

### Implementasi Logika Sistem Smart Door Lock Berbasis ESP32 dengan Kontrol Aplikasi Mobile untuk Peningkatan Keamanan menggunakan metode Fuzzy Sugeno

Zahidah Hanum Al-Zahra<sup>#</sup>, Fauzia Eka Mardiana<sup>#</sup>, Moch. Yasin<sup>#</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel Surabaya, Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No.682, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia  
E-mail: 09020623050[at]juinsa.ac.id, 09040623058[at]juinsa.ac.id, moch.yasin[at]juinsa.ac.id

#### ABSTRACTS

The development of technology in Internet of Things (IoT) devices has driven global innovation in home security systems, particularly in door lock mechanisms, as conventional locks are prone to being lost or duplicated. Most previous studies we reviewed designed home security lock systems using Raspberry Pi, ESP32, fingerprint sensors, RFID, and third-party platforms. Existing smart locks often fall short when it comes to affordability, user interface flexibility, and the quality of their mobile apps. Our project addresses these shortcomings by developing a new smart door lock prototype. The system consists of an ESP32-based unit controlled via a purpose-built mobile application. The real brains of the operation is the Fuzzy Sugeno method, which handles all the decision-making. The ESP32 is at the core of our system, responsible for interpreting instructions from the mobile application. We evaluated its effectiveness by testing several critical parameters, including access time, the system's response to failed attempts, and the validity of user credentials. The test results were a success: the system consistently and correctly identified the lock's status. Overall, this project delivered an efficient and low-cost security system that is easy to control, offering a practical new option for today's IoT-based smart homes.

Manuscript received Oct 13, 2024;  
revised Nov 30, 2025. accepted Dec  
1, 2025 Date of publication Dec  
31, 2025. International Journal,  
JITSI : Jurnal Ilmiah Teknologi  
Sistem Informasi licensed under a  
Creative Commons Attribution-  
Share Alike 4.0 International  
License



#### ABSTRAK

Perkembangan teknologi pada perangkat Internet of Things (IoT) mendorong inovasi yang mendunia dalam sistem keamanan rumah, khususnya pada sistem kunci pintu, karena kunci konvensional rentan hilang atau diduplikasi. Sebagian besar penelitian terdahulu yang telah kami telaah membuat rancang bangun sistem keamanan kunci rumah menggunakan Raspberry Pi, ESP32, sensor sidik jari, RFID, dan platform pihak ketiga, namun masih terbatas dari segi biaya, kustomisasi antarmuka, kontrol dan pemantauan melalui aplikasi mobile. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan prototipe smart door lock berbasis ESP32 dengan kontrol melalui aplikasi mobile khusus, serta menerapkan metode Fuzzy Sugeno sebagai mekanisme utama dalam pengambilan keputusan sistem. ESP32 digunakan untuk menerima dan memproses perintah dari aplikasi mobile dalam penelitian ini. Selain itu, penelitian ini juga menguji beberapa parameter yakni waktu akses, jumlah percobaan gagal, serta validitas autentifikasi pengguna. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa sistem berhasil menentukan status kunci terbuka maupun tertutup. Secara keseluruhan, sistem yang dirancang menunjukkan kinerja yang efisien, responsif, dan ramah biaya, serta dapat menjadi solusi alternatif untuk meningkatkan keamanan rumah berbasis IoT dengan kontrol yang mudah dan fleksibel.

**Keywords / Kata Kunci — Aplikasi Mobile, ESP32, Fuzzy Sugeno, Internet of Things (IoT), Smart Door Lock**

## **CORRESPONDING AUTHOR**

Moch. Yasin  
Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel Surabaya, Jawa Timur, Indonesia  
Email: moch.yasin[at]uinsa.ac.id

### **1. PENDAHULUAN**

Aspek keamanan rumah menjadi hal yang semakin penting di tengah perkembangan era digital saat ini. Penggunaan kunci tradisional yang masih banyak dipakai saat ini memiliki sejumlah kelemahan, seperti mudah hilang, rentan rusak, serta rawan diduplikasi. Hal ini dapat mengundang kejahatan, seperti perampok maupun pencurian rumah. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan yang lebih efisien, modern serta dapat beradaptasi dengan kemajuan teknologi. Teknologi yang saat ini mengalami kemajuan secara signifikan adalah Internet of Things (IoT) dimana perangkat dapat saling terhubung menggunakan jaringan internet. Sehingga, rumah dapat dipantau dan dikendalikan secara langsung (real-time). Pemanfaatan IoT pada sistem keamanan rumah berhasil melahirkan berbagai inovasi, salah satunya adalah smart door lock atau kunci pintar. Inovasi ini menawarkan fleksibilitas sekaligus keamanan yang lebih baik jika dibandingkan dengan kunci konvensional.

Perkembangan perangkat smart door lock memiliki banyak sekali inovasi dalam pengembangannya, salah satunya pada penelitian [1] yang mengusulkan sistem keamanan pintu otomatis berbasis IoT yang perangkatnya menggabungkan RFID dengan aplikasi mobile. Pada penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Mamdani yang berfungsi untuk pengambilan keputusan secara fleksibel yang didasarkan dengan beberapa parameter, seperti kondisi baterai, jarak pengguna dengan pintu, hingga tingkat keamanan lingkungan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem berhasil meningkatkan keamanan rumah serta kemudahan dalam mengelola akses pintu secara cerdas dan efisien.

Namun demikian, penelitian pada [1] masih berfokus pada penggunaan ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang terintegrasi dengan RFID untuk proses autentikasi. Pendekatan tersebut menawarkan kecepatan dan koneksi tinggi, namun begitu biaya implementasinya relatif lebih mahal. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan terhadap alternatif sistem yang lebih sederhana, efisien, dan terjangkau, terutama bagi masyarakat dengan keterbatasan sumber daya. Sebagai solusi, penggunaan logika Fuzzy Sugeno pada sistem berbasis ESP32 dapat menjadi pendekatan yang optimal, karena mampu meningkatkan keputusan otomatis dan tingkat akurasi dalam pengendalian kunci pintu cerdas tanpa menambah biaya perangkat keras secara signifikan. Dengan kombinasi tersebut, sistem dapat memberikan kinerja yang adaptif, cerdas, serta tetap ekonomis bagi penerapan keamanan rumah berbasis IoT.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini fokus pada Implementasi Logika Sistem Smart Door Lock Berbasis ESP32 yang dapat diakses melalui aplikasi mobile. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada penggunaan ESP32 dan RFID sebagai autentikasi dasar, penelitian ini mengembangkan sistem berbasis IoT yang lebih pintar dengan menggunakan metode Fuzzy Sugeno sebagai mekanisme utama dalam mengambil keputusan terhadap status pintu. Dengan menggunakan metode ini, sistem mampu menentukan kondisi pintu seperti terbuka maupun tertutup berdasarkan parameter yang telah ditetapkan. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan sistem keamanan rumah yang dapat dijadikan pengembangan lanjutan dari penelitian [1] dengan kebaruan yang terletak pada penerapan kontrol cerdas berbasis mobile menggunakan ESP32 sebagai pusat pengendali utama dan metode Fuzzy Sugeno sebagai metode pengambilan keputusan.

Pengembangan sistem kunci pintu pintar (smart door lock) berbasis Internet of Things (IoT) telah menjadi fokus utama dalam banyak penelitian untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan. Dari berbagai literatur yang ada, dapat diidentifikasi beberapa tren, teknologi, dan metode yang umum digunakan. Salah satunya penelitian [8] berfokus pada kontrol dan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi Android, sementara pada penelitian [12] dan [13] lebih menekankan pada autentikasi biometrik menggunakan sidik jari dan pengenalan wajah. Berbeda dengan pendekatan tersebut, penelitian [1] mengintegrasikan RFID dengan logika Fuzzy Mamdani pada platform ESP32 untuk pengambilan keputusan cerdas. Penelitian ini mengambil jalur yang berbeda dengan mengimplementasikan metode Fuzzy Sugeno pada platform ESP32 yang lebih terjangkau, dengan tujuan menciptakan sistem kontrol berbasis aplikasi mobile yang tidak hanya aman tetapi juga efisien dalam pengambilan keputusan secara otomatis.

#### **3.1. Platform dan Mikrokontroler ESP32**

Dasar dari sistem smart door lock adalah penggunaan mikrokontroler yang mampu terhubung ke internet. Berbagai penelitian memanfaatkan platform yang berbeda sesuai dengan kebutuhan komputasi dan fitur. Penelitian pada [10] memilih ESP32 karena kemampuannya yang sudah terintegrasi dengan Wifi dan Bluetooth, menjadikannya pilihan populer untuk proyek IoT [9]. Di sisi lain, penelitian [11] menggunakan Raspberry Pi

untuk tugas yang lebih kompleks seperti pengenalan wajah (facial recognition), yang membutuhkan daya pemrosesan lebih tinggi. Penelitian lain oleh [8] dan [9] menunjukkan penggunaan modul IoT yang dikombinasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32 untuk mencapai konektivitas. Selain itu, penelitian pada [6] mengembangkan sistem smart door lock berbasis IoT yang menekankan aspek desain dan pengembangan perangkat, menunjukkan bahwa integrasi mikrokontroler dengan konektivitas internet mampu meningkatkan fleksibilitas dan keamanan sistem. Penggunaan ESP32 sebagai basis utama, seperti yang diusulkan dalam penelitian ini, menawarkan keuntungan dari segi biaya yang lebih rendah dan dukungan komunitas yang sangat luas, sehingga cocok untuk pengembangan prototipe yang efisien.

### 3.2. Metode Autentikasi dan Keamanan

Metode untuk verifikasi pengguna adalah aspek krusial dalam sistem kunci pintar. Teknologi biometrik menjadi salah satu yang paling sering diimplementasikan. Penelitian [7] dan [10] mengintegrasikan sensor sidik jari yang menawarkan keamanan tinggi karena sifatnya yang unik. Level keamanan yang lebih canggih dieksplorasi pada penelitian [4] dan [11] yang menerapkan pengenalan wajah, meskipun memerlukan perangkat keras yang lebih mumpuni.

Selain biometrik, metode lain juga digunakan, baik sebagai alternatif maupun pelengkap. Pada penelitian [9] merancang sistem berbasis PIN (Personal Identification Number) yang dikontrol melalui Telegram, sementara penelitian [7] menghubungkan keypad dengan sidik jari. Beberapa penelitian juga masih mempertahankan penggunaan RFID sebagai metode akses yang cepat dan mudah [9]. Untuk meningkatkan lapisan keamanan, [2] mengusulkan sistem otentikasi multi-faktor, yang menggabungkan beberapa metode verifikasi untuk memastikan hanya pengguna yang sah yang dapat memberikan akses.

### 3.3. Kontrol dan Pemantauan Jarak Jauh

Ciri khas utama dari smart door lock berbasis IoT adalah kemampuannya untuk dikontrol dan dipantau dari jarak jauh. Berbagai platform digunakan untuk menjembatani komunikasi antara pengguna dan perangkat. Aplikasi Android kustom menjadi pilihan populer, seperti yang ditunjukkan oleh penelitian [8], karena memberikan fleksibilitas penuh dalam desain antarmuka dan fitur. Platform pihak ketiga seperti Blynk juga sering digunakan karena kemudahan konfigurasinya tanpa perlu melakukan coding aplikasi dari awal [9]. Selain itu, pemanfaatan aplikasi pesan instan menjadi tren yang menarik. Sebagai contoh penelitian [5] berhasil mengintegrasikan sistem kunci pintu dengan WhatsApp, sementara [9] menggunakan Telegram. Pendekatan ini memanfaatkan platform yang sudah familiar bagi pengguna, meskipun mungkin memiliki keterbatasan dalam hal fitur kontrol yang kompleks dibandingkan dengan aplikasi dedikatif. Secara keseluruhan, pengembangan aplikasi mobile yang dirancang khusus tetap menjadi solusi paling komprehensif untuk memberikan kontrol penuh kepada pengguna.

### 3.4. Fitur Tambahan dan Integrasi Sistem Keamanan

Selain fungsionalitas utama untuk membuka dan mengunci pintu, beberapa penelitian mulai mengintegrasikan fitur keamanan tambahan untuk menciptakan sistem yang lebih komprehensif. Inovasi yang signifikan ditunjukkan pada penelitian [11] yang tidak hanya mengimplementasikan kunci pintu berbasis pengenalan wajah, tetapi juga menambahkan sistem peringatan kebakaran (fire alert system). Dalam sistem mereka, sensor api yang mendeteksi adanya bahaya akan secara otomatis memicu alarm dan membuka kunci pintu untuk memfasilitasi evakuasi darurat. Hal ini menunjukkan potensi smart door lock untuk menjadi bagian dari ekosistem keamanan rumah yang lebih besar, tidak hanya berfungsi sebagai pengontrol akses. Selain itu, penelitian [10] menyertakan sensor getar dan buzzer sebagai mekanisme alarm tambahan untuk mendeteksi upaya pembobolan secara paksa. Integrasi semacam ini menambah lapisan keamanan fisik pada sistem yang sudah cerdas secara digital.

### 3.5. Arsitektur Sistem dan Metodologi Pengembangan

Secara umum, arsitektur sistem yang dibangun dalam berbagai penelitian ini memiliki pola yang serupa, terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan perangkat keras (sensor, aktuator, mikrokontroler), lapisan jaringan (konektivitas Wi-Fi), dan lapisan aplikasi (antarmuka pengguna). Komponen perangkat keras yang paling umum digunakan adalah kunci solenoid (solenoid lock) sebagai aktuator pengunci pintu.

Dalam proses pengembangannya, para peneliti menerapkan metodologi yang terstruktur untuk memastikan sistem berjalan sesuai harapan. Pada penelitian [7], misalnya, menggunakan model Waterfall dalam siklus pengembangan perangkat lunaknya (Software Development Life Cycle - SDLC), yang merupakan pendekatan sekuensial mulai dari analisis kebutuhan, desain, implementasi, hingga pengujian. Sementara itu, penelitian yang lain menerapkan metode Design Science Research Process (DSRP), sebuah paradigma penelitian yang berfokus pada perancangan solusi inovatif untuk menjawab permasalahan nyata [9]. Penggunaan metodologi ini menunjukkan bahwa pengembangan prototipe smart door lock tidak hanya sekedar perakitan komponen, tetapi juga melalui proses rekayasa yang sistematis dan teruji.

Berdasarkan tinjauan dari berbagai literatur tersebut, terlihat jelas bahwa pengembangan smart door lock berbasis IoT merupakan bidang penelitian yang sangat aktif dan terus berkembang. Namun, sebagian besar studi masih menitikberatkan pada implementasi sistem yang hanya mengandalkan autentikasi dasar dan kontrol sederhana, tanpa mempertimbangkan aspek kecerdasan adaptif dalam pengambilan keputusan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem smart door lock berbasis ESP32 yang dapat dikendalikan melalui aplikasi mobile, serta menerapkan metode Fuzzy Sugeno sebagai mekanisme logika utama untuk meningkatkan fleksibilitas dan kecerdasan sistem dalam menentukan status pintu. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu menghadirkan solusi keamanan rumah yang cerdas, efisien, dan adaptif terhadap kondisi lingkungan serta kebutuhan pengguna, tanpa harus membangun prototipe fisik secara langsung

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yakni Research and Development (R&D). Metode ini memungkinkan peneliti untuk merancang, mengembangkan serta mengevaluasi prototipe. Selain itu, pendekatan R&D dipilih karena memungkinkan peneliti untuk tidak hanya menghasilkan inovasi perangkat, tetapi juga melakukan iterasi perancangan hingga prototipe memenuhi kriteria keamanan, fleksibilitas, dan kemudahan penggunaan. Metode ini juga mendukung integrasi Fuzzy Sugeno sebagai mekanisme pengambilan keputusan pada sistem, sehingga status pintu dapat ditentukan secara adaptif sesuai kondisi yang dapat diukur.

Penelitian ini diawali dengan menganalisis kebutuhan yang dapat dilakukan melalui studi literatur, observasi serta mengidentifikasi masalah pada sistem keamanan rumah konvensional. Pada penelitian ini ditinjau beberapa platform mikrokontroler, metode autentikasi serta aplikasi mobile yang digunakan untuk menentukan spesifikasi teknis dan fungsional prototipe. Analisis ini menjadi dasar bagi perancangan sistem yang sesuai dengan kebutuhan pengguna dan keterbatasan biaya, sekaligus mendukung integrasi kontrol jarak jauh serta pemantauan real-time.

Tahap selanjutnya yakni merancang sistem yang mencakup desain perangkat keras dan perangkat lunak. Mikrokontroler ESP32 dipilih sebagai inti prototipe karena biaya yang terjangkau. Sistem perangkat keras dirancang untuk mengontrol solenoid lock, sensor autentikasi, serta modul komunikasi Wifi atau Bluetooth, sementara aplikasi mobile dikembangkan secara khusus untuk memberikan kontrol penuh, notifikasi real-time, dan manajemen pengguna. Parameter Fuzzy Sugeno ditetapkan pada tahap ini untuk menentukan keputusan sistem secara adaptif berdasarkan status pintu, jarak pengguna, dan tingkat keamanan lingkungan.

Tahap berikutnya yakni pengembangan dan pengujian. Pada tahapan ini pengembangan dilakukan dengan merakit prototipe perangkat keras serta menerapkan aplikasi mobile sesuai dengan desain. Pada tahap ini, sistem diuji dalam berbagai kondisi dengan tujuan untuk mengevaluasi performa respon sistem terhadap perintah aplikasi serta efektivitas pengambilan keputusan berbasis Fuzzy Sugeno. Hasil pengujian digunakan untuk mengukur kemudahan, keandalan serta keamanan penggunaan prototipe. Selain itu, pengujian juga berguna untuk mengidentifikasi perbaikan perangkat maupun aplikasi di masa yang akan datang.

Terakhir, dilakukan revisi dan penyempurnaan prototipe berdasarkan hasil pengujian. Proses iteratif ini memastikan prototipe dapat bekerja secara optimal, aman, dan fleksibel sesuai kebutuhan pengguna. Dengan menerapkan R&D, penelitian ini tidak hanya menghasilkan inovasi teknis berupa smart door lock berbasis mikrokontroler ESP32, tetapi juga memberikan kontribusi praktis berupa panduan pengembangan sistem keamanan rumah yang terjangkau, adaptif, dan mudah dikendalikan melalui aplikasi mobile khusus.

### 3.1. Perancangan Sistem

#### A. Desain Sistem

Gambar 1 merupakan Desain Sistem Smart Door Lock. Dimana Sistem keamanan otomatis ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendalian utama yang terhubung dengan beberapa komponen pendukung. Pada bagian input, terdapat sensor tegangan yang berfungsi untuk membaca nilai tegangan dari baterai sebagai sumber daya sistem. Informasi tegangan ini akan dikirimkan ke ESP32 untuk dianalisis. Selain itu, aplikasi mobile juga digunakan untuk memberikan perintah dan memantau kondisi sistem secara jarak jauh melalui koneksi nirkabel. Perlu diperhatikan bahwa Gambar 1 menampilkan keseluruhan rancangan hardware, sehingga komponen fisik seperti baterai, sensor tegangan, ESP32, dan aplikasi mobile ditampilkan seluruhnya karena diagram ini fokus pada struktur perangkat keras.

Pada bagian proses, ESP32 diintegrasikan dengan logika fuzzy yang berfungsi untuk mengolah data masukan dan menentukan tindakan yang tepat berdasarkan kondisi tegangan atau status sistem. Proses ini disimulasikan terlebih dahulu menggunakan WOKWI untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai rancangan. Logika fuzzy memberikan fleksibilitas pada sistem dalam mengambil keputusan secara adaptif terhadap perubahan kondisi input yang tidak pasti.

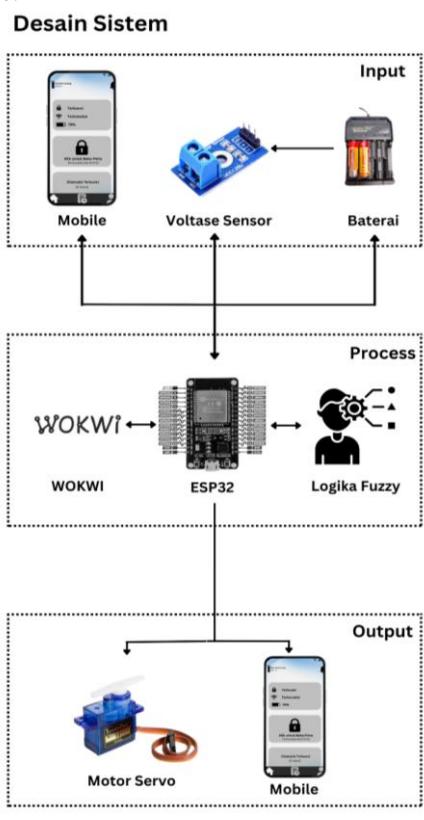
Hasil dari pemrosesan tersebut kemudian dikirim ke bagian output, yaitu motor servo dan aplikasi mobile. Motor servo berperan sebagai aktuator yang menjalankan aksi fisik, misalnya membuka atau menutup mekanisme tertentu sesuai keputusan logika fuzzy. Sementara itu, aplikasi mobile menampilkan informasi hasil pemrosesan, seperti status tegangan baterai dan posisi servo, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem secara

real-time. Dengan rancangan ini, sistem menjadi lebih cerdas, efisien, serta mudah dioperasikan melalui perangkat mobile.

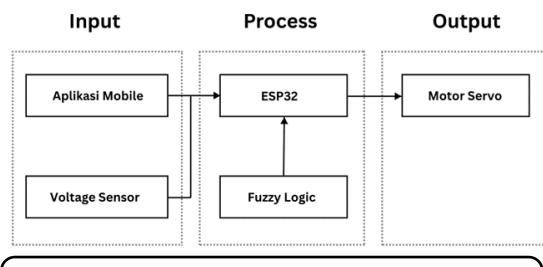
### B. Block Diagram

Blok diagram pada Gambar 2 menunjukkan rancangan sistem smart door lock berbasis perangkat mobile yang terdiri dari tiga bagian utama, yaitu input, process, dan output. Pada bagian input, sistem menerima data dari aplikasi mobile serta sensor tegangan (voltage sensor) yang berfungsi untuk memantau kondisi daya baterai. Berbeda dengan Gambar 1, Gambar 2 hanya menampilkan komponen yang terlibat dalam alur logika perangkat lunak (software), sehingga elemen fisik seperti baterai tidak digambarkan meskipun tetap digunakan pada hardware. Data yang dikirimkan dari aplikasi mobile digunakan sebagai perintah untuk membuka atau menutup kunci pintu, sedangkan data dari sensor tegangan digunakan untuk memastikan sistem bekerja dengan daya yang stabil. Kedua jenis input ini menjadi sumber informasi utama bagi mikrokontroler ESP32 dalam melakukan proses pengambilan keputusan.

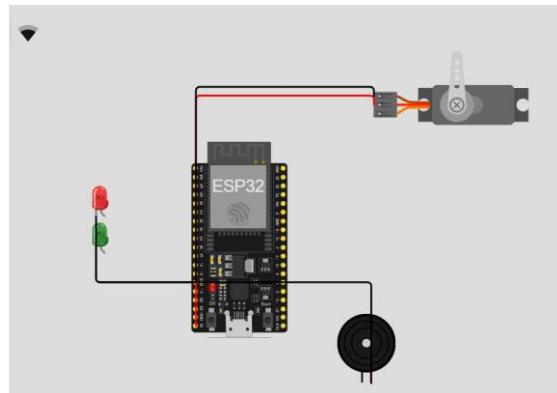
Bagian proses dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, yang di dalamnya telah diintegrasikan dengan logika fuzzy untuk menganalisis data input dan menentukan tindakan yang sesuai. Logika fuzzy memungkinkan sistem untuk bekerja secara lebih adaptif dan cerdas, terutama dalam menghadapi kondisi input yang tidak pasti atau berubah-ubah. Hasil dari pemrosesan ini kemudian dikirim ke bagian output, yaitu motor servo, yang berfungsi sebagai aktuator untuk membuka atau menutup kunci pintu secara otomatis. Dengan rancangan ini, sistem mampu memberikan respon yang efisien, akurat, dan real-time, serta dapat dikendalikan dengan mudah melalui aplikasi mobile.



GAMBAR 1. Desain Sistem Smart Door Lock



GAMBAR 2. Blok Diagram Perangkat Smart Lock Door Berbasis Perangkat Mobile



GAMBAR 3. Rancangan desain prototipe  
 Sumber <https://wokwi.com/projects/443986849264692225>

### C. Perancangan Perangkat Lunak

Gambar 3 merupakan rangkaian sederhana menggunakan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi untuk mengendalikan beberapa komponen elektronik seperti LED merah dan hijau, servo motor serta buzzer. Prosesnya sendiri dimulai dari ESP32 menerima input dari aplikasi yang terhubung dengan mobile, kemudian memproses sinyal tersebut untuk mengubah status LED dan menggerakkan servo motor sesuai dengan perintah. Dimana LED merah dan hijau berfungsi sebagai indikator visual, misalnya LED merah menandakan akses pintu tidak aman dan LED hijau menandakan bahwa akses pintu aman.

Di samping itu, servo motor dikendalikan lewat sinyal PWM yang berasal dari ESP32 agar dapat bergerak sesuai kebutuhan, sementara buzzer bertugas memberikan output suara sebagai tanda respons atau peringatan. Rangkaian ini sangat sesuai untuk aplikasi interaktif yang memerlukan kontrol mekanik melalui visual serta audio seperti pintu otomatis berbasis kendali jarak jauh melalui aplikasi.

#### D. Flowchart

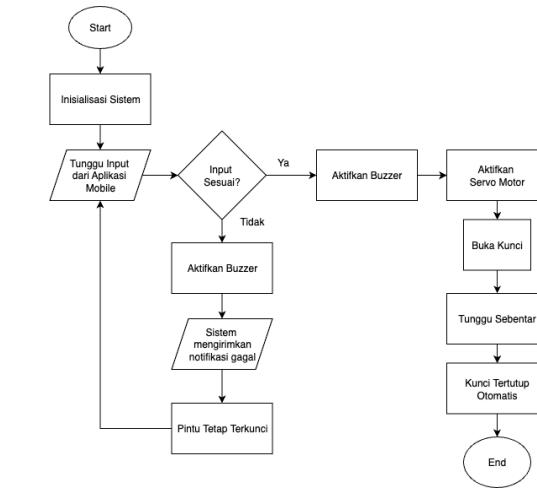
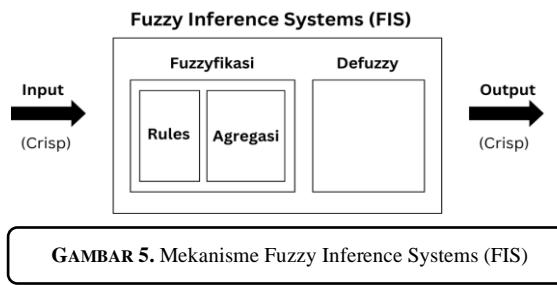
Flowchart pada gambar 4 menjelaskan tahapan kerja sistem keamanan otomatis yang dirancang menggunakan kendali berbasis mikrokontroler dan aplikasi mobile. Proses dimulai dari inisialisasi sistem, kemudian sistem akan menunggu input dari aplikasi mobile berupa perintah akses atau autentikasi. Setelah data diterima, sistem melakukan pemeriksaan kesesuaian input untuk memastikan bahwa perintah yang diberikan valid.

Apabila input sesuai, maka sistem akan mengaktifkan buzzer sebagai penanda sukses, kemudian menggerakkan motor servo untuk membuka kunci pintu secara otomatis. Setelah pintu terbuka dalam waktu tertentu, sistem akan kembali menutup kunci secara otomatis untuk menjaga keamanan.

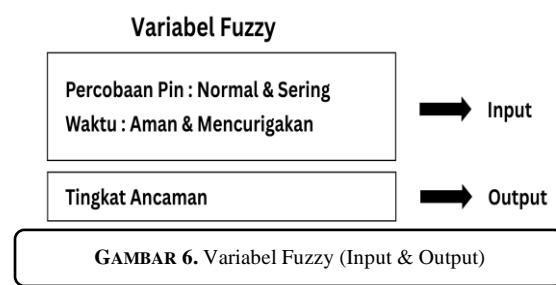
Sebaliknya, jika input yang diterima tidak valid, sistem akan mengaktifkan buzzer sebagai tanda kesalahan atau peringatan, kemudian mengirimkan notifikasi gagal ke aplikasi mobile agar pengguna mengetahui bahwa akses ditolak. Dalam kondisi ini, pintu tetap terkunci dan tidak ada perubahan pada posisi motor servo. Alur kerja ini menggambarkan bahwa sistem dirancang untuk memberikan respon keamanan yang cepat, efisien, dan adaptif, dengan memastikan bahwa setiap proses autentikasi dan kendali dilakukan secara otomatis serta dapat dipantau melalui perangkat mobile.

#### 3.2. Logika Fuzzy

Untuk memberikan respons keamanan yang lebih cerdas dan adaptif, sistem *smart door lock* ini diintegrasikan dengan kecerdasan buatan menggunakan metode Logika Fuzzy Sugeno. Logika fuzzy dipilih karena kemampuannya dalam mengolah informasi yang bersifat tidak pasti atau ambigu (seperti "sering" atau "mencurigakan"), sehingga sistem dapat membuat keputusan yang lebih manusiawi dibandingkan dengan logika biner (ya/tidak) yang kaku. Pemilihan metode ini didasarkan pada efisiensi komputasi yang cocok untuk perangkat mikrokontroler seperti ESP32 dan output-nya yang tegas (crisp), sehingga ideal untuk sistem kontrol. Berikut adalah gambar mekanisme dari Fuzzy Inference Systems.



**GAMBAR 4. Desain Sistem Smart Door Lock**



Gambar 5 menjelaskan mengenai mekanisme Fuzzy Inference Systems (FIS) dimana Variabel logika fuzzy Sugeno dirancang untuk menilai tingkat ancaman berdasarkan dua variabel masukan (input) yaitu jumlah percobaan PIN yang gagal dan waktu saat akses terjadi.

#### 3.3. Fuzzifikasi

Pada tahap ini, dua input numerik (crisp value) yang berasal dari sistem yakni jumlah percobaan PIN yang gagal dan waktu akses diklasifikasikan menjadi nilai linguistik fuzzy dengan derajat keanggotaan antara 0 dan 1. Kedua variabel input ini menjadi dasar inferensi pada model Fuzzy Sugeno, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan representasi dua variabel input yang digunakan dalam logika fuzzy, yaitu jumlah percobaan PIN gagal dan waktu akses. Berbeda dengan input pada Gambar 1 dan Gambar 2 yang berasal dari sensor fisik, kedua input pada gambar ini sepenuhnya dihasilkan dari perhitungan internal ESP32 berdasarkan aktivitas pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa variabel input pada logika fuzzy berasal dari data sistem dan bukan perangkat keras, sehingga tidak memerlukan komponen fisik tambahan.

##### 1. Variabel Input

Dua variabel input yang digunakan dalam logika Fuzzy Sugeno berasal dari data internal sistem, bukan sensor fisik, yaitu perhitungan otomatis ESP32 dan waktu akses sistem.

1) Percobaan PIN Gagal

Variabel ini mengukur berapa kali pengguna salah memasukkan PIN secara berurutan. Variabel ini dibagi menjadi dua himpunan fuzzy:

1. Normal: Mewakili jumlah kegagalan yang wajar, misalnya karena salah ketik. (Rentang: 1 hingga 3 kali.)
2. Sering: Mewakili jumlah kegagalan yang tidak wajar dan berpotensi sebagai upaya pembobolan. (Rentang: Lebih dari tiga kali.)

2) Waktu akses

Variabel ini mengukur kapan percobaan akses dilakukan, karena waktu tertentu bisa lebih berisiko. Variabel ini dibagi menjadi dua himpunan fuzzy:

1. Aman: Mewakili jam-jam normal saat penghuni rumah beraktivitas. Contoh rentang: 07:00 - 22:00.
2. Mencurigakan: Mewakili jam-jam istirahat atau larut malam yang tidak biasa untuk adanya akses. Contoh rentang: 22:00 - 07:00.

2. Variabel Output (Metode Sugeno)

Tingkat Ancaman

Tidak seperti metode Mamdani, output pada model Sugeno adalah nilai numerik (konstanta atau fungsi linear), bukan himpunan fuzzy. Nilai ini direpresentasikan dalam skala 1-100, yang kemudian dikategorikan sebagai berikut pada tabel 1. Maka dari itu dapat disimpulkan rulesnya seperti pada tabel 2. Dengan decision logic yang ditampilkan pada tabel 3 berikut ini.

**TABEL 1.** Kategori Fuzzy Sugeno

Kategori	Nilai Konstanta
Aman	0
Waspada	50
Berbahaya	100

**TABEL 2.** Rules

R1	IF Percobaan Pin Gagal Normal AND Waktu Aman, THEN Tingkat Ancaman 0
R2	IF Percobaan Pin Gagal Sering AND Waktu Aman THEN Tingkat Ancaman 50
R3	IF Percobaan Pin Gagal Sering AND Waktu Mencurigakan THEN Tingkat Ancaman 100

**TABEL 3.** Decision Logic

Tingkat Ancaman	Keputusan	ESP32
<25 (Sangat Aman)	Buka Pintu	Mengerakkan motor servo atau relay untuk membuka kunci
≥ 25 dengan (Waspada)	Buka Pintu & Kirim Notifikasi Waspada	Membuka kunci dan mengirim pesan ke aplikasi mobile ("Peringatan: Pintu dibuka setelah beberapa kali gagal PIN")
≤ 75 (Waspada)		
≥ 75 (Bahaya)	Tolak Akses, kirim notifikasi & Bunyikan Alarm	Pintu tetap terkunci, mengirim notifikasi darurat, dan mengaktifkan buzzer

### 3. Hasil Dan Pembahasan

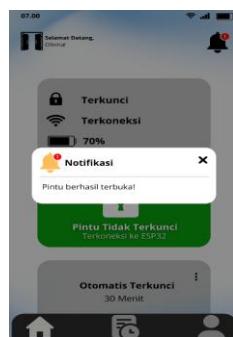
Pada bagian ini, dipaparkan hasil dari perancangan sistem yang berfokus pada implementasi logika Fuzzy Sugeno sebagai mekanisme pengambilan keputusan dan desain antarmuka aplikasi mobile sebagai media kontrol dan pemantauan. Pembahasan akan menguraikan bagaimana kedua komponen ini bekerja sama melalui simulasi skenario untuk menunjukkan fungsionalitas dan kecerdasan sistem.

#### 3.1. Hasil Perancangan Sistem

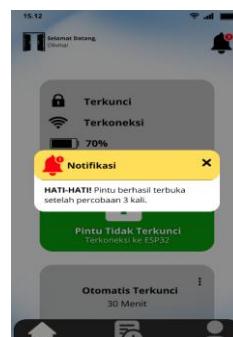
##### Desain Antarmuka Aplikasi Mobile



**GAMBAR 7.** Dashboard Aplikasi



**GAMBAR 8.** Notifikasi Status Kunci Pintu



**GAMBAR 9.** Notifikasi Waspada



**GAMBAR 10.** Notifikasi Darurat

Sebagai media interaksi utama antara pengguna dan sistem, sebuah prototipe antarmuka aplikasi mobile telah dirancang dengan fokus pada kemudahan penggunaan dan penyampaian informasi yang efektif. Tampilan utama aplikasi (dashboard) pada gambar 7 dirancang untuk menampilkan status pintu secara jelas (Terkunci/Terbuka) dan menyediakan tombol kontrol utama untuk mengunci dan membuka pintu dari jarak jauh.

Selain itu, bagian vital dari antarmuka adalah sistem notifikasi real-time. Aplikasi dirancang untuk menampilkan tiga jenis umpan balik visual kepada pengguna sesuai dengan output dari logika Fuzzy:

1. Status Normal: Menunjukkan pesan konfirmasi standar, "Pintu Berhasil Dibuka" seperti pada gambar 8.
2. Peringatan Waspada: Gambar 9 menunjukkan notifikasi berwarna kuning dengan pesan peringatan spesifik.
3. Peringatan Bahaya: Notifikasi darurat berwarna merah yang disertai instruksi untuk segera memeriksa keamanan.

Notifikasi pada gambar 10 memastikan pengguna tidak hanya bisa mengontrol, tetapi juga selalu terinformasi mengenai tingkat keamanan akses yang terjadi di rumah mereka.

### 3.2. Hasil Implementasi Logika Fuzzy Sugeno

Implementasi inti dari sistem keamanan ini adalah mesin inferensi Fuzzy Sugeno yang bertugas menerjemahkan input kondisi menjadi sebuah keputusan keamanan yang terukur. Pengujian dilakukan dengan memberikan input simulasi berdasarkan skenario yang telah ditentukan untuk memvalidasi setiap aturan (rule) yang telah dirancang. Hasil dari pengujian logika Fuzzy pada setiap skenario disajikan pada tabel di bawah ini.

TABEL 4. Hasil dari pengujian logika Fuzzy Sugeno

No.	Skenario Pengujian	Input Variabel	Aturan Fuzzy yang Aktif	Output Inferensi (Tingkat Ancaman)	Keputusan Akhir Sistem
1	Akses Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah Gagal PIN: 1 kali (Normal)</li> <li>- Waktu Akses: 15:00 (Aman)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R1: JIKA Percobaan PIN Gagal Normal DAN Waktu Aman</li> </ul>	0 (Aman)	Buka Pintu. Tidak ada notifikasi peringatan.
2	Aktivitas Waspada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah Gagal PIN: 4 kali (Sering)</li> <li>- Waktu Akses: 19:30 (Aman)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R2: JIKA Percobaan PIN Gagal Sering DAN Waktu Aman</li> </ul>	50 (Waspada)	Buka Pintu & Kirim Notifikasi. Aplikasi menerima peringatan.
3	Potensi Bahaya	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah Gagal PIN: 4 kali (Sering)</li> <li>- Waktu Akses: 02:00 (Mencurigakan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R3: JIKA Percobaan PIN Gagal Sering DAN Waktu Mencurigakan</li> </ul>	100 (Berbahaya)	Tolak Akses, Bunyiakan Alarm & Kirim Notifikasi Darurat.

Tabel 4 menunjukkan bahwa logika Fuzzy Sugeno yang diimplementasikan berhasil bekerja sesuai dengan rancangan.

1. Pada Skenario 1, sistem menunjukkan kemampuannya untuk mentolerir kesalahan pengguna yang wajar, sehingga tidak mengorbankan kenyamanan.
2. Pada Skenario 2, terbukti bahwa sistem mampu memberikan respons yang adaptif. Meskipun akses diberikan, sistem berhasil mengidentifikasi adanya anomali (percobaan berulang) dan meningkatkan kesadaran pengguna melalui notifikasi waspada.
3. Pada Skenario 3, sistem berhasil menjalankan fungsi keamanan tertingginya. Dengan menggabungkan dua variabel risiko, logika Fuzzy secara efektif menyimpulkan adanya potensi ancaman dan merespons secara proaktif dengan menolak akses dan membunyikan alarm.

### 3.3. Batasan Numerik Variabel Input (Nilai Konstanta)

Untuk menjalankan proses Fuzzifikasi, sistem menetapkan batas-batas numerik (konstanta) pada setiap variabel input. Batas ini berfungsi sebagai domain semesta pembicaraan, yang menentukan seberapa besar derajat keanggotaan suatu nilai input pada himpunan fuzzy tertentu. Variabel input yang digunakan adalah Percobaan PIN Gagal (X) dan Waktu Akses (Y), dengan batasan konstanta pada table 5.

Tabel 5 adalah langkah kritis sebelum membuat fungsi keanggotaan (Membership Function). Nilai-nilai konstanta di kolom tersebut digunakan untuk menentukan Bentuk Fungsi Keanggotaan: Angka 2, 3, 06:00, dan 22:00 adalah titik-titik krusial pada sumbu-X (sumbu input) yang digunakan untuk menggambar kurva (misalnya, kurva segitiga atau trapesium) yang mendefinisikan seberapa "Normal" atau "Sering" suatu input.

### 3.4. Evaluasi Efektivitas melalui Perbandingan Logika Fuzzy dan Logika Konvensional

Untuk memvalidasi peningkatan efektivitas yang ditawarkan oleh metode Fuzzy Sugeno, evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil keputusan sistem yang diusulkan dengan sistem berbasis Logika Konvensional (Biner) seperti pada tabel 6

**TABEL 5.** Batasan Konstanta (Domain) Variabel Input

No.	Variabel Input	Himpunan Fuzzy	Nilai Konstanta	Penjelasan
1	Percobaan PIN Gagal (X)	Normal (A)	$0 \leq X \leq 2$	Jumlah percobaan gagal yang masih dianggap wajar dan aman.
		Sering (B)	$X \geq 3$	Jumlah percobaan gagal yang dianggap mencurigakan dan berpotensi bahaya.
2	Waktu Akses (Y)	Aman (C)	$06:00 \leq Y \leq 22:00$	Rentang waktu (jam) normal dan aman untuk akses pintu.
		Mencurigakan (D)	$22:01 \leq Y \leq 05:59$	Rentang waktu di luar jam normal yang dianggap mencurigakan.

**TABEL 6.** Perbandingan Logika Fuzzy dan Logika

No.	Skenario Uji (Input)	Keputusan Sistem Fuzzy Sugeno	Keputusan Logika Konvensional (Biner)	Analisis Efektivitas
1	PIN Gagal: 1 kali (Waktu: 15:00)	Aman (Buka Pintu)	Aman (Buka Pintu)	Kedua sistem memberikan respons yang benar untuk kasus normal
2	PIN Gagal: 4 kali (Waktu: 19:30)	Waspada (Buka Pintu & Kirim Notifikasi)	Berbahaya (Tolak Akses/ Kunci)	Logika Konvensional terlalu kaku; ambang batas 3 kali kegagalan memicu penolakan akses total meskipun waktu masih aman. Sistem Fuzzy menghasilkan status Waspada, yang menyeimbangkan keamanan (peringatan) dan kenyamanan (akses tidak ditolak).
3	PIN Gagal: 5 kali (Waktu: 02:00)	Berbahaya (Tolak Akses/ Kunci)	Berbahaya (Tolak Akses /Kunci)	Kedua sistem berhasil mengidentifikasi ancaman sangat tinggi, menghasilkan keputusan penolakan akses yang tepat.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan pada tabel 6 ini memvalidasi bahwa implementasi metode Fuzzy Sugeno berhasil memberikan tingkat kecerdasan dan fleksibilitas pada smart door lock, membuatnya lebih unggul dibandingkan sistem keamanan dengan logika biner konvensional

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem smart door lock berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan metode Fuzzy Sugeno serta dapat dikendalikan melalui aplikasi mobile. Sistem ini menunjukkan kemampuan adaptif dalam menentukan status keamanan pintu berdasarkan kondisi waktu dan jumlah percobaan PIN yang gagal. Melalui simulasi yang dilakukan, sistem dapat mengambil keputusan secara otomatis apakah akses perlu ditolak, diberikan dengan peringatan, atau diterima sepenuhnya, sehingga menciptakan mekanisme keamanan yang lebih fleksibel dan cerdas dibandingkan sistem berbasis logika konvensional.

Penerapan logika Fuzzy Sugeno memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan sistem dalam menghadapi kondisi ketidakpastian. Dengan pendekatan ini, keputusan sistem tidak lagi bersifat kaku, melainkan mempertimbangkan berbagai tingkat risiko berdasarkan parameter yang ada. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode ini mampu mendeteksi aktivitas mencurigakan secara akurat dan memberikan respons yang sesuai, seperti mengaktifkan alarm atau mengirim notifikasi ke pengguna melalui aplikasi mobile. Hal ini membuktikan bahwa integrasi fuzzy logic pada sistem IoT mampu meningkatkan keandalan dan keamanan perangkat secara menyeluruh.

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil mencapai tujuan untuk mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis IoT yang cerdas, efisien, dan mudah diakses. Kombinasi antara mikrokontroler ESP32, aplikasi mobile, dan metode Fuzzy Sugeno mampu menghadirkan solusi yang modern sekaligus ramah biaya untuk kebutuhan keamanan rumah tangga. Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan autentikasi biometrik atau koneksi berbasis cloud agar pemantauan dapat dilakukan secara global, serta memperluas cakupan penerapan sistem ke berbagai perangkat IoT rumah pintar lainnya

#### REFERENSI

- [1] Asysyauqi, H., Andriansyah, M.F., Ulla, L.N., & Sucipto, A. (2025). Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis IoT dengan Teknologi RFID dan Aplikasi Mobile Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani. *Modem: Jurnal Informatika dan Sains Teknologi*, 3(2), 42-50.
- [2] Akshith, S.P., Mukka, R., Karthik, A., Krishna, S.V., Poovathy, J.F.G., & Divya, I. (2025). IOT Enabled Multi Factor Authentication Lock System. *Journal of Information System and Technology Management (JISTM)*, 10(39), 197–208.
- [3] Kaya, S., Ayyildiz, E.A., & Ayyildiz, M. (2022). Smart Door Lock Design With Internet of Things. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(2), 201-205.

- [4] Maji, F.K., & Irianto, K.D. (2025). Facial Recognition Implementation in Smart Home Doors Using IoT. Preprint. DOI: 10.13140/RG.2.2.30911 99924.
- [5] Nasution, A.B., Nugroho, A.Y., Gunawan, H., & Sari, R.E. (2024). Development of an IoT Based Smart Door System with Access Control via WhatsApp. Indonesian Journal of Applied and Industrial Sciences (ESA), 3(1), 87-94.
- [6] Nakaridhrakumar, R.S., dkk. (2022). Design and Development of IOT based Smart Door Lock System. In 2022 Third International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT). IEEE.
- [7] Permana, K.A.K., Piarsa, I.N., & Wiranatha, A.A.K.A.C. (2024). IoT-Based Smart Door Lock System with Fingerprint and Keypad Access. Journal of Information Systems and Informatics, 6(3), 844.
- [8] Sonamoni, J.S., Sikdar, R., Akib, A.S.M.A.S., Islam, M.S., Sourov, S., Al Ahsan, M.A., Islam, M., Habib, M.A., & Mridha, M.F. (2024). IoT-Based Smart Remote Door Lock and Monitoring System Using an Android Application. Engineering Proceedings, 76, 85.
- [9] Wadly, F. (2023). Design Smart Door Locks With Internet Of Things Based On Pin Security Features. International Journal of Computer Sciences and Mathematics Engineering, 2(2).
- [10] Wibowo, A.D., & Susanto, E.S. (2024). Perancangan Purwarupa Smart Door Lock Berbasis Internet of Things. Jurnal Elektro & Informatika Swadharma (JEIS), 4(2).
- [11] Zoha, M.S., Moketar, N.A., Kamalrudin, M., Akmal, S., Pratama, S.F., & Mazbah, A.H. (2025). The Development of IoT Based Smart Door Lock and Fire Alert System Using Facial Recognition. Journal of Advanced Computing Technology and Application (JACTA).
- [12] Chandra, P.H., Reddy, E.S., Prasad, D.V.S., Kumar, T.M., & Balaji, P. (2024). Design and Evaluation of a Biometric IoT-Based Smart Door Lock System Using an ESP32 Microcontroller. In 2024 2nd International Conference on Communication, Computing and Industry 4.0 (C2I4). IEEE.
- [13] De Silva, D.P., Sandamith, B.G.D.T., Abeyrathna, A.H.M.C., Priyarthna, P.G.R.N., Bandara, K.M.D.C., & Gunawardhana, S.A.S.M. (2024). IoT-based smart door lock system using face recognition. In 2024 International Conference on Advancements in Smart Computing and Information Technology (SCIT). IEEE