidak Terdaftar



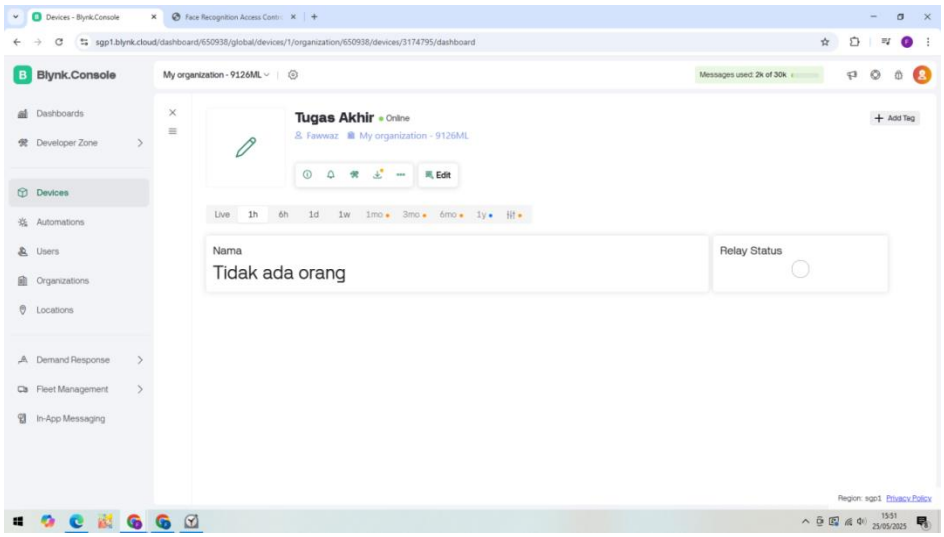
Gambar 4.5 Status Wajah Tidak Terdaftar

Responden B adalah seorang laki-laki berusia 23 tahun yang wajahnya tidak terdaftar pada sistem. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.4, di mana modul ESP32-CAM berhasil mendeteksi wajah namun memberikan status "*FACE NOT RECOGNISED*".

Pada saat yang sama, *dashboard* Blynk *Console* (Gambar 4.5) juga menampilkan keterangan "wajah tidak dikenali", serta indikator relay tetap dalam kondisi *non*-aktif. Hal ini membuktikan bahwa sistem tidak memberikan akses buka pintu kepada wajah yang tidak terdaftar dalam basis data. Dengan demikian, sistem berhasil menolak akses masuk dari responden B.



Gambar 4.6 Wajah Tidak Terdeteksi

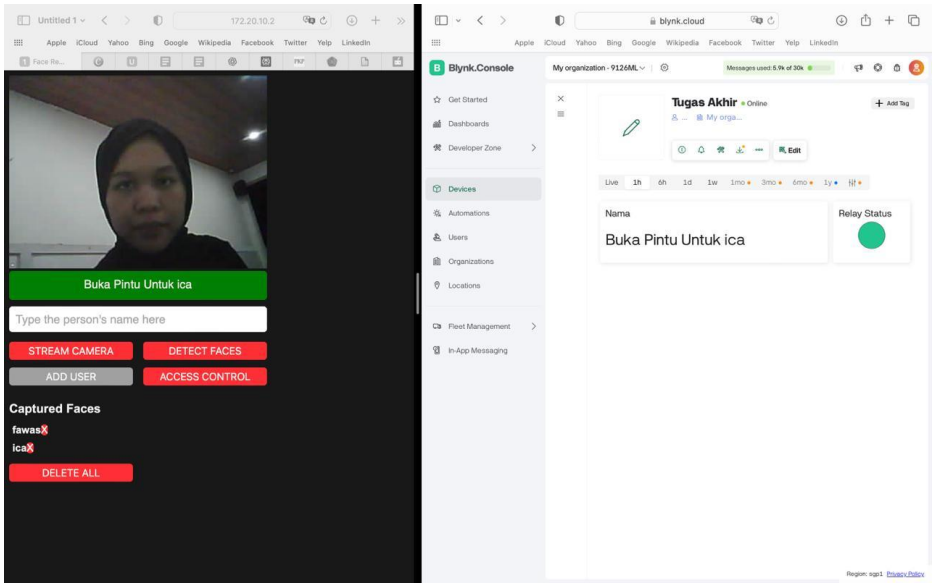


Gambar 4.7 Status Wajah Tidak Terdeteksi

Responden C adalah seorang laki-laki berusia 23 tahun yang wajahnya tidak terdaftar pada sistem. Pada saat pengujian, modul ESP32-CAM tidak berhasil mengenali wajah responden, dan tampilan *web server* memberikan status "*NO FACE DETECTED*" sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Kondisi tersebut dikonfirmasi melalui *dashboard* Blynk *Console* (Gambar 4.7) yang menampilkan keterangan "Tidak ada orang", dengan indikator relay dalam keadaan *non*-aktif. Hal ini berarti sistem menolak akses masuk karena tidak mendeteksi wajah pengguna yang valid.

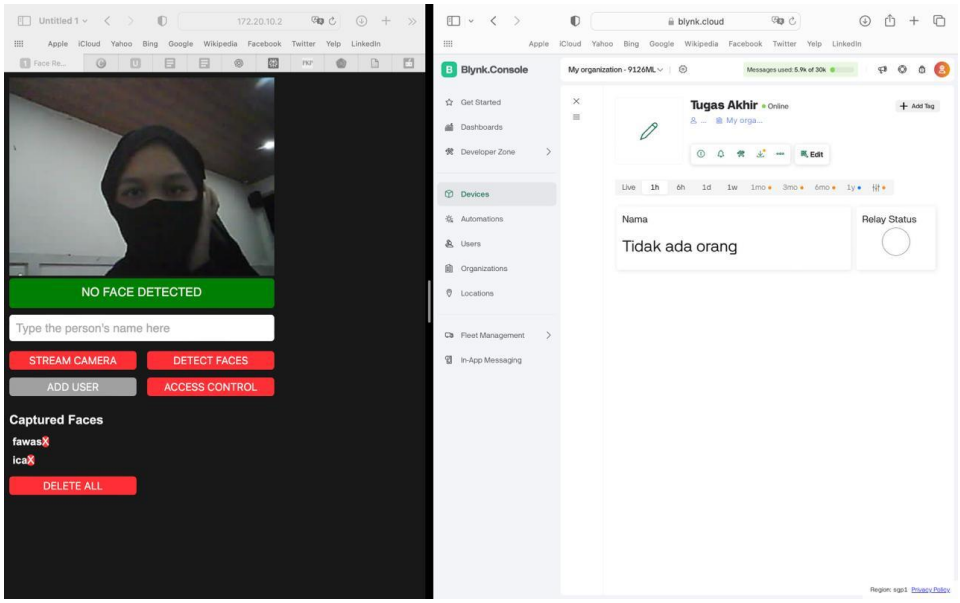
Dengan demikian, pengujian responden C menunjukkan bahwa sistem mampu mencegah akses ketika “wajah tidak dikenali” oleh kamera, sehingga keamanan tetap terjaga.



Gambar 4.8 Pengujian Pada Perempuan Dengan Jilbab

Responden D adalah seorang perempuan berusia 20 tahun yang menggunakan jilbab, dan wajahnya telah didaftarkan pada sistem. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.8, di mana modul ESP32-CAM berhasil mengenali wajah responden dengan identitas “ica”. Sistem kemudian menampilkan status “buka pintu untuk ica” pada *web server*.

Tampilan *dashboard* Blynk *Console* (Gambar 4.8) juga menunjukkan status yang sama dengan indikator relay berwarna hijau, yang menandakan pintu berhasil terbuka. Pengujian ini membuktikan bahwa penggunaan jilbab tidak mengurangi keakuratan sistem dalam mengenali wajah responden yang telah terdaftar. Dengan demikian, sistem tetap dapat memberikan akses yang valid kepada pengguna perempuan berjilbab.



Gambar 4.9 Pengujian Dengan Masker

Responden E adalah seorang perempuan berusia 20 tahun yang wajahnya telah terdaftar pada sistem, namun saat pengujian menggunakan masker yang menutupi sebagian besar area wajah. Berdasarkan hasil pengujian (Gambar 4.9), modul ESP32-CAM tidak berhasil mengenali wajah responden dan memberikan status "*NO FACE DETECTED*".

Hal ini dikonfirmasi melalui *dashboard* Blynk *Console* (Gambar 4.9) yang menampilkan keterangan "Tidak ada orang", dengan indikator relay dalam kondisi *non*-aktif. Dengan demikian, pintu tidak terbuka.

Pengujian ini menunjukkan bahwa penggunaan masker dapat memengaruhi akurasi sistem dalam mengenali wajah. Sistem tidak dapat memberikan akses pada wajah yang tertutup sebagian, sehingga tingkat keberhasilan autentikasi berkurang ketika objek uji menggunakan atribut yang menutupi fitur wajah utama.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sistem

Responden	**Jenis Kelamin**	**Usia**	**Status Wajah di Sistem**	**Kondisi Khusus**	**Hasil *Web Server***	**Hasil Blynk *Console***	**Status Relay**	**Akses Pintu**
A	Laki-laki	23	Terdaftar	-	Buka Pintu untuk	Buka Pintu untuk	Aktif (Hijau)	Terbuka

					fawwaz	fawwaz		
B	Laki-laki	23	Tidak Terdaftar	-	*FACE NOT RECOGNISED*	Wajah tidak dikenali	Non-aktif	Tertutup
C	Laki-laki	23	Tidak Terdaftar	-	*NO FACE DETECTED*	Tidak ada orang	Non-aktif	Tertutup
D	Perempuan	20	Terdaftar	Menggunakan jilbab	Buka Pintu untuk ica	Buka Pintu untuk ica	Aktif (Hijau)	Terbuka
E	Perempuan	20	Terdaftar	Menggunakan masker	*NO FACE DETECTED*	Tidak ada orang	Non-aktif	Tertutup

4.1.3 Pengujian Kecepatan Respons Sistem

Pembatasan waktu terbukanya pintu selama 5 detik ditetapkan sebagai upaya untuk menjaga tingkat keamanan dan efisiensi operasional sistem. Pemilihan durasi 5 detik didasarkan pada pertimbangan bahwa waktu tersebut relatif cukup untuk memungkinkan pengguna membuka dan melewati pintu tanpa tergesa-gesa, namun tidak terlalu lama sehingga dapat meminimalkan potensi risiko pintu dibiarkan terbuka yang dapat dimanfaatkan oleh pihak yang tidak berwenang. Selain itu, meskipun pintu dalam keadaan tertutup, sistem tetap menghitung durasi akses ini sebagai batas waktu maksimum. Setelah waktu yang ditentukan terlampaui, mekanisme pengunci akan aktif kembali secara otomatis untuk memastikan pintu berada pada kondisi terkunci, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kelalaian pengguna dalam menutup pintu.

Seberapa cepat sistem merespon input wajah yang dikenal hingga melakukan aksi pembukaan pintu adalah tujuan dari pengujian ini. Faktor penting dalam sistem keamanan adalah kecepatan respons, terutama untuk menjamin kemudahan penggunaan dan efisiensi proses autentikasi.

Waktu respons dihitung dari saat wajah pengguna berada dalam posisi yang diidentifikasi kamera hingga pintu terbuka, yang dihasilkan oleh aktivasi modul relay ESP32-CAM. Pengujian dilakukan sepuluh kali untuk mendapatkan hasil yang konsisten dan dapat diolah secara statistik.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kecepatan Respons Sistem

No	**Waktu Respons (detik)**
1	2.5
2	1.7
3	0.9
4	1.1
5	0.8
6	1.2
7	2.0
8	1.4
9	2.4
10	1.1
Rata-rata	**1.51**

Rata-rata 1,51 detik adalah waktu respons sistem terhadap input wajah yang dikenali. Ini mencakup proses deteksi wajah oleh kamera, pencocokan wajah, dan pengaktifan modul relay untuk membuka pintu. Proses ini dilakukan secara lokal di dalam modul ESP32-CAM tanpa pemrosesan cloud, sehingga waktu responsnya cepat dan efisien. Hal ini menunjukkan kemampuan sistem untuk memberikan pengalaman pengguna yang nyaman dan *responsif*, yang sangat penting untuk aplikasi keamanan rumah cerdas.



Gambar 4.10 Pengujian Kecepatan Respons

4.1.4 Pengujian Jarak Efektif Deteksi Wajah

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kemampuan kamera ESP32-CAM untuk mendeteksi wajah dengan akurat. Ini penting untuk menentukan batas optimal interaksi pengguna dengan sistem, terutama jika kamera ditempatkan di depan pintu masuk. Jika jarak terlalu jauh, sistem sulit mengidentifikasi resolusi wajah yang tertangkap oleh kamera.

Pengujian dilakukan dengan menempatkan wajah pengguna pada jarak yang berbeda dari kamera, mulai dari 25 cm hingga 200 *cm*, secara bertahap meningkatkan jarak tersebut.

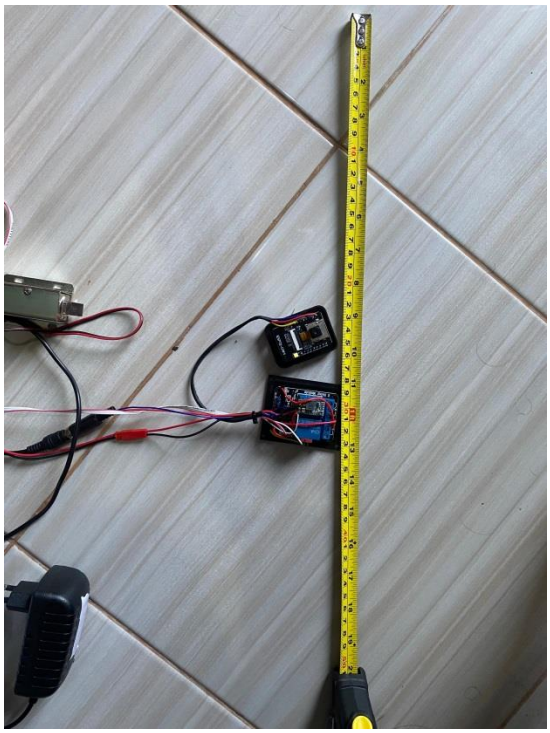
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Jarak Efektif Pendeteksian Wajah

Jarak (cm)	**Status Deteksi**	**Status Akses**
25	Berhasil	Terbuka
50	Berhasil	Terbuka

100	Gagal	Tertutup
150	Gagal	Tertutup
200	Gagal	Tertutup

Menurut hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.4, jarak terbaik untuk sistem mendeteksi wajah adalah antara 25 cm dan 50 cm, di mana sistem dapat mendeteksi wajah dengan sangat akurat. Namun, jika jarak lebih dari 50 cm, terutama jarak 150 cm sampai 200 cm, sistem tidak dapat mendeteksi wajah dengan akurat. Faktor-faktor seperti ukuran wajah dalam *frame* dan pencahayaan memengaruhi resolusi kamera ESP32-CAM.

Oleh karena itu, untuk memaksimalkan proses pengenalan wajah, sistem disarankan untuk digunakan dalam jarak paling sedikit satu meter. Hal ini penting untuk dipertimbangkan saat mengatur perangkat di pintu rumah cerdas agar pengguna tidak perlu terlalu dekat atau terlalu jauh untuk mengakses sistem.



Gambar 4.11 Pengujian Jarak Efektif Deteksi Wajah

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Kode Program ESP32-CAM

Program ini dibuat menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan bantuan IDE Arduino dan memanfaatkan kamera bawaan ESP32-CAM untuk mendeteksi dan mengenali wajah secara *real-time*. Selain itu, sistem dapat terintegrasi dengan aplikasi Blynk untuk memantau dan mengontrol akses pintu secara jarak jauh.

a. Library dan Konstanta

```
#include <ArduinoWebSockets.h>
#include "esp_http_server.h"
#include "esp_timer.h"
#include "esp_camera.h"
#include "camera_index.h"
#include "Arduino.h"
#include "fd_forward.h"
#include "fr_forward.h"
#include "fr_flash.h"
```

Gambar 4.12 Kode Program Library dan Konstanta.

Baris kode ini berisi berbagai pustaka yang diperlukan untuk berbagai tugas, termasuk pengolahan gambar wajah, komunikasi WebSocket, pengoperasian kamera, dan jaringan. Konfigurasi kamera ESP32-CAM dilakukan dengan *library esp_camera.h*, sementara *library fd_forward.h, fr_forward.h*, dan *fr_flash.h* digunakan untuk deteksi dan pengenalan wajah.

b. *Wi-Fi* dan Blynk

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6s8XNXsPG"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "IJeY5cNsQ9INIM4QEXQGqvUZ6xwUZmB0"
#include <Wi-Fi.h>
#include <Wi-FiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
char ssid[] = "Wz";
char pass[] = "apaajadeh";
```

Gambar 4.13 Kode Program *Wi-Fi* dan Blynk.

Kode *BLYNK_TEMPLATE_ID* dan *BLYNK_AUTH_TOKEN* digunakan untuk menghubungkan perangkat ke jaringan *Wi-Fi* dan platform Blynk. Keduanya berfungsi untuk menghubungkan perangkat ke *dashboard* Blynk.

c. Pin dan Kamera

```
#define relay_pin 2
#define PIN_LED_RED 14
#define PIN_LED_GREEN 13
```

```
#define PIN_LED_BLUE 12
#define PIN_BUTTON 15
```

Gambar 4.14 Kode Program Pin dan Kamera.

Dalam bagian ini, pin *GPIO* didefinisikan, yang digunakan untuk mengontrol relay (pengunci pintu), indikator *LED*, dan tombol input.

d. Konfigurasi Kamera

```
camera_config_t config;
config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
// konfigurasi pin kamera lainnya
config.xclk_freq_hz = 20000000;
config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;
```

Gambar 4.15 Kode Program Konfigurasi Kamera.

Blok ini mengontrol konfigurasi pin dan parameter kamera seperti format piksel dan ukuran *frame*. Jika memori *PSRAM* tersedia, sistem menggunakan resolusi lebih tinggi untuk kualitas gambar yang lebih baik.

e. Server *HTTP* dan *Face Recognition*

```
app_httpserver_init();
app_facenet_main();
socket_server.listen(82);
```

Gambar 4.16 Kode Program Server dan *Recognition*

Fungsi ini mengaktifkan server *HTTP* untuk memungkinkan *video streaming* dan memulai sistem pengenalan wajah *FaceNet*. Selain itu, WebSocket digunakan untuk komunikasi data dua arah.

f. Deteksi Pengenalan Wajah

```
while (client.available()) {
    fb = esp_camera_fb_get();
    out_res.net_boxes = face_detect(image_matrix, &mtmn_config);
    ...
    if (g_state == START_RECOGNITION) {
        face_id_node     *f     =     recognize_face_with_name(&st_face_list,
out_res.face_id);
        if (f) open_door(client);
    }
}
```

Gambar 4.17 Kode Program Deteksi Pengenalan Wajah.

Perangkat akan terus menangkap frame dari kamera, melakukan deteksi wajah, dan membandingkan hasilnya dengan wajah-wajah yang telah terdaftar di bagian utama *loop*. Untuk membuka pintu, fungsi *open_door*() akan dijalankan jika wajah dikenali.

g. Fungsi Pembuka Pintu

```
void open_door(WebSocketsClient &client) {
  digitalWrite(relay_pin, HIGH);
  digitalWrite(PIN_LED_GREEN, HIGH);
  client.send("door_open");
}
```

Gambar 4.18 Kode Program Fungsi Pembuka Pintu.

Fungsi ini memungkinkan relay untuk membuka kunci pintu dan menyalakan LED hijau untuk menunjukkan bahwa akses telah diterima. Selain itu, pesan dikirim ke klien melalui WebSocket.

4.2.2 Kesesuaian Sistem dengan Tujuan Perancangan

Tujuan utama sistem ini adalah untuk membangun sistem keamanan pintu rumah cerdas berbasis pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM yang dapat membuka pintu secara otomatis jika wajah pengguna dikenali. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memenuhi tujuan dengan sukses. Ini ditunjukkan dengan:

a. Kemampuan ESP32-CAM untuk mendeteksi dan mengenali wajah
b. Kontrol modul relay untuk membuka pintu hanya jika identitas pengguna benar.
c. Notifikasi status pengenalan wajah dikirim ke antarmuka web secara *real-time*.

Fitur pemantauan jarak jauh diimplementasikan untuk memberikan kemudahan bagi pemilik rumah dalam memantau kondisi akses pintu secara *real-time* meskipun berada di lokasi yang berbeda. Integrasi dengan platform *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemilik rumah untuk memperoleh informasi status pintu—terbuka atau tertutup—melalui perangkat *mobile*. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan responsivitas terhadap potensi ancaman keamanan dan mempermudah pengawasan tanpa harus berada di lokasi fisik rumah. Dengan demikian, fitur pemantauan jarak jauh berperan sebagai komponen pendukung penting dalam menciptakan sistem keamanan rumah yang adaptif dan efisien.

4.2.3 Keunggulan Sistem

Sistem ini memiliki beberapa keunggulan yang patut diperhatikan:

a. Efisiensi Pemrosesan: ESP32-CAM melakukan semua proses pengenalan wajah secara lokal tanpa memerlukan koneksi ke server eksternal, yang menghasilkan kecepatan respons yang cukup cepat, rata-rata 1,51 detik.
b. Integrasi *Internet of Things*: sistem terhubung ke antarmuka web dan Blynk, yang memungkinkan pengguna melihat status pintu dari jarak jauh.
c. Tingkat Keamanan: meningkatkan aspek keamanan karena sistem hanya akan memberikan akses pada wajah yang telah terdaftar. Wajah asing, buram atau tidak fokus akan ditolak.

4.2.4 Keterbatasan Sistem

Meskipun sistem berfungsi dengan baik, ada beberapa masalah yang perlu diperhatikan:

a. Jarak deteksi terbatas: pengujian menunjukkan bahwa kamera hanya dapat mengenali wajah dari jarak paling jauh 50 cm, dan jarak lebih jauh akan sangat tidak akurat.
b. Sensitivitas terhadap kualitas wajah: jika tampilan buram atau dalam kondisi ekstrem, seperti terlalu terang atau terlalu gelap, sistem kesulitan mendeteksi wajah. Namun, pengenalan pada pencahayaan rendah masih dapat dilakukan.
c. Ketergantungan pada posisi wajah: posisi wajah sejajar dengan kamera sangat penting bagi sistem. Jika perspektif salah, kemungkinan kegagalan pengenalan meningkat.
d. Sistem belum dilengkapi dengan fitur pencatatan riwayat (*history*) aktivitas keluar-masuk rumah. Ketiadaan fitur ini membatasi kemampuan pemilik rumah untuk melakukan penelusuran aktivitas akses pintu pada periode waktu tertentu, sehingga jika terjadi insiden atau aktivitas mencurigakan, informasi yang tersedia hanya bersifat *real-time* tanpa rekaman historis. Penambahan fitur ini pada pengembangan selanjutnya dapat meningkatkan aspek keamanan dan akuntabilitas sistem.
e. Sistem ini memiliki keterbatasan berupa ketergantungan penuh terhadap pasokan listrik untuk dapat beroperasi. Apabila terjadi pemadaman listrik dan tidak tersedia sumber daya cadangan seperti baterai atau *Uninterruptible Power Supply* (UPS), maka seluruh fungsi sistem, termasuk pengenalan wajah, pemantauan jarak jauh, dan mekanisme pengunci pintu, tidak dapat dijalankan. Kondisi ini berpotensi menurunkan tingkat keamanan rumah selama periode pemadaman listrik.

f. Dari perspektif etika dan keamanan, sistem pengenalan wajah memiliki potensi kerentanan terhadap upaya pemalsuan identitas, misalnya melalui penggunaan foto, rekaman video, atau media visual lainnya yang menyerupai wajah pengguna terdaftar. Pemalsuan ini dapat dimanfaatkan oleh pihak yang tidak berwenang untuk memperoleh akses tanpa izin. Selain itu, penggunaan data biometrik seperti wajah juga menimbulkan isu privasi, sehingga diperlukan pengelolaan data yang aman dan sesuai dengan prinsip perlindungan data pribadi. Pada pengembangan selanjutnya, disarankan untuk menambahkan lapisan verifikasi tambahan, seperti *liveness detection* atau autentikasi multi-faktor (*multi-factor authentication*), guna meminimalkan risiko penyalahgunaan.
g. Keterbatasan lain dari sistem adalah tombol yang tersedia pada rangkaian hanya berupa tombol *emergency*. Hal ini menyebabkan akses keluar dari dalam rumah masih harus dilakukan melalui tombol darurat atau kunci manual. Kondisi ini kurang ideal, karena fungsi tombol darurat seharusnya dipisahkan dari tombol keluar normal.

4.2.5 Implikasi dan Potensi Pengembangan

Keberhasilan sistem ini menunjukkan bahwa ESP32-CAM layak digunakan dalam pengembangan sistem keamanan cerdas dengan biaya rendah dan efisiensi tinggi. Namun, untuk penggunaan skala yang lebih besar atau dalam lingkungan yang dinamis, pengembangan lanjutan dapat dilakukan, seperti:

a. Meningkatkan akurasi pengenalan dalam situasi ekstrem dengan menambah modul pengolahan pencahayaan atau *filter* gambar.
b. Menggabungkan sistem dengan penyimpanan cloud yang memungkinkan pencatatan *log* akses.
c. Membuat algoritma pengenalan wajah lebih toleran terhadap ekspresi wajah dan sudut pandang.

Selain itu, implikasi penting juga muncul dari sisi desain fisik pintu yang memiliki dua sisi akses, yaitu dari luar dan dari dalam. Pada sisi luar pintu, akses masuk hanya dapat dilakukan melalui autentikasi berbasis pengenalan wajah untuk menjaga keamanan. Sementara itu, pada sisi dalam pintu, mekanisme dibuat lebih sederhana dengan tombol manual atau Emergency switch, agar penghuni dapat keluar dengan cepat sekaligus tetap

aman saat kondisi darurat. Desain ini memberikan keseimbangan antara keamanan dari luar dan kenyamanan dari dalam.

Lebih lanjut, tombol akses dari dalam dapat diintegrasikan dengan sistem alarm. Dengan demikian, apabila pintu dibuka secara paksa atau terdeteksi anomali, alarm dapat aktif untuk memberikan peringatan dini kepada penghuni. Sistem juga dapat diperkuat melalui penambahan kamera, baik dengan menggunakan kamera putar *360°* yang mampu menjangkau area depan dan belakang sekaligus, maupun dengan memasang dua kamera statis di kedua sisi pintu. Fitur ini akan meningkatkan aspek *monitoring* serta memberikan rekaman visual tambahan sebagai bukti saat terjadi pelanggaran keamanan..

4.2.6 Kendala Selama Pengembangan Sistem

Berikut ini adalah beberapa kendala teknis dan non-teknis yang dihadapi selama proses pengembangan sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah dengan ESP32-CAM, yang mengganggu implementasi dan pengujian sistem.

a. Keterbatasan Performa ESP32-CAM

   Modul ESP32-CAM memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas memori dan kemampuan pemrosesan data gambar, sehingga proses pengenalan wajah menjadi lebih lambat, terutama dalam kondisi pencahayaan rendah atau ketika ada lebih dari satu wajah di *frame* kamera.

b. Kesulitan Kalibrasi Kamera

   Untuk mendapatkan hasil pengenalan wajah yang akurat, posisi dan sudut kamera harus disesuaikan dengan cermat. Jika kamera ditempatkan terlalu tinggi atau miring, sistem tidak dapat mendeteksi wajah pengguna dengan baik.

c. Keterbatasan Jarak Deteksi

   Hasil pengujian menunjukkan bahwa wajah hanya dapat dideteksi dengan akurat oleh sistem pada jarak 25 cm hingga 50 cm dari kamera; di luar jarak ini, sistem gagal mendeteksi wajah dengan akurat. Hal ini menjadi masalah khusus saat menentukan posisi kamera di tempat yang sebenarnya.

d. Masalah Stabilitas Koneksi *Wi-Fi*

   Pada beberapa kali pengujian awal, koneksi antara ESP32-CAM dan jaringan *Wi-Fi* tidak stabil, terutama jika jarak antara perangkat dengan router cukup jauh. Hal ini menyebabkan proses pengiriman data ke Blynk menjadi terputus dan memengaruhi pengawasan *real-time* melalui antarmuka *web*.

e. *Debugging* Program yang Kompleks

Karena sistem ini melibatkan berbagai fungsi seperti pengambilan gambar, deteksi wajah, pengenalan identitas, kontrol relay, dan komunikasi internet, proses *debugging* menjadi cukup kompleks. Kesalahan pada satu fungsi dapat menyebabkan seluruh sistem tidak bekerja sebagaimana mestinya, sehingga membutuhkan waktu cukup lama untuk menyelesaikan *error* yang muncul.

f. Keterbatasan Dukungan *Library*

Versi library ESP32 terbaru 3.2.0 tidak lagi mendukung fungsi pengenalan wajah secara optimal, sehingga proyek ini harus menggunakan versi 1.0.5. Hal ini menyulitkan proses integrasi dengan library atau fitur lain yang membutuhkan versi terbaru.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sistem keamanan pintu rumah cerdas berbasis *Internet of Things* dengan penerapan pola pengenalan wajah berhasil dirancang menggunakan modul ESP32-CAM sebagai perangkat utama untuk akuisisi dan pemrosesan citra wajah. Proses perancangan meliputi konfigurasi parameter pengenalan wajah, integrasi dengan modul relay untuk pengendalian kunci pintu solenoid, serta konektivitas dengan aplikasi Blynk guna pemantauan jarak jauh. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan identifikasi wajah yang telah terdaftar dan mengendalikan mekanisme penguncian pintu secara otomatis sesuai parameter yang telah ditentukan. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk merancang sistem keamanan pintu rumah cerdas yang memanfaatkan teknologi *Internet of Things* dengan pola pengenalan wajah telah tercapai.

5.2 Saran

Meskipun sistem telah dibangun dan diuji dengan baik, berikut adalah beberapa saran untuk langkah-langkah tambahan yang dapat diambil untuk membuatnya lebih efisien dan sesuai dengan lingkungan dunia nyata:

a. Peningkatan perangkat keras kamera

   Disarankan untuk menggunakan kamera dengan resolusi dan kemampuan pencitraan lebih tinggi agar sistem dapat mengenali wajah pengguna dengan lebih akurat dalam berbagai kondisi pencahayaan dan posisi.

b. Penguatan jaringan *Wi-Fi*

   Meningkatkan stabilitas koneksi dengan menggunakan extender *Wi-Fi* atau modul komunikasi yang lebih andal, terutama di lokasi dengan sinyal yang lemah atau interferensi tinggi.

c. Peningkatan algoritma deteksi wajah

   Algoritma pengenalan wajah dapat ditingkatkan atau diganti dengan model yang lebih efisien untuk dapat mendeteksi wajah dengan lebih akurat, lebih cepat, dan pada jarak yang lebih jauh.

d. Penyesuaian otomatis

Agar sistem lebih sesuai dengan lingkungan pengguna, disarankan untuk menambahkan fitur kalibrasi otomatis atau pengaturan manual untuk sudut kamera dan pencahayaan.

e. Implementasi keamanan tambahan

Sistem dapat menambahkan fitur autentikasi ganda, seperti autentikasi dua faktor melalui aplikasi seluler, untuk meningkatkan keamanan.

f. Pemilihan versi library yang stabil

Library ESP32-CAM versi 1.0.5 ditunjukkan untuk melakukan pemrosesan lokal pengenalan wajah lebih baik daripada versi 3.2.0, jadi penting untuk memastikan bahwa versi library yang digunakan kompatibel dengan kebutuhan sistem.

g. Penambahan fitur

Perlu dikembangkan fitur *liveness detection* dan sistem backup daya agar tetap berfungsi saat listrik padam. Riwayat akses pengguna dan log aktivitas juga disarankan untuk ditambahkan.

h. Pengembangan akses dua sisi

Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan integrasi alarm pada akses dari dalam. Hal ini memungkinkan sistem mendeteksi kondisi abnormal, misalnya ketika pintu dibuka secara paksa, sehingga alarm akan menyala dan memberikan notifikasi kepada pemilik rumah.

i. Integrasi sistem pemantauan visual

Untuk meningkatkan aspek pengawasan, disarankan penggunaan kamera dengan rotasi 360° yang dapat mencakup area depan dan belakang pintu secara menyeluruh. Alternatif lain adalah memasang dua kamera statis di sisi luar dan sisi dalam pintu. Dengan cara ini, aktivitas keluar masuk rumah dapat terekam secara *real-time*, dan data visual dapat dimanfaatkan sebagai bukti ketika terjadi gangguan keamanan.

j. Integrasi dengan sistem IoT yang lebih luas

Sistem keamanan pintu dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menghubungkannya ke platform IoT terintegrasi yang mengatur sensor gerak, sensor getar, maupun notifikasi darurat melalui aplikasi. Integrasi ini akan membuat sistem keamanan rumah lebih komprehensif, tidak hanya berfokus pada autentikasi wajah, tetapi juga melibatkan berbagai sensor pendukung.

k. Pertimbangan efisiensi dan biaya

Dalam implementasi di lingkungan rumah tangga, diperlukan pertimbangan antara biaya dan manfaat. Oleh karena itu, pemilihan antara kamera 360° atau dua kamera statis dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan pengguna, tanpa mengurangi efektivitas sistem keamanan.

Diharapkan sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah ini dapat digunakan secara lebih luas dan membantu meningkatkan keamanan dan kenyamanan hunian masyarakat dengan adanya pengembangan dan penyempurnaan sesuai dengan saran di atas.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad Casdik, & Ahmad Fauzi. (2023). Implementasi sistem penguncian pintu rumah berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan *fingerprint* dengan model NodeMCU ESP8266. *Jurnal Ilmu Komputer dan Pendidikan, 1*(3).

Ariandi, A., Yesputra, R., & Risnawati. (2018). Perancangan *smart home* dengan sistem kendali dari Android di CV Rifanta Tanjung Balai. *UTSI: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi, 1*(1).

Ardiansyah, M., Febryan, A., Andriani, & Rahmania. (2023). Rancangan bangun sistem keamanan rumah berbasis Telegram menggunakan ESP32-CAM. *Vertex Elektro: Jurnal Teknik Elektro UNISMUH, 15*(1).

Barri, M. H., & Pramudita, B. A. (2023). Prototipe sistem kendali dan pemantauan alat listrik rumah berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan aplikasi Blynk. *ELECTROPS: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 1*(1), 23. https://doi.org/10.30872/electrops.v1i1.9374 .

Casdik, A. A., & Fauzi, A. (2023). Implementasi sistem penguncian pintu rumah berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan *fingerprint* dengan model NodeMCU ESP8266. *Jurnal Ilmu Komputer dan Pendidikan, 1*(3).

Desrul, D. R. H., Priramadhi, R. A., & Darlis, D. (2024). Sistem keamanan pada alat penyalur daya listrik portable. *E-Proceeding of Engineering, 11*(1), 39.

Difa, M. K., Suroso, & Endri, J. (2021). Implementasi sistem pengenalan wajah sebagai *automatic door lock* menggunakan modul ESP32-CAM. *Dept. of Electrical, Faculty of Engineering and Informatics, Patria Artha University, 5*(2).

Dunko, G., Misra, J., Robertson, J., & Snyder, T. (2017). *A reference guide to the Internet of Things*. Bridgera LLC, 500 West Peace Street, Raleigh, NC 27603.

Endra, R. Y., Cucus, A., Affandi, F. N., & Syahputra, M. B. (2019). Model *smart room* dengan menggunakan mikrokontroler Arduino untuk efisiensi sumber daya. *Jurnal Sistem Informasi Dan Telematika, 10*(1), 1–9.

Helmy Yudhistira Putra, & Utomo Budiyanto. (2021). Rancang bangun pengukur suhu tubuh dengan multisensor untuk mencegah penyebaran Covid-19. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi), 5*(3), 543–549. https://doi.org/10.29207/resti.v5i3.2931

Isfarizky, Z., Fardian, & Mufti, A. (2017). Rancang bangun sistem kontrol pemakaian listrik secara multikanal berbasis Arduino (studi kasus kantor LBH Banda Aceh). *Jurnal Online Teknik Elektro, 2*(2).

Iswahyudhi Utari Turyadi, Firman Johan, & Dadang Widyanto. (2021). Analisa dukungan *Internet of Things* (IoT) terhadap peran intelejen dalam pengamanan daerah maritim Indonesia wilayah timur. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Informatika, 7*(1)

Kharisma, O. B., & Putra Utama, H. B. (2018). Pengembangan sistem pengaman pintu laboratorium robotika UIN Sultan Syarif Kasim berdasarkan siulan berbasis sensor FC-04 dan mikrokontroler Atmega 328. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi), 7*(1), 114–125. https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v7i1.12930.

Laili, A. M., Sumiati, & Triayudi, A. (2022). Pendekatan NodeMCU dan aplikasi Blynk berbasis Android untuk sistem monitoring keamanan kendaraan motor. *JSiI: Jurnal Sistem Informasi, 9*(2), 119–125. https://doi.org/10.30656/jsii.v9i2.5161.

Muwardi, R., & Adisaputro, R. R. (2021). Design sistem keamanan pintu menggunakan *face detection*. *Jurnal Teknologi Elektro, 12*(3).

Mulyani, & Frick. (2006). *Arsitektur ekologis*. Yogyakarta: Andi.

Nadzif, A. Y. (2024). Pengenalan pola wajah gender *face recognition* menggunakan metode *cosine similarity*.

Nuraeni, Indah Anggraini, Nurul Isra Humairah, Indri Pratiwi Ramadhani, Muhammad Sabirin Hadis, Muliadi, & Nurzaenab. (2021). Sistem akses pintu berbasis *face recognition* menggunakan ESP32 module dan aplikasi Telegram. *Jurnal MediaTIK: Jurnal Media Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer, 4*(3).

Prasetyo, J. (2020). TA: Pengembangan multikomunikasi perangkat *M2M (machine to machine)* berbasis LoRa pada sistem IoT *(Internet of Things)*. Universitas Dinamika. Retrieved from https://repository.dinamika.ac.id/id/eprint/5197/.

Pratista, A. A. (2024). Perancangan sistem penghitung jamaah masjid berbasis IoT. Unpublished undergraduate thesis, Universitas Islam Indonesia.

Rane, S. B., & Narvel, Y. A. M. (2016). Reliability assessment and improvement of air circuit breaker (ACB) mechanism by identifying and eliminating the root causes. *International Journal of System Assurance Engineering and Management, 7*, 305–321.

Selay, A., Andgha, G. D., Alfarizi, M. A., Bintang, M. I., Falah, M. N., Khaira, M., & Encep, M. (2022). *Internet of Things*. *Karimah Tauhid, 1*(6).

Sujono, S., & Herlambang, W. A. (2021). Rancang bangun pendeteksi pengaman pintu dan jendela berbasis *Internet of Things (*IoT*). Exact Papers in Compilation (EPiC), 3*(2), 307–314. https://doi.org/10.32764/epic.v3i2.457.

Tri Fajar Yurmama S, & Novi Azman. (2009). Perancangan *software aplikasi pervasive smart home*. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*.

Handayani, T., Basuki, A., Sudiana, & Dirgantara, I. (2023). Rancang bangun sistem keamanan pintu menggunakan metode pengenalan wajah berbasis *Internet of Things*. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, Controls (AVITEC)*, 5(1).