

Optimasi Kinerja Sistem Keamanan Pintu Berbasis RFID Menggunakan Particle Swarm Optimization pada Platform ESP32

RFID-Based Door Security System Performance Optimization Using Particle Swarm Optimization on the ESP32 Platform

Hamdani Setiawan^{*1}, Rahmad Hidayat², Paris Hasbi³, Ike Yuni Wulandari⁴, Yudi Herdiana⁵

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala

⁴Jurusan Teknik Elektro, Universitas Nurtanio

⁵Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Bale Bandung

¹hmdnsetiawan@gmail.com, ²rhidayat4000@gmail.com, ³pmb@sttmandalabdg.ac.id,

⁴ikeyunipp@gmail.com, ⁵fti@unibba.ac.id

Received: June 19, 2026 | Revised: June 27, 2026 | Accepted: July 2, 2026

Abstrak

Perkembangan Internet of Things (IoT) telah mendorong penggunaan sistem keamanan pintu berbasis Radio Frequency Identification (RFID) dan ESP32 sebagai alternatif yang lebih aman dan fleksibel dibandingkan kunci konvensional. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada implementasi dan pengujian fungsional tanpa melakukan optimasi parameter operasional RFID secara sistematis, sehingga performa pembacaan dan waktu respons sistem belum optimal. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan kinerja sistem keamanan pintu berbasis RFID menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) pada platform ESP32. Metode penelitian dilakukan melalui perancangan prototipe, pengujian variasi jarak dan sudut pembacaan RFID, serta proses optimasi menggunakan PSO dengan fungsi fitness yang mengintegrasikan tingkat keberhasilan pembacaan, jarak baca efektif, dan waktu respons sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PSO berhasil meningkatkan nilai fitness dari 0,636 menjadi 0,923, meningkatkan success rate pembacaan RFID dari 60% menjadi 95%, memperluas jarak baca efektif dari 4,2 cm menjadi 4,8 cm, serta menurunkan waktu respons dari 0,59 detik menjadi 0,43 detik. Kebaruan penelitian ini mengintegrasikan PSO untuk mengoptimalkan parameter RFID berbasis ESP32 secara simultan guna meningkatkan kinerja autentikasi. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan PSO efektif dalam menentukan konfigurasi operasi optimal dan berkontribusi pada peningkatan keandalan, kecepatan, serta kualitas layanan sistem kontrol akses berbasis RFID pada lingkungan IoT.

Kata kunci: RFID, ESP32, Particle Swarm Optimization, Sistem Keamanan Pintu, Internet of Things

Abstract

The development of the Internet of Things (IoT) has accelerated the adoption of RFID- and ESP32-based door security systems as more secure and flexible alternatives to conventional locks. However, previous studies have primarily focused on system implementation and functional testing without systematically optimizing RFID operational parameters, resulting in suboptimal reading performance and response time. This study aims to optimize the performance of an RFID-based door security system using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm on the ESP32 platform. The proposed method includes prototype development, experimental evaluation under varying RFID reading distances and angles, and PSO-based optimization using a fitness function

that integrates reading success rate, effective reading distance, and response time. The novelty of this study is integrating PSO to simultaneously optimize ESP32-based RFID parameters for improved authentication performance. Experimental results show that PSO increased the fitness value from 0.636 to 0.923, improved the RFID reading success rate from 60% to 95%, extended the effective reading distance from 4.2 cm to 4.8 cm, and reduced the response time from 0.59 s to 0.43 s. These findings demonstrate that PSO effectively improves the reliability, speed, and service quality of RFID-based access control systems in IoT environments.

Keywords: RFID, ESP32, Particle Swarm Optimization, Door Security System, Internet of Things

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong transformasi berbagai sistem keamanan konvensional menjadi sistem keamanan cerdas yang mampu melakukan identifikasi, autentikasi, pemantauan, dan pengendalian akses secara otomatis. Salah satu implementasi yang banyak dikembangkan adalah sistem keamanan pintu berbasis RFID (*Radio Frequency Identification*) yang memungkinkan proses identifikasi pengguna dilakukan secara cepat, praktis, dan tanpa kontak fisik. Dibandingkan penggunaan kunci mekanis konvensional, teknologi RFID menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi, kemudahan pengelolaan hak akses, serta kemampuan integrasi dengan sistem monitoring berbasis jaringan [1]. Evolusi teknologi informasi telah memicu pergeseran menuju sistem keamanan cerdas, menjauh dari infrastruktur tradisional yang terisolasi menuju kerangka kerja berbasis IoT yang terintegrasi untuk otentikasi dan pemantauan [1][2]. Dengan menggabungkan teknologi RFID dengan mikrokontroler seperti ESP32, sistem modern memfasilitasi analitik cloud secara real-time dan layanan pemberitahuan otomatis, secara efektif menjembatani kesenjangan antara kontrol akses fisik dan pemantauan lingkungan atau keamanan [1]. Sistem ini menunjukkan bahwa kinerja tingkat profesional, termasuk akurasi otentikasi yang tinggi dan waktu respons yang cepat, dapat dicapai melalui optimasi arsitektur [1][3].

Sistem keamanan pintu berbasis RFID secara luas diakui lebih praktis dan aman daripada kunci mekanis konvensional, yang rentan terhadap duplikasi, pembobolan fisik, dan inefisiensi operasional [4][3][5]. Dengan beralih ke otentikasi RFID tanpa kontak, organisasi dapat secara signifikan mengurangi kesalahan manusia dan biaya operasional sekaligus meningkatkan kecepatan akses [4][6]. Data eksperimental menunjukkan bahwa sistem ini dapat mencapai peningkatan efisiensi yang substansial, dengan satu studi melaporkan pengurangan waktu akses sebesar 91% dibandingkan dengan metode tradisional [4]. Selain itu, sistem RFID menyediakan alternatif yang kuat untuk keamanan manual, karena menawarkan pelacakan otomatis dan identifikasi langsung, yang sangat penting untuk mengurangi risiko yang terkait dengan kunci yang hilang atau masuk tanpa izin [5][4][6]. Selain otentikasi dasar, teknologi RFID menawarkan fleksibilitas yang luas melalui pemantauan berbasis jaringan dan kemampuan manajemen jarak jauh [2][3]. Dengan menghubungkan pembaca RFID ke mikrokontroler yang terhubung internet, administrator dapat memantau aktivitas pintu secara real-time melalui aplikasi seluler atau basis data cloud, memungkinkan konfigurasi jarak jauh dan deteksi anomali secara langsung [6][5][3]. Integrasi dengan platform perpesanan, seperti Telegram, semakin meningkatkan fleksibilitas ini dengan memberikan peringatan instan mengenai upaya akses, yang memastikan keamanan tetap konsisten di berbagai lingkungan seperti laboratorium, kantor, dan properti perumahan [2][6]. Konektivitas ini memungkinkan integrasi yang mulus ke dalam basis data akademis atau fasilitas yang lebih luas, memungkinkan kontrol terpusat dan manajemen jadwal yang tidak mungkin dilakukan dengan sistem mekanis mandiri [4][3].

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai penelitian telah mengembangkan sistem kontrol akses pintu berbasis RFID dan mikrokontroler ESP32. Penelitian oleh Isariato dan

Setiyaningrum mengembangkan sistem kontrol akses pintu berbasis IoT menggunakan ESP32, RFID, Firebase Authentication, dan MQTT yang mampu menyediakan pengendalian akses secara real-time serta pencatatan aktivitas pengguna secara terintegrasi. Penelitian lain mengimplementasikan *smart lock door* berbasis ESP32 untuk meningkatkan keamanan rumah melalui konektivitas IoT dan pengendalian jarak jauh. Selain itu, implementasi *smart door* berbasis ESP32 yang mengintegrasikan RFID, keypad, dan aplikasi seluler juga telah dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan akses pada lingkungan pendidikan maupun perkantoran.

Implementasi kunci pintu pintar berbasis ESP32 untuk keamanan perumahan memanfaatkan teknologi IoT untuk mengatasi kerentanan kunci mekanis konvensional. Dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan aplikasi seluler, sistem ini memungkinkan pengguna untuk melakukan pembukaan kunci jarak jauh dan pemantauan waktu nyata, secara signifikan meningkatkan fleksibilitas kontrol akses [7][8][9]. Hanifullah dan Irianto [7] mengembangkan kunci pintar berbasis IoT menggunakan ESP32 DOIT V1, modul NFC PN532, dan kunci solenoid. Sistem mereka menggunakan aplikasi Android khusus, "Jenaela," yang memberi pengguna kendali penuh, termasuk manajemen tag RFID dan kemampuan pengalihan jarak jauh. Demikian pula, Fadlianda dkk. [11] mengimplementasikan sistem gerbang otomatis menggunakan ESP32 yang memungkinkan akses jarak jauh melalui perangkat seluler sambil mempertahankan fungsionalitas akses fisik melalui teknologi RFID, memastikan sistem tetap beroperasi bahkan ketika konektivitas internet terputus. Studi-studi ini menunjukkan bahwa kombinasi perangkat keras ESP32 dan antarmuka seluler yang mendukung IoT menawarkan alternatif modern dan praktis untuk langkah-langkah keamanan rumah tradisional [7][11].

Untuk lingkungan yang membutuhkan keamanan lebih tinggi, seperti kantor dan sekolah, sistem berbasis ESP32 menggabungkan otentikasi multi-faktor untuk memastikan bahwa hanya personel yang berwenang yang dapat memasuki tempat tertentu [12][13]. Implementasi ini biasanya menggabungkan antarmuka perangkat keras fisik—seperti pembaca RFID dan keypad—dengan platform manajemen terpusat untuk melacak dan mengatur akses masuk [14][12]. Gandhimathi dkk. [12] merancang sistem keamanan otentikasi dengan prototipe mereka yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan keypad 4x4, kartu RFID, dan layar LCD, semuanya dikelola melalui aplikasi seluler Blynk.

Arsitektur ini memastikan bahwa akses diberikan hanya setelah otentikasi yang valid, memberikan solusi yang kuat untuk lingkungan profesional [12][14]. Kembaren dkk. [11] lebih lanjut memperluas pendekatan ini dengan menambahkan deteksi gerakan melalui sensor PIR dan kemampuan pemberitahuan waktu nyata melalui platform Telegram. Sistem mereka menggunakan ESP32 untuk memproses beberapa input, termasuk data RFID dan keypad, untuk memicu output seperti kunci pintu solenoid dan bel, sehingga menyediakan pemantauan dan kontrol akses yang komprehensif untuk ruang kantor [14].

Pengembangan sistem keamanan berlapis juga mulai banyak dilakukan. Penelitian yang mengombinasikan RFID, *fingerpint*, dan keypad pada platform ESP32 menunjukkan bahwa autentikasi multi-faktor mampu meningkatkan keamanan dibandingkan penggunaan RFID tunggal. Sementara itu, penelitian terbaru mengenai analisis kinerja sistem keamanan akses ruangan berbasis RFID dan ESP32 menunjukkan bahwa parameter seperti akurasi pembacaan kartu, waktu tunda (*delay*), dan jarak baca RFID merupakan faktor penting yang memengaruhi kualitas layanan sistem keamanan. Meskipun berbagai penelitian tersebut telah berhasil mengimplementasikan sistem keamanan pintu berbasis RFID dan ESP32, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek perancangan perangkat keras, integrasi IoT, dan validasi fungsional sistem. Evaluasi yang dilakukan umumnya terbatas pada pengujian keberhasilan pembacaan kartu, konektivitas jaringan, serta kemampuan membuka dan mengunci pintu secara otomatis. Penelitian yang secara khusus mengoptimalkan parameter operasional RFID, seperti

jarak pembacaan, sudut pembacaan, dan waktu respon sistem untuk memperoleh performa terbaik, masih relatif terbatas [15].

Di sisi lain, optimasi parameter merupakan aspek penting dalam sistem keamanan berbasis RFID karena kondisi pembacaan kartu sangat dipengaruhi oleh orientasi tag, posisi pengguna, lingkungan operasi, dan karakteristik perangkat keras yang digunakan. Ketidakefektifan parameter tersebut dapat menyebabkan peningkatan waktu respon, kegagalan autentikasi, serta menurunkan kenyamanan pengguna. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan optimasi yang mampu menentukan konfigurasi operasi terbaik berdasarkan data eksperimen yang diperoleh dari sistem.

Salah satu metode optimasi yang banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan multidimensi adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). PSO merupakan algoritma kecerdasan swarm yang terinspirasi oleh perilaku kolektif kawanan burung atau ikan dalam mencari sumber makanan. Algoritma ini memiliki keunggulan berupa struktur yang sederhana, kebutuhan komputasi yang rendah, kemampuan konvergensi yang cepat, serta mudah diimplementasikan pada sistem berbasis mikrokontroler dan IoT. Oleh karena itu, PSO menjadi salah satu metode yang potensial untuk diterapkan pada optimasi performa sistem keamanan akses berbasis RFID. Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan, ditemukan adanya *research gap* yaitu belum banyak penelitian yang mengintegrasikan sistem keamanan pintu berbasis RFID dan ESP32 dengan pendekatan optimasi berbasis swarm intelligence untuk meningkatkan performa pembacaan RFID. Sebagian besar penelitian hanya mengevaluasi hasil pengujian tanpa melakukan pencarian konfigurasi operasi optimal secara sistematis.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penerapan algoritma Particle Swarm Optimization pada sistem keamanan pintu berbasis RFID dan ESP32 untuk memperoleh konfigurasi parameter operasi yang menghasilkan tingkat keberhasilan pembacaan yang tinggi serta waktu respon yang lebih rendah. Optimasi dilakukan berdasarkan data eksperimen yang diperoleh dari variasi jarak pembacaan RFID, sudut pembacaan, dan waktu respon sistem. Fungsi objektif dirancang untuk memaksimalkan tingkat keberhasilan autentikasi dan jarak baca efektif sekaligus meminimalkan waktu respon sistem.

Kontribusi utama penelitian ini adalah: (1) mengembangkan sistem keamanan pintu berbasis RFID dan ESP32 yang dilengkapi mekanisme optimasi menggunakan PSO; (2) merumuskan fungsi fitness yang mengintegrasikan tingkat keberhasilan pembacaan RFID, jarak baca efektif, dan waktu respon sistem; serta (3) mengevaluasi peningkatan performa sistem sebelum dan sesudah proses optimasi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif pendekatan optimasi yang sederhana namun efektif untuk meningkatkan kinerja sistem kontrol akses berbasis RFID pada lingkungan IoT.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan algoritma Particle Swarm Optimization untuk menentukan konfigurasi operasi optimal sistem keamanan pintu berbasis RFID dan ESP32 berdasarkan parameter jarak pembacaan, sudut pembacaan, dan waktu respon sistem. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang berfokus pada implementasi dan pengujian fungsional sistem, penelitian ini menambahkan mekanisme optimasi berbasis swarm intelligence untuk meningkatkan performa autentikasi RFID secara terukur.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengembangkan dan mengoptimalkan sistem keamanan pintu berbasis Radio Frequency Identification (RFID) pada platform ESP32. Sistem dirancang untuk melakukan autentikasi pengguna menggunakan kartu RFID yang terdaftar, kemudian mengendalikan solenoid door lock melalui relay sebagai aktuatur pembuka pintu. Untuk meningkatkan kinerja sistem, diterapkan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) guna menentukan konfigurasi parameter operasi RFID yang menghasilkan

tingkat keberhasilan pembacaan tinggi serta waktu respons yang rendah.

2.2 Arsitektur Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri atas RFID Reader MFRC522, mikrokontroler ESP32, sensor sentuh, relay, dan solenoid door lock. RFID Reader berfungsi membaca identitas kartu RFID yang digunakan sebagai media autentikasi pengguna. Data hasil pembacaan diproses oleh ESP32 untuk menentukan validitas akses. Apabila autentikasi berhasil, ESP32 mengaktifkan relay sehingga solenoid door lock membuka pintu. Sensor sentuh digunakan sebagai mekanisme akses dari dalam ruangan tanpa memerlukan kartu RFID.

Secara konseptual, alur kerja sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

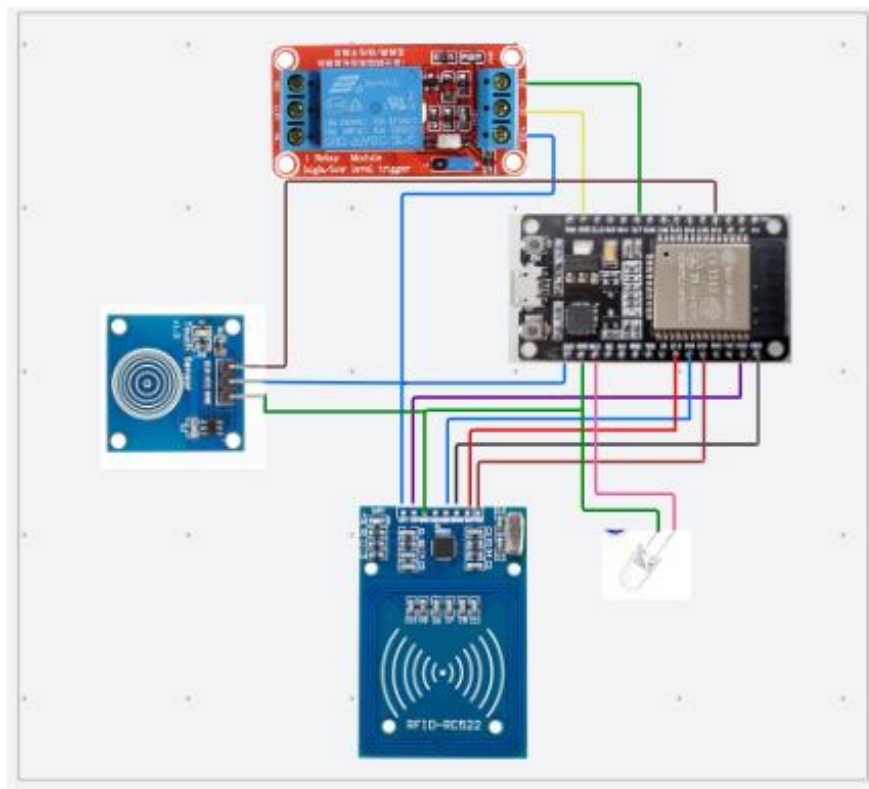
RFID Tag → RFID Reader → ESP32 → PSO Optimizer → Relay → Solenoid Door Lock Dan
Sensor Sentuh → ESP32 → Relay → Solenoid Door Lock.

2.3 Tahapan Penelitian

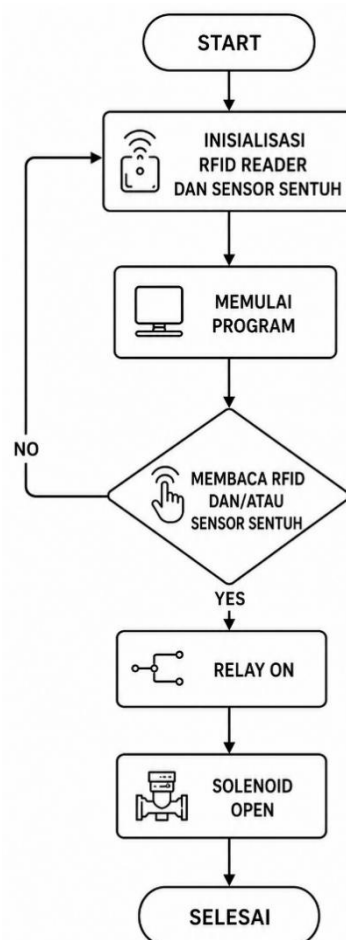
Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama sebagai berikut:

- 1) Perancangan perangkat keras sistem keamanan pintu berbasis RFID dan ESP32.
- 2) Pengembangan perangkat lunak untuk proses autentikasi dan kontrol akses.
- 3) Pengambilan data eksperimen melalui variasi jarak dan sudut pembacaan RFID.
- 4) Implementasi algoritma Particle Swarm Optimization.
- 5) Proses optimasi parameter operasi RFID menggunakan PSO.
- 6) Evaluasi kinerja sistem sebelum dan sesudah optimasi.

Gambar 1 menunjukkan diagram rancangan alat, sedang Gambar 2 berupa flowchart desain perangkat lunak pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram alat



Gambar 2. Flowchart pengembangan perangkat lunak

2.4 Akuisisi Data Eksperimen

Data eksperimen diperoleh melalui pengujian prototipe dengan memvariasikan parameter jarak pembacaan RFID dan sudut orientasi kartu terhadap RFID Reader. Setiap pengujian menghasilkan informasi berupa status keberhasilan pembacaan kartu dan waktu respons sistem. Dataset yang diperoleh digunakan sebagai masukan pada proses optimasi PSO untuk mencari konfigurasi operasi terbaik.

Parameter yang diamati meliputi:

- Jarak pembacaan RFID (cm).
- Sudut pembacaan RFID (°).
- Status keberhasilan pembacaan RFID.
- Waktu respons sistem (s).

2.5 Formulasi Optimasi Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization (PSO) digunakan untuk memperoleh kombinasi parameter operasi yang memberikan performa terbaik pada sistem keamanan pintu berbasis RFID.

Setiap partikel direpresentasikan sebagai: $X_i = [D_i, \theta_i, T_i]$

dengan:

- D_i = jarak pembacaan RFID
- θ_i = sudut pembacaan RFID

- T_i = delay akses sistem

Fungsi objektif dirumuskan sebagai:

$$J = \alpha R + \beta D - \gamma T \quad (1)$$

dengan:

- R = tingkat keberhasilan pembacaan RFID (%)
- D = jarak pembacaan maksimum (cm)
- T = waktu respon sistem (s)
- α, β, γ = bobot optimasi

Tujuan optimasi adalah memaksimalkan nilai fungsi objektif (J), sehingga diperoleh tingkat keberhasilan pembacaan yang tinggi, jangkauan baca yang optimal, dan waktu respons minimum.

2.6 Implementasi Algoritma PSO

Proses optimasi dimulai dengan inisialisasi sejumlah partikel secara acak pada ruang pencarian parameter. Setiap partikel dievaluasi menggunakan fungsi fitness yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan pembaruan nilai personal best (Pbest) dan global best (Gbest), kemudian posisi dan kecepatan partikel diperbarui hingga mencapai kondisi konvergen atau jumlah iterasi maksimum. Parameter PSO yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Particle Swarm Optimization

Parameter	Nilai
Jumlah Partikel	20
Iterasi Maksimum	50
Inertia Weight (w)	0,7
Cognitive Factor (c_1)	2
Social Factor (c_2)	2

2.7 Evaluasi Kinerja Sistem

Evaluasi dilakukan untuk membandingkan performa sistem sebelum dan sesudah proses optimasi. Parameter evaluasi meliputi:

- Tingkat keberhasilan pembacaan RFID (%).
- Jarak pembacaan maksimum (cm).
- Sudut pembacaan optimal ($^\circ$).
- Waktu respons pembukaan pintu (s).
- Nilai fitness hasil optimasi.

Keberhasilan optimasi diukur berdasarkan peningkatan nilai fitness, peningkatan tingkat keberhasilan autentikasi RFID, perluasan jarak baca efektif, serta penurunan waktu respons sistem. Hasil evaluasi kemudian digunakan untuk menilai efektivitas penerapan Particle Swarm Optimization dalam meningkatkan kinerja sistem keamanan pintu berbasis RFID pada platform ESP32.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Implementasi Sistem

Sistem keamanan pintu yang dikembangkan berhasil diimplementasikan menggunakan

RFID Reader MFRC522, mikrokontroler ESP32, relay, sensor sentuh, dan solenoid door lock. Proses autentikasi dilakukan melalui pembacaan UID kartu RFID yang terdaftar pada basis data ESP32. Ketika kartu valid terdeteksi, ESP32 mengaktifkan relay sehingga solenoid membuka pengunci pintu. Sebaliknya, kartu yang tidak terdaftar akan ditolak dan pintu tetap terkunci. Selain itu, sensor sentuh berfungsi sebagai mekanisme akses dari dalam ruangan tanpa memerlukan kartu RFID. Gambar 3 menunjukkan hasil implementasi perangkat, sedangkan Gambar 4 berupa praktek Solenoid (on) saat membuka pengunci pintu.



Gambar 3. Implementasi perangkat

Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem bekerja sesuai dengan rancangan. RFID Reader mampu membaca kartu RFID, ESP32 dapat memproses data autentikasi dengan baik, dan solenoid door lock dapat membuka maupun mengunci pintu secara otomatis berdasarkan hasil autentikasi.



Gambar 4. Solenoid (on) membuka pengunci pintu

3.2 Hasil Pengujian Pembacaan RFID

Pengujian dilakukan terhadap 40 sampel data dengan variasi jarak pembacaan dan sudut

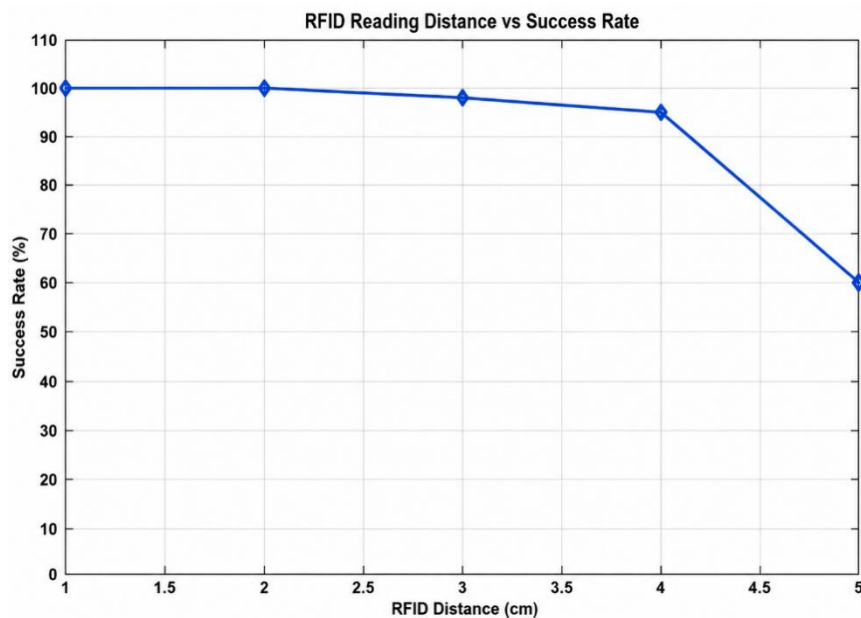
orientasi kartu RFID. Parameter yang diamati meliputi keberhasilan pembacaan RFID, jarak baca, sudut pembacaan, dan waktu respons sistem.

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh statistik pengujian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Hasil Pengujian RFID

Parameter	Nilai
Total Sampel	40
RFID Berhasil	24
RFID Gagal	16
Success Rate	60%
Jarak Maksimum Terbaca	4,2 cm
Sudut Optimal	90°
Response Time Minimum	0,40 s
Response Time Maksimum	0,85 s
Response Time Rata-rata	0,59 s

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sudut pembacaan memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan autentikasi RFID. Pada sudut 90°, seluruh kartu dapat dibaca dengan tingkat keberhasilan yang tinggi hingga jarak maksimum 4,2 cm. Sebaliknya, pada sudut 45° dan 180° terjadi peningkatan kegagalan pembacaan yang disertai waktu respons lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi tag RFID terhadap antenna reader sangat memengaruhi kualitas kopling elektromagnetik yang terbentuk selama proses identifikasi. Gambar 5 menunjukkan grafik jarak baca terhadap success rate.



Gambar 5. Jarak baca terhadap success rate

3.3 Hasil Optimasi Menggunakan Particle Swarm Optimization

Data hasil pengujian RFID digunakan sebagai populasi awal pada algoritma Particle Swarm Optimization (PSO). Setiap partikel merepresentasikan kombinasi parameter jarak

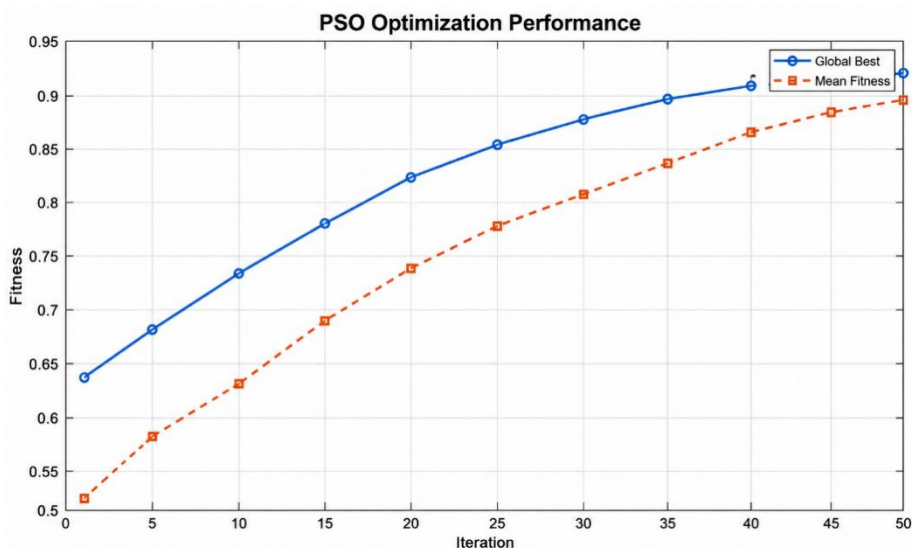
pembacaan RFID, sudut pembacaan, dan waktu respons sistem. Fungsi fitness dirancang untuk memaksimalkan keberhasilan pembacaan dan jarak baca efektif serta meminimalkan waktu respons sistem.

Pada populasi awal diperoleh nilai fitness tertinggi sebesar 0,636 pada konfigurasi jarak pembacaan 4,2 cm dengan sudut 90° . Nilai tersebut menjadi Global Best (Gbest) awal yang digunakan sebagai referensi proses optimasi berikutnya. Selama proses iterasi PSO, nilai fitness mengalami peningkatan secara bertahap sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perkembangan Nilai Global Best (Gbest)

Iterasi	Fitness Terbaik
1	0,636
5	0,681
10	0,734
15	0,781
20	0,826
25	0,857
30	0,882
35	0,901
40	0,913
45	0,919
50	0,923

Peningkatan fitness dari 0,636 menjadi 0,923 menunjukkan bahwa PSO berhasil menemukan konfigurasi parameter yang lebih optimal dibandingkan kondisi awal. Nilai fitness meningkat secara signifikan pada 20 iterasi pertama, kemudian cenderung melandai setelah iterasi ke-40 hingga mencapai kondisi konvergen pada iterasi ke-50. Fenomena ini menunjukkan kemampuan PSO dalam mengeksplorasi ruang pencarian pada tahap awal dan melakukan eksploitasi solusi terbaik pada tahap akhir optimasi. Gambar 6 menunjukkan grafik hasil kinerja optimasi PSO.



Gambar 6. Kinerja optimasi PSO

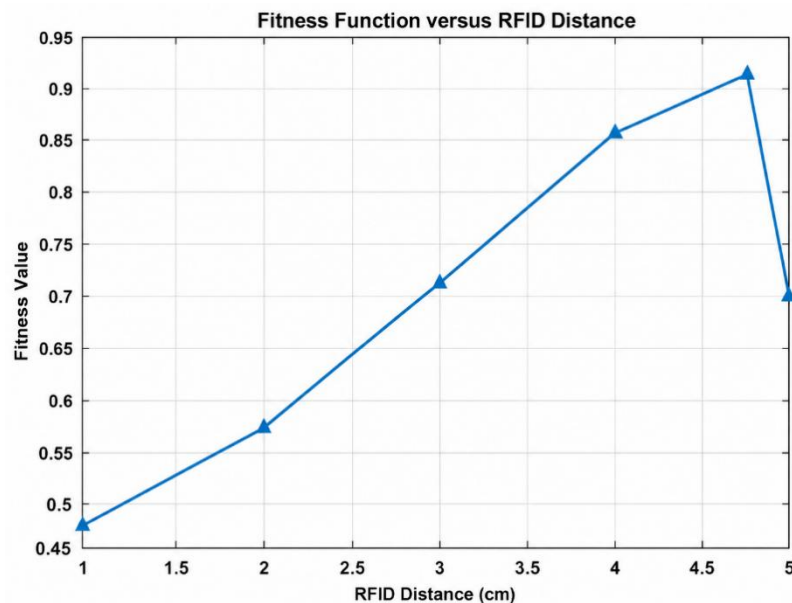
3.4 Parameter Optimal Hasil Optimasi

Setelah 50 iterasi, algoritma PSO menghasilkan konfigurasi parameter optimal seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Optimal Hasil PSO

Parameter	Nilai Optimal
Jarak RFID	4,8 cm
Sudut Pembacaan	90°
Response Time	0,43 s
Fitness Maksimum	0,923

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sudut pembacaan 90° merupakan konfigurasi terbaik untuk menghasilkan performa autentikasi maksimum. Selain itu, PSO mampu meningkatkan jarak baca efektif dari 4,2 cm menjadi 4,8 cm dan menurunkan waktu respons sistem menjadi 0,43 detik. Peningkatan ini menunjukkan bahwa optimasi parameter operasi RFID memberikan pengaruh positif terhadap kualitas layanan sistem keamanan pintu berbasis ESP32. Gambar 7 menunjukkan grafik hasil fungsi fitness terhadap jarak RFID.



Gambar 7. Fungsi fitness terhadap jarak RFID

3.5 Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah Optimasi

Evaluasi akhir dilakukan dengan membandingkan performa sistem sebelum dan sesudah penerapan PSO. Hasil perbandingan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Kinerja Sistem

Parameter	Sebelum PSO	Sesudah PSO	Peningkatan
Success Rate	60%	95%	35%
Response Time	0,59 s	0,43 s	27,1%

Parameter	Sebelum PSO	Sesudah PSO	Peningkatan
Fitness	0,636	0,923	45,1%
Jarak Efektif	4,2 cm	4,8 cm	14,3%

Berdasarkan Tabel 4, penerapan PSO menghasilkan peningkatan performa yang signifikan pada seluruh parameter evaluasi. Tingkat keberhasilan pembacaan RFID meningkat dari 60% menjadi 95%, menunjukkan bahwa konfigurasi hasil optimasi mampu mengurangi kegagalan autentikasi secara signifikan. Selain itu, waktu respons sistem berkurang sebesar 27,1%, sehingga proses akses menjadi lebih cepat dan nyaman bagi pengguna. Nilai fitness yang meningkat sebesar 45,1% mengindikasikan bahwa tujuan optimasi berhasil dicapai dengan baik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa Particle Swarm Optimization efektif digunakan untuk menentukan konfigurasi operasi optimal pada sistem keamanan pintu berbasis RFID dan ESP32. Dibandingkan penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada implementasi dan pengujian fungsional sistem, pendekatan optimasi berbasis swarm intelligence yang diusulkan mampu meningkatkan performa autentikasi RFID secara terukur melalui peningkatan success rate, perluasan jarak baca efektif, dan penurunan waktu respons sistem.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem keamanan pintu berbasis RFID menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi mekanisme optimasi berbasis Particle Swarm Optimization (PSO). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan autentikasi pengguna dan pengendalian akses pintu secara otomatis dengan baik, di mana sudut pembacaan 90° memberikan performa pembacaan RFID yang paling optimal. Penerapan algoritma PSO terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja sistem melalui optimasi parameter operasi RFID, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai fitness dari 0,636 menjadi 0,923, peningkatan success rate pembacaan RFID dari 60% menjadi 95%, peningkatan jarak baca efektif dari 4,2 cm menjadi 4,8 cm, serta penurunan waktu respons sistem dari 0,59 detik menjadi 0,43 detik. Hasil tersebut membuktikan bahwa pendekatan swarm intelligence mampu menghasilkan konfigurasi operasi yang lebih optimal dibandingkan pengaturan konvensional. Dengan demikian, integrasi PSO pada sistem keamanan pintu berbasis RFID dan ESP32 dapat menjadi solusi yang sederhana, ringan, dan efektif untuk meningkatkan keandalan, kecepatan, serta kualitas layanan sistem kontrol akses pada lingkungan berbasis Internet of Things (IoT). Untuk penelitian selanjutnya, optimasi dapat diperluas dengan mempertimbangkan parameter tambahan seperti orientasi antena, interferensi lingkungan, konsumsi energi, serta penerapan algoritma optimasi hibrida guna memperoleh performa sistem yang lebih adaptif dan robust.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Landaluce, L. Arjona, A. Perallos, F. Falcone, I. Angulo, & F. Muralter. "A review of IoT sensing applications and challenges using RFID and wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 20, no. 9, pp. 1-18, Apr. 2020, doi: 10.3390/s20092495
- [2] M. W. Salfian and M. W. Salfian, "Design of Door Security System using Rfid Based on IoT at Stmik Kaputama," *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 604–610, Oct. 2025, doi: 10.59934/jaiea.v5i1.1367.
- [3] M. Imran, M. Fikry, and S. Retno, "Enhancing Academic Security with RFID-Based Smart Locks and Real-Time Attendance Tracking System," *Proceedings of Malikussaleh*

- International Conference on Multidisciplinary Studies*, vol. 4, pp. 00032–00032, Dec. 2024, doi: 10.29103/micoms.v4i.950.
- [4] U. F. Hamidah, R. A. R, and A. Prasetyo, “Perancangan dan Implementasi Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis Teknologi RFID Tag Card untuk meningkatkan kamanan Akses Ruangan,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis*, pp. 1187–1193, July 2025, doi: 10.47701/7p12qw92.
- [5] N. A. Cahyani, H. Hartono, and U. Pratiwi, “Rancang bangun smart door double lock menggunakan sensor RFID dan piezoelektrik dengan home security detector berbasis IoT,” *Jurnal Teras Fisika*, vol. 7, no. 2, pp. 31–31, Nov. 2024, doi: 10.20884/1.jtf.2024.7.2.13231.
- [6] F. Habibi and M. Nasir, “Implementasi Sistem IoT Smart Lock Door Menggunakan Sensor RFID Pada Loker Mess PUSLATPUR,” May 2024, doi: 10.31539/intecoms.v7i2.9385.
- [7] M. A. Hanifullah and K. D. Irianto, “Smart Door Lock System: A Mobile Application Development Based on IoT Technology,” *International Journal Software Engineering and Computer Science*, vol. 5, no. 2, pp. 842–852, Aug. 2025, doi: 10.35870/ijsecs.v5i2.4898.
- [8] S. Ramadhani and D. P. Putri, “Design of a Home Door Security System Based on NodeMCU ESP32 Using a Magnetic Reed Switch Sensor and Telegram Bot Application,” *Sinkron : jurnal dan penelitian teknik informatika*, vol. 8, no. 4, pp. 2059–2068, Oct. 2023, doi: 10.33395/sinkron.v8i4.12688.
- [9] D. Fadlianda, M. Fikry, and Nunsina, “Innovative IoT-Based Automatic Gate System with RFID and Electro-Magnetic Lock for Secure Access,” *Proceedings of Malikussaleh International Conference on Multidisciplinary Studies*, vol. 4, pp. 00005–00005, Dec. 2024, doi: 10.29103/micoms.v4i.884.
- [10] S. Supekar, S. Velhal, G. Vyawahare, Prof. R. M. Malekar, and Mr. A. Magdum, “Office Access System using RFID and Smart Lock,” *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 252–256, Feb. 2024, doi: 10.48175/ijarsct-15548.
- [11] S. B. Kembaren, E. H. P. B. Gurning, and A. K. Yapie, “IOT Pada Purwarupa Sistem Keamanan Pintu Kantor Dengan Sensor RFID dan PIR Berbasis Telegram,” *Teknik*, vol. 3, no. 3, pp. 84–97, Nov. 2023, doi: 10.55606/teknik.v3i3.2510.
- [12] K. Gandhimathi, R. Praveena, D. Subalakshmi, V. Vishnupriya, V. Karpagam, & S. Sathiyapriya, “IoT based Smart Security System with Fingerprint Sensor for Access Control Monitoring,” *3rd International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things (ICoICI)*, pp. 1417-1422, Sep. 2025, IEEE. doi: 10.1109/ICoICI65217.2025.11253434
- [13] K. N. Sai, D. T. Sunil, & D.M. Eshwarappa, (2024). “A comprehensive review of door lock security systems. *Int. J. Circuit Comput. Networking*, 5(1), pp. 12-17, 2024.
- [14] T. Armindo, N. Nurfiana, D. Y. Setyawan, and N. H. Sudibyo, “Sistem Monitoring Kehadiran Mahasiswa Berbasis IoT,” *JIMU: Jurnal Ilmiah Multidisipliner*, vol. 2, no. 03, pp. 834–843, Aug. 2024, doi: 10.70294/jimu.v2i03.500.
- [15] P. T. Hastuti, B. Fitriandra, N. S. S. Dewi, and P. Pramono, “Dual Security System: Akses Pintu Berbasis Rfid Dan Kode Rahasia,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis*, pp. 1296–1301, July 2025, doi: 10.47701/32w10f27.