

ANALISIS KINERJA SISTEM KEAMANAN AKSES RUANGAN BERBASIS RFID MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

Abrani¹, Hari Purwadi², Rihartanto³

^{1,2}) Jurusan Teknologi Informasi, Teknik Komputer, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Cipto Mangun Kusumo, Gunung Panjang, Kec. Samarinda Seberang, Kota Samarinda,
Kalimantan Timur 75131

E-mail : ¹)Bransut015@gmail.com, ²)hari.purwa06@gmail.com ³)Rihart.polnes@gmail.com

ABSTRAK

Keamanan akses ruangan adalah salah satu kebutuhan penting dalam fasilitas perkantoran ataupun sekolah. Sistem kunci mekanik konvensional kurang mampu dalam hal pencatatan log serta pengaturan hak akses pengguna. Penelitian ini mengembangkan sistem keamanan ruangan berbasis RFID dengan menggunakan modul RFID RC522 dan ESP32 sebagai mikrokontroler untuk menganalisis performanya. Pada sistem ini terdapat fungsi pembacaan kartu RFID, pemrosesan ESP32, kontrol solenoid doorlock, LCD display, dan antarmuka web berbasis WiFi Access Point. Uji performa sistem terbagi menjadi tiga skenario, yaitu: (1) pengujian akurasi kartu dengan melakukan 30 kali percobaan membaca kartu, (2) pengujian delay sistem, dan (3) pengujian jarak baca sensor. Dari pengujian didapat akurasi sistem sebesar 100%, yang terdiri dari 27 percobaan kartu terdaftar yang seluruhnya berhasil mendapatkan akses (true positive) dan 3 percobaan kartu tidak terdaftar yang seluruhnya berhasil ditolak (true negative), tanpa ditemukan false positive maupun false negative. Rata-rata total delay adalah 29,83 ms dan jarak baca efektif sensor RFID RC522 adalah 1–5 cm. Berdasarkan hasil pengujian, sistem RFID berbasis ESP32 terbukti dapat membedakan kartu terdaftar dan tidak terdaftar secara konsisten, serta dapat dikontrol dari jarak jauh melalui antarmuka web tanpa ketergantungan pada jaringan eksternal, sehingga layak digunakan sebagai solusi keamanan akses ruangan yang efektif dan terjangkau.

Kata kunci : RFID, RC522, ESP32, IoT

ABSTRACT

Room access security is a crucial aspect in office and educational institution environments. Conventional mechanical lock systems have limitations in access log management and user access control. This study aims to analyze the performance of an RFID-based room access security system using the RC522 module and ESP32 microcontroller. The developed system integrates RFID card reading, data processing by ESP32, solenoid doorlock control via relay, LCD display, and a WiFi Access Point-based web interface. Testing was conducted through three scenarios: (1) card reading accuracy test with 30 trials, (2) system response time test, and (3) sensor reading distance test. Results show a system accuracy of 100%, comprising 27 registered card trials that were all granted access (true positive) and 3 unregistered card trials that were all correctly rejected (true negative), with no false positive or false negative detected. The average total system delay was 29.83 ms, and the effective reading range of the RFID RC522 sensor was 1–5 cm. These findings confirm that the ESP32-based RFID system consistently distinguishes registered and unregistered cards, and can be remotely monitored via a web interface without dependency on external network infrastructure, making it a feasible and cost-effective room access security solution.

Keywords : RFID, RC522, ESP32, IoT

1. PENDAHULUAN

Terlepas dari penggunaannya untuk ruang kantor, laboratorium, dan fasilitas pendidikan, keamanan akses ruangan adalah suatu kebutuhan, dan sistem semacam itu sering diterapkan. Sistem keamanan yang paling banyak digunakan saat ini masih menggunakan mekanisme penguncian konvensional, dan mekanisme penguncian konvensional itu sendiri juga menunjukkan berbagai risiko. Banyak masalah yang dapat dihadapi setiap hari termasuk risiko kehilangan kunci, risiko duplikasi kunci tanpa izin, masalah pengendalian akses yang baik dan kesulitan saat menjadi kasus banyak ke banyak, serta kekurangan pencatatan informasi akses.

Sejumlah pendekatan teknologi telah dirancang guna membantu mengatasi keterbatasan sistem kunci konvensional tersebut. Di antara beberapa teknologi yang sering digunakan meliputi keypad-based PIN system, fingerprint system, face recognition system, dan magnetic cards. Keempat teknologi tersebut memiliki kelebihan masing-masing namun tetap mempunyai beberapa keterbatasan. Keamanan sistem keypad terkadang dapat bocor karena sistem tersebut menggunakan kode akses, sedangkan biometrics based system seperti fingerprint dan face recognition memerlukan investasi yang mahal serta sensitif pada faktor eksternal seperti pencahayaan dan kebersihan sensor [1].

Ada beberapa penelitian sebelumnya yang telah menganalisis penggunaan RFID dalam sistem kontrol akses. Pada penelitian Widiyanto et al. [5] menciptakan sistem kontrol pintu menggunakan RFID berbasis Arduino yang dikombinasikan dengan web attendance app, namun sistem ini memiliki masalah pada kecepatan respons yang memiliki average delay yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan ESP32. Ramdhani et al. [6] memadukan modul RFID dengan cloud server berbasis AWS melalui NodeMCU ESP8266, namun sistem tersebut memerlukan koneksi internet eksternal yang tidak selalu ada di setiap tempat pelaksanaan sistem tersebut. Erika dan Elfizon [7] menggabungkan RFID dengan

fingerprint dan keypad berbasis ESP32, namun complexity sistem tersebut akan memberikan dampak terhadap biayanya dan kemudahan maintenance-nya. Tamam dan Romadhoni [8] membuat sistem RFID-RC522 menggunakan NodeMCU yang dilengkapi dengan notifikasi WhatsApp, namun sistem tersebut membutuhkan koneksi internet agar bisa berfungsi maksimal.

Meski banyak penelitian sebelumnya telah mencoba membangun sistem kontrol akses berbasis teknologi RFID, masih ditemukan beberapa kekurangan atau celah (gap) dari penelitian sebelumnya. Pertama, kebanyakan penelitian sebelumnya belum melakukan pengukuran terperinci terhadap waktu respon sistem tersebut sehingga penilaian performa sistem menjadi tidak objektif. Kedua, penelitian jarak baca sensor RFID belum banyak dan sistematis melalui berbagai variasi jarak sehingga faktor ini menjadi penting untuk pengetahuan sistem kontrol akses tersebut di lapangan [7][8]. Ketiga, belum ada penelitian pengembangan sistem berbasis antarmuka web dengan teknologi WiFi Access Point yang tidak bergantung pada koneksi internet eksternal.

Dari beberapa literatur yang ditemukan, sistem RFID RC522 yang dikombinasikan dengan mikrokontroler ESP32 mempunyai sejumlah keuntungan yang belum semua diaplikasikan. Mikrokontroler ESP32 mempunyai kinerja yang lebih baik daripada mikrokontroler Arduino dan NodeMCU ESP8266 dengan clock speed 240 MHz. Dengan memiliki kinerja yang lebih baik, ESP32 akan membuat sistem bekerja lebih cepat dari yang sebelumnya. Selain itu, ESP32 memiliki built-in WiFi Access Point sehingga sistem tidak lagi bergantung pada jaringan eksternal. Hal tersebut membuat sistem menjadi fleksibel dan lebih efisien.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Sistem

Penelitian ini menawarkan desain sistem keamanan akses ruangan berbasis RFID dengan tiga unsur kebaruan utama. Pertama, penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai

pusat pemrosesan untuk menggantikan Arduino dan NodeMCU ESP8266 yang lebih sering digunakan pada penelitian sebelumnya. Pemilihan ESP32 didasarkan pada kemampuan dual-core 240 MHz yang lebih tinggi serta penggunaan daya yang lebih hemat[15]. Kedua, sistem dirancang agar dapat bekerja secara independen melalui fitur WiFi Access Point bawaan ESP32 tanpa membutuhkan jaringan maupun koneksi internet eksternal, sehingga tetap dapat diterapkan pada area dengan keterbatasan akses jaringan [16]. Ketiga, sistem ini memiliki fitur pengukuran performa secara simultan dan real-time terhadap tiga parameter utama, yaitu tingkat akurasi pembacaan kartu, waktu respon sistem dalam satuan milidetik menggunakan fungsi millis(), serta jarak baca sensor. Kombinasi ketiga parameter pengujian tersebut belum ditemukan secara lengkap pada penelitian sebelumnya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menjadi pembeda dibanding penelitian terdahulu yang umumnya hanya menitikberatkan pada satu atau dua parameter pengujian tanpa analisis kuantitatif yang menyeluruh. Oleh sebab itu, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi berupa data empiris yang lebih komprehensif sebagai referensi untuk pengembangan sistem kontrol akses berbasis RFID pada penelitian berikutnya.

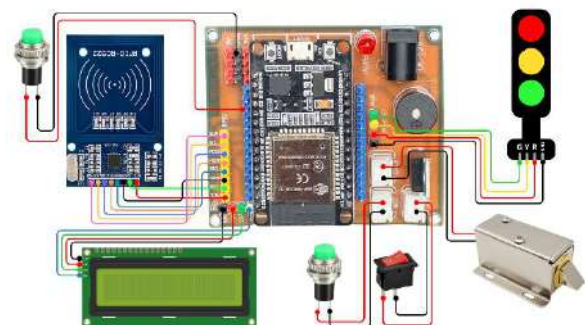
2.2 Komponen Sistem

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
ESP32	Dual-core 240 MHz, WiFi/BT	Unit pemrosesan utama
RFID RC522	13,56 MHz, SPI interface	Pembacaan kartu RFID
Kartu RFID Mifare	ISO 14443A, UID 4/7 byte	Identitas pengguna
Solenoid Doorlock	12V DC, normally closed	Pengunci pintu
LCD I2C	16x2 Address 0x27, 5V	Tampilan status sistem

Buzzer	5V aktif, pin 13	GPIO	Indikator audio
LED Merah/Hijau/ Kuning	5mm, 3.3V		Indikator visual akses
Relay Module	5V, channel	1	Pengendali solenoid

2.3 Rancangan Sistem

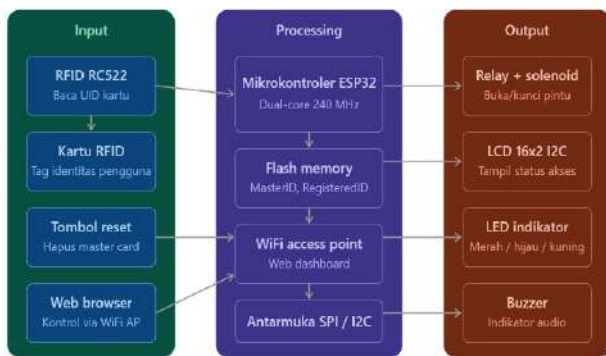
Konfigurasi sistem keamanan akses ruangan ini terdiri dari beberapa elemen yang saling terhubung. Biasanya, sistem ini dikategorikan menjadi tiga bagian utama: bagian input, bagian pemrosesan, dan bagian output. Bagian input mencakup modul RFID RC522 yang membaca ID unik kartu, tombol untuk mereset sistem utama, serta koneksi Wi-Fi yang disediakan oleh titik akses ESP32 yang berfungsi sebagai pengontrol berbasis web. Bagian pemrosesan terdiri dari mikrokontroler ESP32, yang menangani semua informasi masukan, memeriksa ID unik kartu dengan data yang disimpan di memori flash bawaan menggunakan perpustakaan Preferences, dan memutuskan apakah akses diizinkan atau ditolak. Bagian keluaran terdiri dari kunci pintu solenoid yang dikendalikan melalui modul relai, layar LCD I2C 16x2 untuk menampilkan status sistem secara real-time, LED tiga warna (merah, hijau, kuning), dan buzzer yang memberikan peringatan suara[4].



Gambar 1. Skematik Rangkaian

Semua komponen dihubungkan sesuai dengan susunan pin ESP32 yang spesifik, di mana modul RFID RC522 terhubung melalui antarmuka SPI pada pin RST (GPIO 17) dan SDA

(GPIO 5), kunci pintu solenoid terhubung ke GPIO 12 melalui relai, dan LCD bekerja dengan antarmuka I2C.



Gambar 2. Diagram Blok Rancangan Sistem

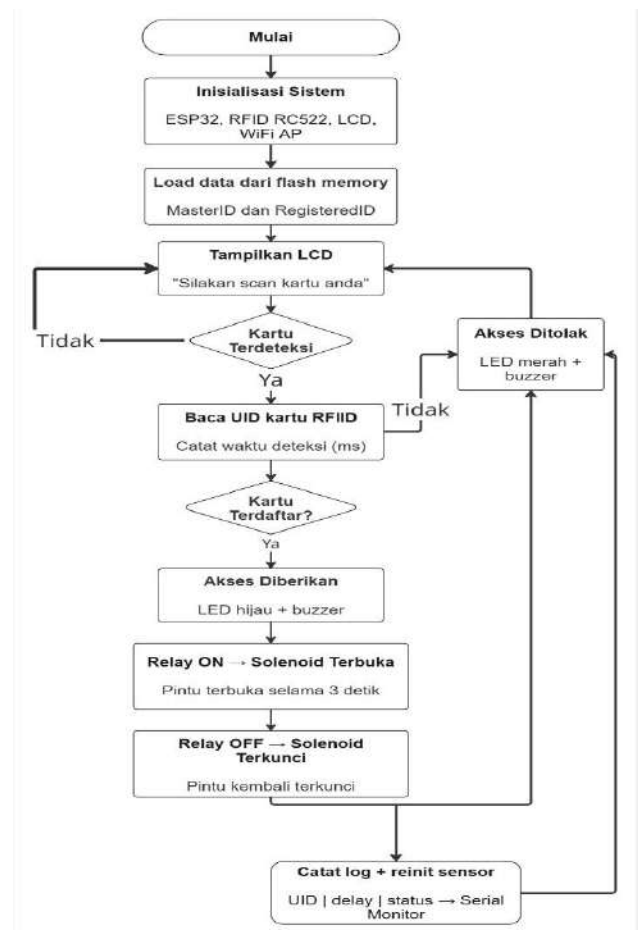
2.4 Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem dimulai ketika ESP32 menginisialisasi seluruh komponen pada saat pertama kali dinyalakan, meliputi modul RFID RC522, LCD, WiFi Access Point, serta pembacaan data kartu yang tersimpan dalam flash memory. Setelah inisialisasi selesai, sistem menampilkan pesan "Silahkan Scan Kartu Anda" pada LCD dan memasuki mode siaga untuk menunggu kartu didekatkan ke reader [2].

Ketika kartu RFID didekatkan, modul RC522 membaca UID kartu secara nirkabel melalui induksi elektromagnetik pada frekuensi 13,56 MHz, kemudian mengirimkan data tersebut ke ESP32 melalui protokol SPI untuk diproses [3]. ESP32 mencocokkan UID yang diterima dengan data RegisteredID dan MasterID yang tersimpan dalam flash memory. Jika UID sesuai, sistem memberikan akses dengan mengaktifkan relay sehingga solenoid doorlock terbuka selama tiga detik, disertai penyalan LED hijau dan bunyi buzzer sebagai indikasi keberhasilan [4]. Sebaliknya, jika UID tidak terdaftar, sistem menolak akses dengan menyalakan LED merah dan membunyikan buzzer dengan nada peringatan [5].

Setiap kejadian pemindaian dicatat dan ditampilkan melalui Serial Monitor Arduino IDE dalam format log yang mencakup nomor scan, UID kartu, delay deteksi, delay proses, total delay, dan status akses. Data log tersebut juga

dapat dipantau secara real-time melalui antarmuka web yang diakses melalui WiFi pada alamat IP yang ditampilkan sistem saat booting [10].



Gambar 3. Flowchart Sistem Keamanan Akses Ruang Berbasis RFID

2.5 Prosedur Pengujian

Uji sistem sistem dilakukan secara sistematis dengan melibatkan tiga skenario pengujian untuk mengetahui performa sistem. Pengujian ini dilakukan dalam kondisi lingkungan terkontrol dengan suhu ruangan normal dengan jarak pengujian yang diukur menggunakan penggaris dengan ketelitian 1 mm. Alat yang digunakan dalam pengujian meliputi satu unit sistem RFID berbasis ESP32, dua kartu RFID Mifare 1K yang memiliki UID yang berbeda sebagai kartu terdaftar dan satu kartu dengan UID yang tidak terdaftar sebagai kartu uji penolakan.

Skenario 1 - Uji Akurasi
 Uji akurasi ini dilakukan sebanyak 30 kali pengujian dengan prosedur sebagai berikut: (a) kartu didekatkan ke sensor RFID RC522 pada jarak 1-3 cm dengan orientasi tegak lurus terhadap permukaan antena reader; (b) sistem akan mendeteksi UID kartu dan akan mencocokkannya dengan database; (c) sistem memberikan output "Access Granted" jika terdeteksi kartu terdaftar dan "Access Rejected" jika kartu tidak terdaftar; (d) hasil tersebut dikatakan benar jika kartu terdaftar mendapatkan akses dan kartu yang tidak terdaftar mendapatkan penolakan akses. Akurasi sistem ini dihitung menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$A = \frac{n_b}{N} \times 100\% \quad (1)$$

Dalam melakukan validasi data pengujian akurasi, pengujian ini dilakukan bergantian antara kartu terdaftar dan kartu tidak terdaftar sebagai pencegahan bias pengujian. Setiap pengujian dilakukan dalam jeda waktu minimal 5 detik untuk mengecek bahwa sistem sudah kembali pada kondisi standby.

Skenario 2 - Uji Waktu Respon Sistem
 Uji waktu respons sistem ini dilakukan bersamaan dengan pengujian akurasi menggunakan fungsi millis() dari ESP32 yang dicatat melalui Serial Monitor Arduino IDE dalam baudrate 115200. Ada tiga parameter delay yang diukur secara simultan pada setiap pengujian: (a) delay deteksi kartu, selisih waktu dari saat sistem memasuki kondisi standby hingga kartu pertama kali terdeteksi oleh sistem; (b) delay proses akses, selisih waktu saat kartu terdeteksi hingga saat relay beroperasi; (c) total delay, merupakan penjumlahan keduanya. Pengujian dilakukan dengan memilih sampel secara acak dari 10 dari total 30 kali pengujian untuk representasi data keseluruhan. Rata-rata, minimum, dan maksimum dari data delay ditentukan untuk mengetahui konsistensi sistem.

Skenario 3 - Uji Jarak Pembacaan Sensor
 Untuk melakukan uji jarak ini, jarak dibandingkan antara permukaan kartu dan sensor RFID RC522 ini dimulai dari 1 cm hingga 10 cm. Dengan menggunakan 5 kali pengujian pada

jarak yang berbeda ini, pengujian dilakukan dengan cara sebagai berikut: (a) kartu diletakkan paralel atau tegak lurus dengan antena reader; (b) kartu didekatkan secara bertahap dari jarak yang telah ditentukan; (c) catatan dilakukan apakah sistem berhasil mendeteksi UID kartu atau tidak; (d) nilai delay deteksi pada setiap jarak turut dicatat untuk melihat pengaruh jarak terhadap kecepatan pembacaan. Jarak yang diuji adalah 1, 2, 3, 4, 5, 7, dan 10 cm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Akurasi Pembacaan Kartu

Pengujian akurasi dilakukan sebanyak 30 kali percobaan menggunakan dua jenis kartu RFID, yaitu kartu Mifare 1K (UID: 99 93 30 03 dan 05 8B 8A B5 8B D1 00) sebagai kartu terdaftar, serta kartu dengan UID D0 12 F8 5F sebagai kartu tidak terdaftar.

Tabel 1. Hasil Uji Akurasi Pembacaan Kartu

Pe rco ba an ke-	Jenis Kartu	UID Kartu	Hasil Sistem	Status
1	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil
2	Kartu Terdaftar	05 8B 8A B5 8B D1 00	Akses Diberikan	✓ Berha sil
3	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil
4	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil
5	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil
6	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil
7	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil

8	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil	25	Kartu Terdaftar	05 8B 8A B5 8B D1 00	Akses Diberikan	✓ Berha sil
9	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil	26	Kartu Terdaftar	05 8B 8A B5 8B D1 00	Akses Diberikan	✓ Berha sil
10	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil	27	Kartu Terdaftar	05 8B 8A B5 8B D1 00	Akses Diberikan	✓ Berha sil
11	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil	28	Kartu Tidak Terdaftar	D0 12 F8 5F	Akses Ditolak	✓ Berha sil
12	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil	29	Kartu Tidak Terdaftar	D0 12 F8 5F	Akses Ditolak	✓ Berha sil
13	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil	30	Kartu Tidak Terdaftar	D0 12 F8 5F	Akses Ditolak	✓ Berha sil
14	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
15	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
16	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
17	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
18	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
19	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
20	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
21	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
22	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
23	Kartu Terdaftar	99 93 30 03	Akses Diberikan	✓ Berha sil					
24	Kartu Terdaftar	05 8B 8A B5 8B D1 00	Akses Diberikan	✓ Berha sil					

Hasil uji akurasi pembacaan kartu RFID pada 30 kali percobaan ditampilkan pada Tabel 1. Kolom "Status" menunjukkan output yang seharusnya dihasilkan sistem berdasarkan status kartu, sedangkan kolom "Status" menunjukkan kesesuaian antara hasil sistem dengan ekspektasi tersebut. Dari 30 kali percobaan, seluruhnya menghasilkan output yang sesuai ekspektasi sehingga akurasi sistem adalah 100%.

Percobaan nomor 1 hingga 27 menggunakan kartu terdaftar dengan dua UID berbeda, yaitu 99 93 30 03 dan 05 8B 8A B5 8B D1 00, dan seluruhnya berhasil mendapatkan akses (true positive). Percobaan nomor 28 hingga 30 menggunakan kartu tidak terdaftar dengan UID D0 12 F8 5F, dan sistem secara konsisten menolak kartu tersebut sesuai dengan fungsi keamanan yang dirancang (true negative). Tidak ditemukan false positive maupun false negative selama keseluruhan pengujian, yang membuktikan bahwa sistem mampu membedakan kartu terdaftar dan tidak terdaftar secara andal dan konsisten.

3.2 Hasil Uji Waktu Respon Sistem

Pengujian waktu respon dilakukan bersamaan dengan uji akurasi menggunakan fungsi millis() pada ESP32.

Tabel 2. Hasil Uji Waktu Respon Sistem

Scan ke-	UID Kartu	Delay Deteksi (ms)	Delay Proses (ms)	Total Delay (ms)	Status
1	99 93 30 03	4	27	31	Cepat
2	05 8B 8A B5 8B D1 00	7	2	9	Cepat
3	99 93 30 03	3	28	31	Cepat
5	99 93 30 03	4	27	31	Cepat
10	99 93 30 03	4	27	31	Cepat
15	99 93 30 03	4	27	31	Cepat
20	99 93 30 03	4	27	31	Cepat
24	05 8B 8A B5 8B D1 00	6	2	8	Cepat
25	05 8B 8A B5 8B D1 00	6	27	33	Cepat
28	D0 12 F8 5F	3	28	31	Cepat
Rata-rata		4,13	24,70	29,83	-

Data dalam Tabel 2 adalah data waktu respon sistem dari 10 contoh yang diambil secara acak dari 30 kali eksperimen. Data dalam kolom "Delay Deteksi" adalah waktu sensor dalam mendeteksi adanya kartu selama sistem berada dalam kondisi standby, sedangkan data dalam kolom "Delay Proses" adalah waktu pemrosesan UID hingga relay aktif. Total delay adalah jumlah dari kedua nilai tersebut. Rata-rata total delay dengan nilai 29,83 ms sangat berada jauh dibawah ambang batas 100 ms yang merupakan standar sistem kontrol akses real-time, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem telah memiliki respon yang cukup responsif untuk digunakan pada sistem keamanan akses ruangan.

3.3 Hasil Uji Jarak Baca Sensor

Pengujian jarak baca dilakukan dengan memvariasikan jarak antara kartu dan sensor RFID RC522 pada rentang 1 hingga 10 cm. Setiap jarak diuji sebanyak 5 kali percobaan

Tabel 3. Hasil Uji Jarak Baca Sensor

Jarak (cm)	Percobaan	Hasil Baca	Delay (ms)	Ket
1	5x percobaan	Terbaca	4	OK
2	5x percobaan	Terbaca	3	OK
3	5x percobaan	Terbaca	4	OK
4	5x percobaan	Terbaca	4	OK
5	5x percobaan	Terbaca	3	OK
7	5x percobaan	Tidak Terbaca	-	Tidak OK
10	5x percobaan	Tidak Terbaca	-	Tidak OK

Hasil uji kemampuan membaca sensor RFID RC522 untuk tujuh variasi jarak dibagi menjadi 5 kali percobaan disajikan pada tabel 3. "Hasil Baca" pada tabel tersebut menunjukkan konstan pembacaan pada tiap varians jarak— "Terbaca" berarti semua 5 kali percobaan berhasil, sedangkan "Tidak Terbaca" berarti semua 5 percobaan tidak berhasil. Kemampuan membaca sensor dikonstan pada jarak 1-5 cm dengan delay detection average 3-4 ms. Untuk jarak 7 cm dan 10 cm, sensor tidak berhasil mendeteksi kartu untuk semua percobaan tersebut yang membuktikan bahwa jarak mencapai limit efektif jangkauan module RC522 sesuai spek. Data ini mengindikasikan bahwa jarak optimal ditempatkan reader pada sistem nyata adalah antara 2-4 cm.

3.4 Pembahasan

Sistem yang diterapkan dengan RFID RC522 dan ESP32 menunjukkan performa yang optimal dalam tiga parameter pengujian. Pengujian

akurasi terhadap 30 kali percobaan menghasilkan akurasi sistem sebesar 100%, yang terdiri dari 27 percobaan kartu terdaftar yang seluruhnya berhasil mendapatkan akses (true positive) dan 3 percobaan kartu tidak terdaftar yang seluruhnya berhasil ditolak (true negative). Tidak ditemukan false positive maupun false negative selama pengujian, yang mengonfirmasi bahwa sistem mampu membedakan kartu terdaftar dari kartu tidak terdaftar secara konsisten dan andal[2].

Nilai waktu respons rata-rata adalah 29,83 ms dengan nilai terkecil 8 ms dan terbesar 34 ms; semuanya berada di bawah batas nilai 100 ms. Oleh karena itu, sistem dikategorikan sebagai responsif dan cocok untuk aplikasi pengontrolan akses pada praktek. Dalam perspektif penggunaan ESP32, perbandingan terhadap rata-rata delay sebesar 45 ms pada penelitian Widiyanto et al. [5] menunjukkan perbaikan performa sebesar 33,7%. Ini dikarenakan tingkat clock dual core ESP32 yang lebih tinggi dan efisiensi dalam melakukan pemrosesan data melalui protokol SPI[12].

Jarak baca yang dimiliki module berada pada rentang 1 – 5 cm menurut spesifikasi teknis dari RC522. Keberadaan karakteristik ini merupakan nilai tambah dari sistem keamanan pada aspek peningkatan tingkat keamanan secara pasif dengan harus sengaja membawa kartu dekat ke reader, sehingga minim resiko pembacaan secara tak sengaja dari jarak jauh [13][14]. Selain itu, pengembangan antarmuka web berbasis WiFi Access Point pada ESP32 dapat memberikan fitur monitoring dan remote control tanpa infrastruktur jaringan eksternal [16][17].

Penelitian ini memiliki tiga kontribusi penting dalam pengembangan sistem keamanan akses berbasis RFID. Pertama, penelitian ini menyajikan data yang empiris berkaitan dengan performa sistem RFID RC522 berbasis ESP32 pada tiga aspek sekaligus yakni akurasi, waktu respon dan jarak baca secara serentak, yang belum dilakukan pada penelitian sebelumnya. Data tersebut dapat menjadi acuan yang kuantitatif bagi peneliti atau praktisi dalam merancang sistem kontrol akses serupa.

Kedua, penelitian ini telah menguraikan dan mengkonfirmasi modifikasi terhadap fungsi

library RFID dalam bentuk pemrograman tambahan dari fungsi `haltCard()` yang menyelesaikan masalah sensor freeze pascapembacaan pertama. Solusi teknologi tersebut sangat praktis dan dapat langsung ditiru pada sistem RFID RC522 dengan mikrokontroler berbasis Arduino atau ESP32 tanpa harus memodifikasi perangkat kerasnya.

Ketiga, arsitektur sistem berbasis WiFi Access Point lokal tanpa ketergantungan pada infrastruktur jaringan eksternal memberikan model implementasi yang lebih inklusif dan fleksibel, khususnya pada lokasi dengan keterbatasan akses jaringan. Dari aspek pengguna, nilai respons di bawah 100 ms secara psikologis dinilai instan, sehingga sistem memenuhi standar kenyamanan penggunaan dalam kondisi intensif seperti jam masuk dan jam pulang kerja.

Meskipun hasil pengujian menunjukkan performa yang memuaskan, terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini yang perlu disebutkan. Pertama, pengujian dilakukan dalam lingkungan terkontrol tanpa gangguan elektromagnetik eksternal. Pada implementasi di lingkungan dengan kepadatan perangkat elektronik tinggi, seperti ruang server atau area dengan banyak perangkat WiFi, performa sensor RFID RC522 diprediksi mengalami penurunan akurasi dan peningkatan delay. Kedua, sistem saat ini hanya dapat menyimpan satu kartu terdaftar secara bersamaan di flash memory ESP32, sehingga belum sepenuhnya scalable untuk lingkungan dengan jumlah pengguna yang besar seperti gedung perkantoran.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengevaluasi kinerja sistem keamanan akses ruangan terintegrasi berbasis mikrokontroler ESP32 dan modul RFID RC522, yang mencakup fungsi pembacaan kartu RFID, pengendalian kunci pintu solenoid melalui relay, tampilan status real-time melalui LCD 16x2, serta antarmuka web monitoring melalui fitur WiFi Access Point bawaan ESP32 tanpa ketergantungan pada jaringan eksternal.

Pengujian sistem dilakukan melalui tiga skenario terukur dengan hasil sebagai berikut:

Pertama, pengujian akurasi terhadap 30 percobaan menghasilkan akurasi sistem sebesar 100%. Hasil ini terdiri dari 27 percobaan menggunakan kartu terdaftar yang seluruhnya berhasil mendapatkan akses (true positive) dan 3 percobaan menggunakan kartu tidak terdaftar yang seluruhnya berhasil ditolak (true negative). Tidak ditemukan false positive maupun false negative selama pengujian, yang mengindikasikan bahwa sistem mampu membedakan kartu terdaftar dan tidak terdaftar secara konsisten dan andal.

Kedua, pengujian waktu respons sistem menggunakan fungsi `millis()` pada ESP32 menunjukkan rata-rata total delay sebesar 29,83 ms, dengan nilai minimum 8 ms dan nilai maksimum 34 ms. Seluruh hasil pengujian berada di bawah ambang batas 100 ms yang menjadi standar sistem kontrol akses real-time, sehingga sistem dapat dikategorikan responsif dan layak digunakan pada aplikasi pengendalian akses. Hasil ini juga menunjukkan peningkatan performa sebesar 33,7% dibandingkan sistem berbasis Arduino pada penelitian Widiyanto et al. yang mencatat rata-rata delay sebesar 45 ms.

Ketiga, pengujian jarak baca sensor RFID RC522 menunjukkan kemampuan pembacaan yang konsisten pada rentang 1–5 cm, sedangkan pada jarak 7 cm dan 10 cm kartu tidak dapat terdeteksi. Karakteristik jarak baca yang terbatas ini secara inheren berkontribusi sebagai mekanisme keamanan pasif, karena pengguna diwajibkan mendekatkan kartu secara fisik ke reader, sehingga meminimalkan risiko pembacaan kartu tanpa disengaja dari jarak jauh.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem keamanan akses ruangan berbasis RFID RC522 dan ESP32 yang dikembangkan dalam penelitian ini terbukti efektif, responsif, dan layak diimplementasikan sebagai solusi keamanan akses ruangan yang terjangkau, khususnya pada lingkungan dengan keterbatasan infrastruktur jaringan eksternal.

5. SARAN

Sistem yang dibuat dalam studi ini memiliki potensi untuk peningkatan. Studi mendatang dapat mempertimbangkan aspek berikut:

1. Sistem saat ini hanya dapat mendaftar dan menyimpan satu kartu. Dengan bantuan basis data eksternal atau cloud, fleksibilitas sistem dapat ditingkatkan dengan mengembangkan kapasitas penyimpanan kartu yang lebih besar.
2. Sistem mencatat aktivitas akses hanya selama periode aktifnya. Sistem akan ditingkatkan untuk audit dan pemantauan dengan menambahkan modul penyimpanan, seperti kartu SD, atau dengan mengintegrasikannya dengan server pencatatan.
3. Antarmuka web saat ini dapat diakses melalui koneksi WiFi lokal tanpa melakukan autentikasi pengguna. Hal ini akan meningkatkan keamanan antarmuka web secara keseluruhan.
4. Studi ini dilakukan dalam kondisi terkendali. Studi mendatang harus dilakukan di lingkungan dengan kondisi seperti interferensi elektromagnetik tinggi untuk mengevaluasi kekokohan sistem.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Wahyudi dan R. Setiawan, "Pengimplementasian RFID dalam Perkembangan Teknologi," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 2021.
- [2] F. Ardiansah, A. Alfariz, I. Hidayat, dan M. A. Fahreza, "Implementasi Sistem Akses Pintu Pintar Otomatis Menggunakan RFID-RC522 dan Arduino UNO untuk Kemudahan Pengguna," *Cloud Information Journal*, vol. 8, no. 2, hal. 1–4, 2023.
- [3] Espressif Systems, "ESP32 Technical Reference Manual," ver. 5.2, Espressif Systems, 2023. [Online]. Tersedia: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- [4] Zuriati, "Sistem Kontrol Keamanan Selenoid Doorlock Berbasis Arduino Pada Loker

- Penyimpanan," *Jurnal ROUTERS*, vol. 1, no. 2, hal. 11–18, Jul. 2023.
- [5] E. D. Widiyanto, A. Masruhan, dan A. B. Prasetyo, "Sistem Kontrol Pintu Ruang Kuliah Berbasis RFID dan Arduino Terintegrasi Aplikasi Web Presensi," *TELKA: Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, vol. 7, no. 2, hal. 77–88, 2021, doi: 10.15575/telka.v7n2.77-88.
- [6] V. Ramdhani, R. Hidayat, dan Hendrick, "Alat Keamanan Pintu Menggunakan E-KTP, Modul RFID dan AWS EC2 Berbasis NODEMCU ESP8266," *JITSI: Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, vol. 3, no. 1, hal. 30–35, 2022, doi: 10.62527/jitsi.3.1.60.
- [7] T. Erika dan E. Elfizon, "Sistem Keamanan Berlapis Pada Pintu Menggunakan RFID, Finger Print dan Keypad dengan Output Suara Berbasis Internet of Things ESP32," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 1, hal. 226–234, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.386.
- [8] M. T. Tamam dan R. Romadhoni, "Pengaman Pintu Gedung Otomatis Menggunakan E-KTP Berbasis NodeMCU dan RFID-RC522 dengan Notifikasi WhatsApp Application," *Journal of Telecommunication, Electronic and Control Engineering (JTECE)*, vol. 5, no. 1, hal. 22–30, 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i1.910.
- [9] M. G. Prakasa dan N. Syafitri, "Sistem Presensi dengan Fitur RFID dan Capture Citra Menggunakan NodeMCU dan ESP32-Cam," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektro, Teknik Telekomunikasi, dan Teknik Elektronika*, vol. 11, no. 2, hal. 310–321, 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i2.310.
- [10] I. D. A. Wirawibawa et al., "Pemanfaatan RFID MFRC522 dan Sistem Database untuk Pemantauan Akses Ruang dengan Identifikasi In dan Out," *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, vol. 11, no. 1, hal. 1–8, 2022.
- [11] M. A. J. Hidayat dan A. Z. Amrullah, "Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan NodeMCU ESP32," *Jurnal Saintekom: Sains, Teknologi, Komputer dan Manajemen*, vol. 12, no. 1, hal. 23–32, 2022, doi: 10.33020/sainstekom.v12i1.223.
- [12] R. H. Firmansyah dan C. Mukmin, "Sistem Smart Lock Door Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan ESP32," *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 6, no. 2, hal. 879–884, 2023.
- [13] I. P. Sari, A. H. Hazidar, M. Basri, F. Ramadhani, dan A. A. Manurung, "Penerapan Palang Pintu Otomatis Jarak Jauh Berbasis RFID di Perumahan," *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 1, hal. 16–25, Mei 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i1.246.
- [14] D. Saputra dan E. Meilinda, "Pengembangan Sistem Pengaman Pintu Gudang Menggunakan Metode R&D Berbasis RFID Mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Informatika dan Teknologi Pendidikan*, vol. 4, no. 1, hal. 18–31, 2024, doi: 10.25008/jitp.v4i1.75.
- [15] I. Maulana, E. Azriadi, dan J. Musrido, "Rancang Bangun Sistem Smart Door Lock Menggunakan Mikrokontroler ESP32 Berbasis Internet of Things (IoT) dan Smartphone Android," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 12, no. 4, hal. 2152–2156, 2023, doi: 10.22214/ijraset.2024.60280.
- [16] A. Fakhruddin, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Pintu Rumah Berbasis Internet of Things Dengan ESP32 dan Aplikasi Blynk," *E-Link: Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, 2024, doi: 10.30587/e-link.v19i1.7600.
- [17] A. Sucipto, S. A. Wulandari, A. F. Rosyady, F. R. Prasetya, B. Prayoga, D. A. Nugroho, dan A. F. Laila, "Penerapan Sistem Keamanan Otomatis Kunci Pintu Rumah dengan Microcontroller ESP32 Berbasis Website," *Journal of Electrical, Electronic, Mechanical, Informatic and Social Applied Science*, vol. 3, no. 1, hal. 1–8, 2024, doi: 10.58991/eemisas.v3i1.47.

- [18] T. L. Sofiyana dan A. Munazilin, "Pembuatan Prototype Smart Door Lock Menggunakan RFID (Radio Frequency Identification) dan Mikrokontroler Arduino," *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, vol. 2, no. 4, hal. 1753–1760, 2022, doi: 10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i4.5149.
- [19] R. Mu'arif et al., "Perancangan Sistem Akses Pintu Otomatis Menggunakan RFID Card," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB)*, 2023.
- [20] A. Ziad et al., "Development and Implementation of an ESP32 Microcontroller and Monitoring System for Smart Door Lock Using RFID Sensor for E-KTP ID and Fingerprint Based on the Internet of Things," *Proceedings of Malikussaleh International Conference on Multidisciplinary Studies (MICoMS)*, vol. 4, 2024, doi: 10.29103/micoms.v4.2024.