

Implementasi Algoritma RFID Pada Sistem Portal Parkir Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Kartu Tanda Mahasiswa Di Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

Imam Santoso^{1,*}, Raden Muh Sultoni²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Dirgantara Dan Industri Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 5 Desember 2024
Direvisi: 28 Januari 2025
Diterima: 25 Februari 2025

Kata kunci:

RFID
IoT
Portal Parkir Otomatis
ESP32
Response Time

Keywords:

RFID
IoT
Automatic Parking Gate
ESP32
Response Time

Penulis Korespondensi:

Imam Santoso
Email:
211023007@students.unsurya.ac.id

ABSTRAK

Sistem parkir yang efisien dan aman merupakan kebutuhan penting di lingkungan kampus, namun penerapan sistem manual masih menimbulkan antrean, keterlambatan, dan lemahnya kontrol keamanan. Berbagai penelitian sebelumnya telah memanfaatkan teknologi RFID dan IoT untuk otomatisasi parkir, namun sebagian besar belum mengintegrasikan validasi kartu berbasis Kartu Tanda Mahasiswa (KTM), pencatatan log real-time, serta sensor pendeteksi kendaraan untuk mencegah kesalahan penutupan portal. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan dan menguji sistem portal parkir otomatis berbasis IoT menggunakan algoritma RFID yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, sensor Vehicle Loop Detector (VLD), dan database web. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian fungsi, serta evaluasi performa menggunakan 50 sampel uji untuk response time dan akurasi validasi kartu. Parameter yang diuji mencakup waktu pembacaan RFID, waktu komunikasi jaringan, waktu kerja aktuatur, dan keberhasilan validasi kartu. Hasil pengujian menunjukkan waktu respon rata-rata 396,5 ms untuk proses autentikasi, dengan total waktu portal terbuka penuh sebesar 2,41 detik. Sistem juga mencapai akurasi validasi kartu sebesar 100% pada berbagai skenario (kartu terdaftar, tidak terdaftar, belum tap-in, atau belum tap-out). Temuan ini menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi, akurasi, dan keamanan pengelolaan parkir di lingkungan kampus serta dapat dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi mobile apps dan optimasi komunikasi IoT.

An efficient and secure parking system is essential in campus environments; however, manual processes still cause long queues, slow access, and weak security control. Previous studies have implemented RFID and IoT for parking automation, yet most have not integrated student-ID-based authentication, real-time logging, and vehicle detection sensors to prevent improper gate closure. This study aims to implement and evaluate an IoT-based automatic parking gate system using an RFID algorithm integrated with an ESP32 microcontroller, a Vehicle Loop Detector (VLD) sensor, and a web-based database. The methodology includes hardware-software design, functional testing, and performance evaluation using 50 test samples for response time and card-validation accuracy. The evaluated parameters include RFID reading time, network communication delay, actuator motion time, and card-validation success rate. Experimental results show an average authentication response time of 396.5 ms, with a total gate-opening time of 2.41 seconds. The system also achieved 100% card-validation accuracy across various scenarios (registered card, unregistered card, missing tap-in, and missing tap-out). These findings indicate that the system significantly improves efficiency, accuracy, and security in campus parking management and provides opportunities for further enhancement through mobile application integration and IoT communication optimization.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sistem parkir yang efisien, cepat, dan aman merupakan kebutuhan vital bagi lingkungan kampus modern yang memiliki tingkat mobilitas tinggi. Pada banyak institusi pendidikan, termasuk Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, sistem parkir yang masih mengandalkan pencatatan manual sering menimbulkan berbagai kendala seperti antrean panjang, proses validasi pengguna yang lambat, serta lemahnya pengawasan kendaraan. Kondisi tersebut berdampak langsung terhadap kenyamanan pengguna dan efektivitas pengelolaan area parkir. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi Radio Frequency Identification (RFID) dan Internet of Things (IoT) menjadi solusi potensial untuk mewujudkan sistem parkir otomatis yang akurat dan real-time. Teknologi RFID telah banyak dikembangkan pada berbagai sistem keamanan dan pengelolaan parkir. Abdullah menunjukkan bahwa RFID dapat meningkatkan efisiensi pencatatan kendaraan berbasis web [1], sementara Aditya dan Budi membuktikan keandalan komunikasi IoT melalui protokol MQTT untuk sistem keamanan parkir berbasis RFID [2]. Pengembangan sistem parkir otomatis juga diperluas oleh Dewa *et al.* yang menekankan kenyamanan pengguna melalui otomatisasi akses berbasis RFID [3], serta Gallant Smart dan Utomo yang mengimplementasikan ESP32 sebagai pusat kontrol pada sistem parkir otomatis di lingkungan industri [4]. Selain itu, beberapa penelitian lain turut mengintegrasikan RFID untuk kontrol akses di kampus [5], [6], namun sebagian besar belum menerapkan validasi menggunakan Kartu Tanda Mahasiswa (KTM), belum menyediakan pencatatan log parkir secara real-time, serta belum mengintegrasikan sensor Vehicle Loop Detector (VLD) untuk memastikan keamanan pembukaan dan penutupan portal secara tepat waktu.

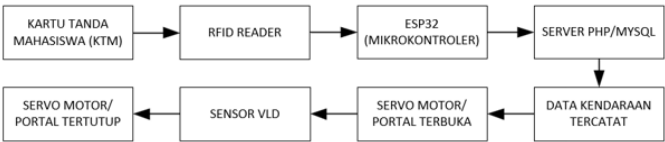
Meskipun penelitian terkait RFID dan IoT telah banyak dilakukan, beberapa celah masih ditemukan [7,8]. Mayoritas penelitian sebelumnya belum mendukung autentikasi resmi berbasis KTM sebagai identitas mahasiswa, padahal penggunaan kartu identitas resmi dapat meningkatkan akurasi validasi pengguna parkir. Selain itu, sistem yang telah dikembangkan pada penelitian terdahulu umumnya belum dilengkapi mekanisme pengamanan tambahan yang mencegah penutupan portal sebelum kendaraan melewati area aman, sehingga potensi kesalahan mekanis masih cukup besar. Penelitian-penelitian tersebut juga belum secara komprehensif mengevaluasi performa sistem dari aspek waktu respon, keterlambatan jaringan, dan akurasi validasi kartu dalam berbagai skenario tap-in dan tap-out yang terjadi di lingkungan kampus sehari-hari. Dengan demikian, terdapat kebutuhan signifikan untuk mengembangkan sebuah sistem parkir otomatis berbasis IoT yang tidak hanya mampu melakukan identifikasi RFID, tetapi juga menyediakan pencatatan data parkir real-time, integrasi sensor keselamatan, serta evaluasi performa secara kuantitatif.

Dalam konteks tersebut, penerapan algoritma RFID berbasis KTM yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 dan didukung sensor VLD menjadi pendekatan yang relevan untuk meningkatkan keandalan dan keamanan sistem parkir di Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. ESP32, dengan kemampuan komunikasi WiFi-nya, telah terbukti efektif dalam pengembangan perangkat IoT sebagaimana dibuktikan oleh Nurwijayanti dan Basyir pada sistem keamanan berbasis IoT [9]. Melalui integrasi antara perangkat keras—seperti RFID Reader RC522, sensor VLD, dan aktuator portal—dengan perangkat lunak berupa Application Programming Interface (API), database MySQL, dan dashboard monitoring, sistem parkir otomatis dapat bekerja secara cepat, terukur, dan aman.

Penelitian ini bertujuan mengatasi permasalahan sistem parkir manual yang masih berlaku di lingkungan kampus dan sekaligus mengisi kekurangan penelitian sebelumnya dengan mengembangkan sistem portal parkir otomatis berbasis IoT menggunakan algoritma RFID. Pengujian performa sistem dilakukan melalui evaluasi waktu respon, akurasi validasi kartu, dan keandalan proses tap-in serta tap-out berdasarkan data uji yang terintegrasi dengan database. Kontribusi penelitian ini meliputi implementasi autentikasi parkir berbasis KTM sebagai identitas resmi mahasiswa, pemanfaatan IoT untuk pencatatan data parkir secara real-time, penerapan sensor VLD sebagai sistem keselamatan portal, serta analisis kuantitatif performa sistem untuk menilai efektivitas dan efisiensi pengelolaan parkir kampus. Dengan pengembangan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menjadi model referensi bagi pengembangan sistem parkir otomatis yang lebih modern, aman, dan adaptif di lingkungan pendidikan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen rekayasa sistem tertanam (embedded system) dan Internet of Things (IoT) yang bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi kinerja sistem portal parkir otomatis berbasis RFID di lingkungan Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, serta jaringan internet untuk menghasilkan sistem kontrol akses yang bekerja secara real-time. Secara khusus, penelitian ini menerapkan metode kuantitatif terapan, di mana data hasil pengujian dikumpulkan melalui pengukuran langsung pada perangkat menggunakan parameter teknis seperti waktu respon, akurasi validasi kartu, dan kestabilan kerja aktuatur. Evaluasi statistik dilakukan untuk memperoleh gambaran kuantitatif mengenai keandalan sistem.



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

Tahap pertama penelitian adalah **analisis kebutuhan**, yang dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan utama pada sistem parkir manual di kampus dan menentukan spesifikasi teknis yang harus dipenuhi oleh sistem otomatis yang dikembangkan. Dari proses ini diperoleh persyaratan bahwa sistem harus mampu membaca kartu Kartu Tanda Mahasiswa (KTM) berbasis RFID, memverifikasi data melalui server, mengaktifkan aktuatur portal menggunakan sinyal validasi, memastikan keamanan melalui sensor Vehicle Loop Detector (VLD), serta mencatat seluruh aktivitas tap-in dan tap-out ke dalam database secara real-time. Analisis kebutuhan ini divisualisasikan pada *Diagram Blok Sistem* (Gambar 1 pada jurnal), yang menunjukkan hubungan antara komponen utama seperti RFID Reader, mikrokontroler ESP32, jaringan internet, server web, database, sensor VLD, dan aktuatur portal. Diagram blok tersebut menjelaskan alur data mulai dari pembacaan UID kartu hingga proses kontrol motor dan penyimpanan log ke database.

Tabel 1 Daftar Perangkat Keras

No	Nama Alat	Fungsi
1	ESP32	Mikrokontroler yang terhubung ke jaringan WiFi
2	RFID Reader RC522	Membaca UID dari kartu KTM berbasis RFID
3	Kartu KTM Mahasiswa	Sebagai identitas pengguna (tag RFID)
4	Barrier Gate E10	Penggerak PORTAL parkir
5	Kabel Penghubung	Media penghubung antar komponen
6	LCD 16x2 / LED Indicator	Menampilkan status verifikasi kartu
7	Sensor Vehicle Loop Detector	Mendeteksi posisi kendaraan
8	Power Supply 5V	Catu daya bagi perangkat

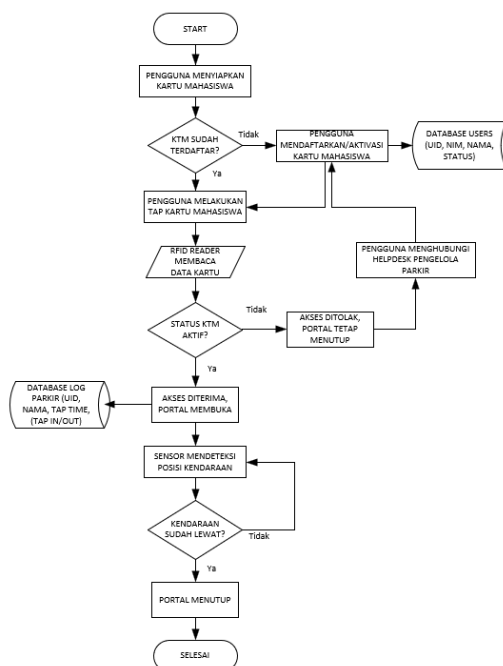
Tahap kedua adalah **perancangan sistem**, yang meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Pada sisi perangkat keras, penelitian menggunakan beberapa komponen utama yang tercantum pada Tabel 1 (Daftar Perangkat Keras), seperti ESP32 sebagai mikrokontroler pusat, RFID Reader RC522 untuk membaca UID kartu, Barrier Gate E10 sebagai aktuatur portal, dan sensor VLD untuk mendeteksi kendaraan yang telah melewati portal. Tabel ini memberikan informasi rinci mengenai spesifikasi setiap perangkat yang berfungsi dalam proses identifikasi, komunikasi, dan eksekusi mekanik. Sementara itu, Tabel 2 menyajikan daftar perangkat lunak yang digunakan, antara lain Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, MySQL untuk pengelolaan database, dan API berbasis PHP sebagai penghubung antara ESP32 dan server. Bagian ini didukung oleh struktur database

yang ditunjukkan pada gambar Desain Database, yang terdiri dari tabel *pengguna* dan *log_parkir*, masing-masing berfungsi untuk menyimpan identitas pengguna dan riwayat aktivitas parkir.

Tabel 2 Daftar Perangkat Lunak

No	Nama Software	Keterangan
1	Arduino IDE	Pemrograman ESP32 dan pengujian awal
2	MySQL	Sistem manajemen basis data
3	PHP dan Apache (XAMPP)	Server lokal dan pembuatan API
4	Adobe Dreamweaver	Editor kode PHP dan HTML
5	Web Browser	Menjalankan dashboard monitoring sistem

Selanjutnya, perancangan algoritma sistem dijelaskan melalui *Flowchart Sistem* (Gambar 2). Flowchart tersebut menunjukkan alur logika utama yang dimulai dari proses pengecekan status pendaftaran kartu, pembacaan UID oleh RFID Reader, pengiriman UID ke server melalui protokol HTTP, proses verifikasi data di server, penerimaan respons validasi oleh ESP32, hingga aktivasi portal jika kartu dinyatakan valid. Flowchart juga menggambarkan integrasi sensor VLD yang bertugas memastikan bahwa portal hanya menutup ketika kendaraan telah benar-benar melewati area aman. Penjelasan detail mengenai alur tersebut merupakan bagian penting dari metodologi karena menjadi dasar implementasi program pada mikrokontroler.



Gambar 2 Flowchart sistem portal parkir otomatis

Tahap berikutnya adalah implementasi sistem, yang mencakup pemrograman mikrokontroler ESP32, perakitan perangkat keras, serta integrasi perangkat dengan server web dan database. Script pemrograman ESP32 ditulis menggunakan Arduino IDE dan disusun berdasarkan algoritma yang telah divisualisasikan pada diagram dan flowchart. Di bagian ini, *Tabel 3* pada jurnal memuat konfigurasi pin ESP32 dengan komponen lain seperti RFID Reader, relay driver, dan sensor VLD. Tabel tersebut memberikan uraian penting mengenai koneksi fisik antarperangkat agar mikrokontroler dapat menangani fungsi-fungsi digital dan analog yang diperlukan. Selain itu, implementasi API pada server memungkinkan ESP32 mengirimkan data UID dan menerima respons validasi secara cepat. API berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara perangkat IoT dan database MySQL yang menyimpan data log.

Tabel 3 Konfigurasi pin ESP32

Perangkat	Fungsi	GPIO ESP32
RFID MFRC522	SS (SDA)	5
RFID MFRC522	RST	4
SPI	SCK, MOSI, MISO	18, 23, 19
Relay Portal	Output	25
Sensor VLD	Input	33
LCD I2C (default)	SDA, SCL	21, 22

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dan algoritma bekerja sesuai dengan perancangan yang telah ditetapkan. Tahapan pengujian dimulai dengan uji fungsi, yaitu pengujian setiap komponen secara individual seperti RFID reader, koneksi WiFi pada ESP32, respons aktuator servo atau motor penggerak portal, serta kemampuan sistem mengakses database. Pengujian fungsi ini bertujuan memastikan bahwa setiap bagian perangkat keras dan perangkat lunak dapat beroperasi secara mandiri sebelum diintegrasikan. Setelah itu dilakukan uji integrasi, yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja komponen ketika dihubungkan dan dijalankan secara bersamaan, termasuk alur pembacaan UID, pengiriman data ke server, validasi pada database, dan aktivasi portal. Tahap berikutnya adalah uji respons untuk mengukur waktu respon sistem, yaitu selang waktu sejak kartu ditap pada RFID reader hingga portal mulai bergerak membuka. Pengujian ini sangat penting untuk menilai kecepatan sistem dalam melayani akses masuk pengguna. Selain itu, dilakukan pula uji akurasi dan keamanan untuk memastikan sistem hanya menerima kartu yang terdaftar dan menolak kartu tidak valid atau kartu yang belum melakukan proses tap-in atau tap-out sesuai prosedur. Pengujian sensor juga dilakukan guna memastikan bahwa portal hanya menutup setelah kendaraan benar-benar melewati area sensor, sehingga tidak terjadi kesalahan penutupan yang dapat membahayakan pengguna.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui beberapa pendekatan. Metode pertama adalah observasi langsung terhadap proses kerja sistem untuk melihat bagaimana setiap komponen merespons input secara nyata di lapangan. Metode kedua adalah eksperimen dengan melakukan uji coba pada berbagai kondisi, seperti pengujian menggunakan kartu valid, kartu tidak terdaftar, serta pengujian dalam kondisi gangguan jaringan untuk mengetahui ketahanan sistem terhadap variasi lingkungan operasional. Selain itu, dokumentasi dilakukan secara sistematis melalui pencatatan log sistem, penyimpanan data waktu eksekusi, serta pengambilan tangkapan layar proses validasi dan aktivitas portal guna memastikan seluruh kejadian terekam dengan baik dan dapat dianalisis kembali.

Data yang diperoleh dari seluruh pengujian kemudian dianalisis menggunakan metode kuantitatif deskriptif. Analisis ini meliputi perhitungan tingkat keberhasilan identifikasi kartu untuk mengetahui akurasi pembacaan dan validasi sistem. Selanjutnya, dihitung rata-rata waktu respon sistem sebagai indikator performa dalam memberikan akses kendaraan. Analisis juga mencakup identifikasi tingkat kesalahan yang mungkin terjadi, seperti pembacaan yang gagal atau keterlambatan komunikasi jaringan, dan menguraikan penyebab kesalahan tersebut. Selain itu, hasil implementasi dibandingkan dengan tujuan awal penelitian untuk memastikan bahwa sistem telah memenuhi spesifikasi kinerja yang ditetapkan pada tahap perancangan. Melalui proses analisis ini, efektivitas sistem dapat dievaluasi secara menyeluruh dan objektif.

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem portal parkir otomatis berbasis IoT menggunakan algoritma RFID berhasil diimplementasikan dengan baik pada area parkir sepeda motor Kampus A Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Implementasi sistem melibatkan integrasi antara komponen perangkat keras seperti ESP32, RFID Reader RC522, aktuator barrier gate E10, serta sensor Vehicle Loop Detector (VLD), yang seluruhnya diuji secara fungsional, integratif, dan melalui analisis performa untuk memastikan responsivitas dan akurasi sistem.

Kinerja sistem diawali dengan proses integrasi perangkat keras, yang penjelasannya dapat dilihat pada *Tabel 3* mengenai konfigurasi pin ESP32. Tabel tersebut menunjukkan pemetaan pin antara ESP32 dengan komponen lain, seperti koneksi pin SPI untuk RFID Reader RC522, pin digital untuk

kontrol relay penggerak portal, dan pin input untuk sensor VLD. Konfigurasi yang tepat menjadi dasar keberhasilan integrasi sistem, karena ESP32 harus mengenali sinyal input RFID dan sensor serta mengeluarkan sinyal output secara akurat untuk menggerakkan portal. Hasil uji fungsi pada tahap ini menunjukkan bahwa seluruh perangkat dapat menjalankan fungsinya masing-masing tanpa hambatan.

Tabel 3 Konfigurasi pin ESP32

Perangkat	Fungsi	GPIO ESP32
RFID MFRC522	SS (SDA)	5
RFID MFRC522	RST	4
SPI	SCK, MOSI, MISO	18, 23, 19
Relay Portal	Output	25
Sensor VLD	Input	33
LCD I2C (default)	SDA, SCL	21, 22

Hasil pengujian respons sistem menjadi salah satu fokus utama penelitian, khususnya dalam mengukur waktu respon dari proses tap kartu hingga portal mulai terbuka. *Tabel 4* memuat data hasil pengujian waktu respons menggunakan metode pencatatan internal ESP32 melalui fungsi *millis()*, yang mencatat waktu pembacaan kartu RFID, waktu komunikasi jaringan ke server, dan waktu pemrosesan logika program. Berdasarkan tabel tersebut, waktu pembacaan RFID rata-rata berada pada kisaran 22,78 ms dan bersifat relatif stabil, sedangkan waktu komunikasi jaringan memiliki variasi signifikan dengan rata-rata sekitar 396,56 ms. Variasi ini disebabkan oleh fluktuasi kualitas jaringan WiFi yang digunakan oleh ESP32[11]. Hasil pengukuran total waktu respon melalui sistem menghasilkan rata-rata 396,5 ms sebelum aktuator portal bergerak.

Tabel 4 Data hasil pengujian sistem

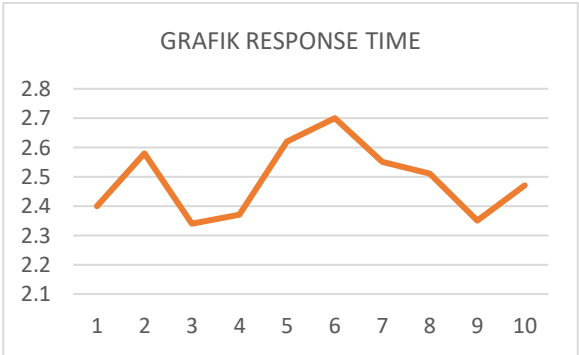
id	uid_kartu	delay_rfid_read	delay_network	delay_relay	total_delay_ms	status_respon	raw_respon	created_at
35	FD49B42	23	405	500	405	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:08
36	835FE3	23	379	500	379	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:08
37	3696174	23	384	500	384	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:08
38	ED754C5	23	379	500	379	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:09
39	FD49B42	23	396	500	396	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:10
40	835FE3	23	385	500	385	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:10
41	3696174	23	383	500	383	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:10
42	ED754C5	22	380	500	380	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:10
43	FD49B42	23	525	500	525	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:13
44	835FE3	23	374	500	374	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:13
45	3696174	23	378	500	378	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:13
46	ED754C5	23	396	500	396	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:13
47	ED754C5	23	417	500	417	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:14
48	3696174	23	408	500	408	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:14
49	835FE3	23	381	500	381	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:14
50	FD49B42	23	374	500	374	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 15:15
51	ED754C5	23	480	0	480	ALREADY_OUT	ALREADY_OUT	8/9/2025 17:01
52	ED754C5	23	398	500	398	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:04
53	835FE3	23	373	500	373	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:04
54	FD49B42	23	370	500	370	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:04
55	3696174	23	386	500	386	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:04
56	3696174	23	326	500	326	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:05
57	FD49B42	22	393	500	393	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:06
58	FD49B42	22	401	0	401	ALREADY_IN	ALREADY_IN	8/9/2025 17:06
59	3696174	23	371	0	371	ALREADY_IN	ALREADY_IN	8/9/2025 17:06
60	835FE3	22	420	500	420	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:24
61	ED754C5	22	454	500	454	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:30
62	ED754C5	23	330	500	330	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:48
63	835FE3	23	375	500	375	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:48
64	3696174	22	392	500	392	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:48
65	FD49B42	23	369	500	369	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:48
66	835FE3	23	342	500	342	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:55
67	835FE3	23	479	0	479	ALREADY_OUT	ALREADY_OUT	8/9/2025 17:56
68	ED754C5	23	440	500	440	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 17:56
69	3696174	23	503	500	503	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:03
70	3696174	23	388	0	388	ALREADY_OUT	ALREADY_OUT	8/9/2025 18:03
71	FD49B42	23	389	500	389	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:05
72	835FE3	23	380	500	380	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:06
73	3696174	22	531	500	531	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:06
74	ED754C5	23	388	500	388	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:06
75	FD49B42	23	381	500	381	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:07
76	835FE3	23	345	500	345	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:11
77	FD49B42	22	379	500	379	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:11
78	FD49B42	22	381	0	381	DENIED_0	DENIED_0	8/9/2025 18:13
79	FD49B42	22	381	0	381	DENIED_0	DENIED_0	8/9/2025 18:13
80	ED754C5	22	381	500	381	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:13
81	835FE3	23	402	500	402	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:13
82	835FE3	23	390	500	390	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:15
83	ED754C5	23	382	0	382	ALREADY_OUT	ALREADY_OUT	8/9/2025 18:15
84	3696174	23	384	500	384	GRANTED	GRANTED	8/9/2025 18:17
RATA-RATA		22.78	396.56	420	396.56	JUMLAH DATA		50

Untuk memverifikasi akurasi pengujian internal, dilakukan pula pengujian manual menggunakan stopwatch sebanyak 10 kali percobaan, sebagaimana tercatat dalam Tabel 5. Tabel ini menunjukkan waktu total yang dibutuhkan dari saat kartu ditap hingga portal terbuka penuh, termasuk waktu mekanis aktuator yang rata-rata memerlukan sekitar 2 detik untuk membuka palang secara penuh. Berdasarkan data tersebut, diperoleh waktu rata-rata 2,48 detik untuk keseluruhan proses. *Gambar 3* menampilkan grafik hasil uji menggunakan stopwatch, yang memperlihatkan keseragaman pola waktu respon antar percobaan dengan variasi yang sangat kecil. Perbandingan antara hasil pengukuran sistem internal (2,41 detik) dan stopwatch (2,48 detik) menunjukkan perbedaan hanya 0,07 detik. Perbedaan tersebut sangat kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi pengukuran waktu yang sangat baik dan konsisten.

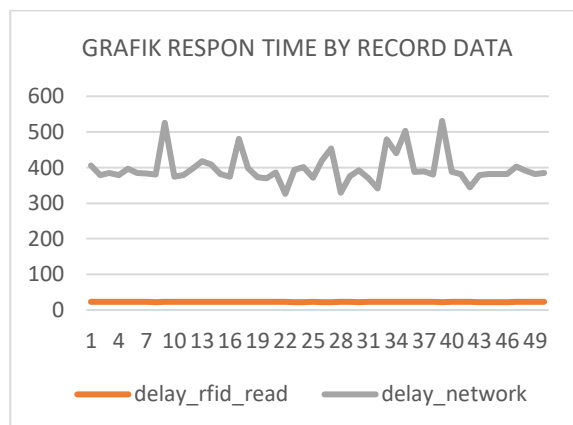
Tabel 5 Hasil uji menggunakan stopwatch

Percobaan ke-	UID Kartu	Status Pembacaan	Selisih Waktu Tap hingga Terbuka penuh (s)
1	FD49B42	Berhasil	2.40
2	835EFE3	Berhasil	2.58
3	3696174	Berhasil	2.34
4	ED754C5	Berhasil	2.37
5	FD49B42	Berhasil	2.62
6	835EFE3	Berhasil	2.70
7	3696174	Berhasil	2.55
8	ED754C5	Berhasil	2.51
9	FD49B42	Berhasil	2.35
10	835EFE3	Berhasil	2.47
Rata-rata			2.48

Untuk memperkuat analisis statistik, dilakukan perhitungan respon time berbasis data sistem yang disajikan pada Tabel 6. Tabel ini memuat nilai rata-rata dan standar deviasi hasil pengujian 50 sampel pengukuran. Standar deviasi sebesar 45,21 ms menunjukkan bahwa fluktuasi waktu respon masih berada dalam batas wajar untuk sistem berbasis jaringan IoT. Grafik hasil pencatatan waktu respon pada *Gambar 4* memperlihatkan variasi delay jaringan yang relatif konstan di sekitar nilai rata-rata, dengan sesekali terjadi peningkatan delay yang dipengaruhi oleh kondisi koneksi WiFi di lingkungan pengujian. Secara keseluruhan, analisis ini menegaskan bahwa waktu respon sistem stabil dan memenuhi kebutuhan akses cepat pada sistem parkir kampus[12,13].



Gambar 3 Grafik uji respon time dengan stopwatch



Gambar 4 Grafik respon time dengan pencatatan record data

Tabel 6 Statistik Response Time Sistem

Parameter	Delay RFID (ms)	Delay Network (ms)	Delay Relay (ms)	Total Delay (ms)
Rata-rata	22.78	396.56	420.00*	396.56
Median	23	384.5	500	384.5
Std Deviasi	0.42	45.21	158.11	45.21
Minimum	22	326	0	326
Maksimum	23	531	500	531
IQR	0	31.25	500	31.25

Selain respons sistem, pengujian akurasi pembacaan kartu juga dilakukan untuk memastikan sistem dapat memverifikasi status kartu secara tepat pada berbagai kondisi. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan 50 sampel percobaan yang mencakup kartu yang valid, kartu tidak terdaftar, kartu yang tidak melakukan tap-in namun mencoba keluar, dan kartu yang belum melakukan tap-out namun mencoba masuk kembali. Hasil pengujian yang disajikan pada *Tabel 7* dan *Tabel 8* menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai akurasi 100% pada seluruh skenario, tanpa adanya kesalahan identifikasi maupun kesalahan logika. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma validasi yang diterapkan pada sistem, termasuk pengecekan status tap-in dan tap-out, telah berjalan dengan benar dan sesuai dengan *flowchart* sistem. Selain itu, penggunaan sensor VLD terbukti efektif dalam meningkatkan aspek keselamatan, karena portal baru menutup setelah sensor mendeteksi kendaraan telah melewati area aman.

Tabel 7 Tabel hasil uji validasi dan akurasi kartu

Kondisi	Jumlah sampel percobaan	Portal Terbuka	Portal Tidak Terbuka	Akurasi (%)
Semua Kondisi	50	50	0	100
Kartu Terdaftar	48	48	0	100
Kartu Tidak Terdaftar	2	0	2	100
Belum Tap Masuk	4	0	4	100
Belum Tap Keluar	2	0	2	100

Tabel 8 Tabel kondisi dan respon sistem

KONDISI	STATUS RESPON	RESPON PORTAL
Kartu Terdaftar	GRANTED	Portal terbuka
Kartu Tidak Terdaftar	DENIED_0	Portal tetap tertutup
Belum Tap Masuk	ALREADY_OUT	Portal tetap tertutup
Belum Tap Keluar	ALREADY_IN	Portal tetap tertutup

Dari seluruh hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki tingkat responsivitas tinggi, stabilitas baik dalam komunikasi jaringan, serta akurasi yang sangat tinggi dalam proses validasi kartu. Integrasi antara mikrokontroler ESP32, RFID, sensor VLD, dan sistem database

secara keseluruhan menunjukkan performa yang memadai untuk diterapkan di lingkungan kampus. Meskipun demikian, hasil pengamatan menunjukkan bahwa faktor jaringan menjadi salah satu aspek yang dapat memengaruhi waktu respon, sehingga optimasi jaringan atau penggunaan protokol komunikasi yang lebih efisien dapat menjadi fokus penelitian berikutnya. Hasil ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi, keamanan, dan akurasi pengelolaan parkir di kampus, sekaligus memberikan kontribusi signifikan dalam penerapan teknologi IoT untuk sistem transportasi cerdas.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian pengujian dan analisis yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem portal parkir otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan algoritma RFID dengan memanfaatkan Kartu Tanda Mahasiswa (KTM) sebagai media autentikasi utama. Integrasi antara perangkat keras, yaitu ESP32, RFID Reader RC522, sensor Vehicle Loop Detector (VLD), dan aktuator portal, serta perangkat lunak berupa API, database MySQL, dan dashboard monitoring, menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan responsif sesuai rancangan. Hasil evaluasi performa sistem menunjukkan bahwa waktu respon proses autentikasi memiliki rata-rata 396,5 ms, dengan total waktu pembukaan portal sebesar 2,41 detik yang sejalan dengan hasil pengujian manual sebesar 2,48 detik. Selain itu, pengujian validasi kartu menunjukkan akurasi mencapai 100% pada seluruh skenario, termasuk kartu valid, kartu tidak terdaftar, pengguna yang belum melakukan tap-in, dan pengguna yang belum melakukan tap-out. Hal ini menegaskan bahwa algoritma validasi dan logika sistem telah berjalan secara konsisten dan dapat diandalkan untuk meningkatkan keamanan akses kendaraan di area parkir kampus.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem parkir otomatis di lingkungan pendidikan, khususnya melalui penggunaan KTM sebagai identitas resmi, penerapan pencatatan log parkir secara real-time, serta peningkatan aspek keselamatan melalui sensor VLD yang memastikan portal hanya menutup setelah kendaraan benar-benar lewat. Sistem yang dikembangkan terbukti efektif dalam mengurangi potensi antrean, meminimalkan kesalahan pencatatan, dan meningkatkan ketertiban pengelolaan parkir. Meskipun demikian, beberapa keterbatasan masih ditemui, terutama pada sisi kestabilan komunikasi jaringan yang berpengaruh terhadap variasi waktu respon sistem. Selain itu, penelitian belum mengevaluasi performa sistem pada kondisi beban tinggi, seperti banyaknya pengguna yang melakukan tap-in secara bersamaan atau ketika koneksi jaringan berada pada kondisi ekstrem.

Dengan mempertimbangkan hasil dan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengoptimalkan protokol komunikasi IoT yang lebih andal, mengimplementasikan sistem redundansi jaringan, serta mengembangkan integrasi dengan aplikasi mobile untuk memperluas fungsi monitoring dan manajemen parkir. Selain itu, pengujian dalam skala lebih besar dengan melibatkan variasi kondisi lingkungan dan jumlah pengguna yang lebih banyak diperlukan agar sistem dapat divalidasi untuk implementasi jangka panjang. Secara keseluruhan, sistem portal parkir otomatis yang dikembangkan dalam penelitian ini telah memenuhi tujuan dan spesifikasi yang ditetapkan, serta memberikan manfaat nyata bagi peningkatan efisiensi dan keamanan pengelolaan parkir di kampus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah, F. Z. F. (2024). Penggunaan RFID sistem informasi parkir berbasis web. *Nuansa Informatika*, 18(1), 121–127. <https://doi.org/10.25134/ilkom.v18i1.86>
- [2] Aditya, R. A., & Budi, A. S. (2023). Prototipe sistem keamanan parkir berbasis RFID dengan protokol MQTT. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(7), 3287–3295.
- [3] Alfian. (2016). Perancangan sistem parkir otomatis menggunakan Arduino Uno dan sensor infrared (Skripsi). Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

- [4] Dewa, A. A., Samsugi, S., & Styawati, S. (2024). Penerapan teknologi RFID dalam pengelolaan parkir otomatis untuk peningkatan kenyamanan pengguna parkir. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(4), 1477–1484. <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i4.1586>
- [5] Gallant Smart, V., & Utomo, I. C. (2025). System smart parking berbasis mikrokontroler ESP32 dan RFID untuk otomatisasi akses parkir di PT. Glory Industrial Semarang. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 5(7), 2055–2067. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.899>
- [6] Nurwijayanti, K. N., & Basyir, A. (2022). Perancangan sistem keamanan pintu ruangan otomatis menggunakan RFID berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Ilmiah MATRIK*, 24(1), 13–22. <https://doi.org/10.33557/matrik.v24i1.1705>
- [7] <https://doi.org/10.33557/matrik.v24i1.1705>
- [8] Ramadhan, M. R., Lesmana, R. K., Siregar, F. S., Ridho, R., & Isnani, M. H. I. (2023). Rancangan teknologi RFID gerbang parkir pada UINSU Medan. *Jurnal Sains dan Teknologi (JSIT)*, 3(1), 12–18. <https://doi.org/10.47233/jsit.v3i1.464>
- [9] Rachmadi, T. (2020). *Mengenal apa itu Internet of Things (IoT)*. Jakarta: Penerbit Informatika.
- [10] Sahali, I. R., Anshar, M., & Arfah, Z. (2023). Implementasi otomasi sistem palang parkir berbasis teknologi RFID pada lahan parkir Rektorat Unhas. *Jurnal Eksitasi Departemen Teknik Elektro*, 2(1).
- [11] Santoso, B., & Bay, R. B. D. (2022). Penerapan teknologi RFID pada sistem monitoring antrean parkir di Universitas Amikom Yogyakarta. *JUSTIN (Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi)*, 10(4). <https://doi.org/10.26418/justin.v10i4.46716>