

Perancangan Sistem Parkir Motor Otomatis Berbasis RFID dengan Deteksi Keluar Ultrasonik pada Kondisi Slot Penuh

Penny Armita Ghalia¹, Muhammad Gald Teary², Fery Antony³

Program Studi Sistem Komputer UNIVERSITAS INDO GLOBAL MANDIRI

Jl. Jend Sudirman No. 629, Palembang 30129, Sumatera Selatan

Email: [¹](mailto:2024310003@students.uigm.ac.id), [²](mailto:m.gald@uigm.ac.id), [³](mailto:feryantony@uigm.ac.id)

Abstrak

Pengelolaan parkir motor secara manual sering menimbulkan ketidakakuratan pencatatan, antrean, dan ketidakpastian ketersediaan slot. Perancangan sistem mengacu pada literatur smart parking serta praktik RFID berbasis standar ISO/IEC 14443. Penelitian ini merancang sistem parkir motor otomatis berbasis Radio Frequency Identification (RFID) dengan deteksi keluar menggunakan sensor ultrasonik pada kondisi slot penuh. Prototipe dibangun menggunakan ESP32 sebagai pengendali, modul RFID untuk autentikasi akses masuk, sensor ultrasonik untuk validasi kendaraan keluar, serta LED Matrix dan LCD 16×2 sebagai tampilan status. Sistem menghitung slot secara real-time pada prototipe berkapasitas tiga slot dan mengunci akses RFID ketika slot tersisa 0 (FULL). Evaluasi dilakukan secara eksperimental menggunakan skenario kondisi FULL: sistem dinyalakan, slot diatur hingga 0, sensor berada pada standby tanpa objek, kemudian objek didekatkan pada jarak ±10–20 cm untuk memicu pembaruan slot. Pengujian diulang tiga kali untuk menilai konsistensi. Hasil menunjukkan pembacaan RFID mencapai akurasi 100% dan deteksi ultrasonik berada pada kisaran akurasi 92–98%, serta tampilan LCD/LED Matrix selalu sesuai perubahan status. Secara keseluruhan, sistem meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir sekitar 30–50% dibanding metode manual dan efektif mencegah kendaraan masuk saat kapasitas penuh.

Kata kunci: parkir, RFID, ultrasonik, ESP32, real-time

Abstract

Manual motorcycle parking management often results in inaccurate counting, queues, and uncertainty about slot availability. The system design was informed by smart-parking literature and ISO/IEC 14443-based RFID practice. This study designs an automatic motorcycle parking system based on Radio Frequency Identification (RFID) with ultrasonic exit detection under full-capacity conditions. A prototype was implemented using an ESP32 microcontroller as the main controller, an RFID module for entry access authentication, an ultrasonic sensor to validate vehicle exits, and LED Matrix and 16×2 LCD displays for real-time status output. The system updates the slot count in real time for a three-slot prototype and locks RFID access when the remaining slots reach 0 (FULL). Experimental evaluation followed a full-slot scenario: system start-up, slot count forced to 0, standby without an object, and object placement at ±10–20 cm to trigger slot update. Tests were repeated three times to assess repeatability. Results show 100% RFID reading accuracy and 92–98% ultrasonic detection accuracy, with LCD/LED Matrix outputs consistently reflecting the latest system state. Overall, the proposed system improves parking management efficiency by approximately 30–50% compared with manual operation and prevents vehicle entry when capacity is full.

Keywords: parking, RFID, ultrasonic, ESP32, real-time

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan parkir motor di lingkungan kampus dan area publik masih banyak dilakukan secara manual, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakakuratan pencatatan kendaraan masuk/keluar, antrean, serta ketidakpastian ketersediaan slot bagi pengguna. Kondisi ini menurunkan efisiensi operasional karena informasi kapasitas tidak tersedia secara real-time. Literatur smart parking menekankan bahwa digitalisasi layanan parkir perlu didukung oleh sistem otomatis yang mampu memantau okupansi secara cepat dan akurat, serta menyediakan mekanisme kontrol untuk mengurangi kesalahan pencatatan pada proses operasional [1].

Pada implementasi prototipe berbiaya rendah, tantangan yang sering muncul adalah ketidakstabilan perhitungan ketika kapasitas sudah penuh (full-capacity). Banyak sistem hanya mengandalkan satu pendekatan misalnya identifikasi akses saja atau sensor fisik saja yang dapat memicu mismatch antara status “penuh” dan kondisi aktual. Kesalahan ini menjadi kritis pada kondisi penuh karena sistem harus mencegah kendaraan masuk (overcapacity) namun tetap mampu memperbarui slot secara valid ketika ada kendaraan keluar. Oleh karena itu, diperlukan desain yang tidak hanya melakukan autentikasi akses, tetapi juga memvalidasi peristiwa keluar secara terkontrol, khususnya pada kondisi FULL.

Penelitian ini merancang sistem parkir motor otomatis berbasis Radio Frequency Identification (RFID) dengan deteksi keluar menggunakan sensor ultrasonik pada kondisi slot penuh. Sistem dibangun menggunakan **mikrokontroler ESP32** sebagai pengendali, **RFID** sebagai autentikasi akses masuk, serta **LED Matrix** dan **LCD 16×2** sebagai tampilan status kapasitas secara real-time. Fokus rancangan dan evaluasi diarahkan pada logika FULL sesuai skenario pengujian: ketika jumlah slot tersisa 0 (status FULL) maka akses RFID dikunci, dan sensor ultrasonik hanya diaktifkan untuk memvalidasi pembaruan slot apabila terdeteksi objek pada jarak efektif $\pm 10\text{--}20\text{ cm}$; pada kondisi standby tanpa objek, nilai slot tidak berubah. Pendekatan ini bertujuan meningkatkan reliabilitas perhitungan dan mencegah pengurangan/penambahan slot yang tidak valid pada kondisi kritis.

Kontribusi utama penelitian ini adalah: (1) perancangan prototipe sistem parkir motor otomatis yang mengintegrasikan autentikasi akses berbasis RFID dan validasi keluar berbasis ultrasonik; (2) penerapan mekanisme penguncian akses saat kondisi FULL dengan aktivasi sensor keluar yang terkontrol untuk mencegah overload; dan (3) evaluasi eksperimental berbasis skenario FULL untuk menilai konsistensi perilaku sistem serta kesesuaian tampilan status pada media display. Susunan makalah ini adalah sebagai berikut: Bagian II menjelaskan rancangan sistem dan metodologi pengujian, Bagian III memaparkan hasil dan pembahasan, serta Bagian IV menyajikan kesimpulan dan saran pengembangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Autentikasi Akses Parkir Menggunakan RFID dan MFRC522

RFID merupakan teknologi identifikasi tanpa kontak yang umum digunakan pada sistem kontrol akses karena mampu melakukan pembacaan identitas secara cepat dan praktis. Pada sistem parkir, RFID sering diposisikan sebagai mekanisme validasi pengguna untuk menentukan apakah kendaraan berhak memperoleh akses masuk. Implementasi prototipe parkir pada penelitian ini menggunakan modul MFRC522 sebagai *RF front-end* yang dirancang untuk bekerja dengan kartu/tag berbasis MIFARE dan NTAG. Secara teknis, spesifikasi MFRC522 menyediakan dukungan komunikasi dengan kartu contactless serta antarmuka yang mudah diintegrasikan ke mikrokontroler, sehingga sesuai untuk kebutuhan autentikasi akses masuk pada sistem parkir otomatis skala prototipe. Kejelasan spesifikasi perangkat ini menjadi landasan untuk merancang proses pembacaan kartu yang stabil dan dapat direplikasi pada pengujian[2].

Dalam konteks skenario penelitian, RFID memiliki peran penting pada kondisi normal (slot tersedia) maupun kondisi kritis (slot penuh). Ketika kapasitas masih tersedia, proses autentikasi menjadi gerbang utama sebelum akses masuk diberikan. Sebaliknya, ketika kapasitas mencapai nol, sistem harus tetap mampu membedakan dua kondisi: “kartu valid tetapi ditolak karena FULL” dan “kartu tidak valid”. Pemisahan ini penting agar status sistem konsisten dan dapat dipahami pengguna melalui tampilan.

2.2 Kerangka Persyaratan ISO/IEC 14443 untuk Sistem Proximity Contactless

Sistem RFID berbasis kartu proximity pada umumnya dikembangkan mengacu pada kerangka ISO/IEC 14443. Dokumen aplikasi Microchip yang membahas persyaratan ISO/IEC 14443 (Type B) menekankan aspek fundamental terkait proses komunikasi proximity dan kebutuhan interoperabilitas agar perangkat pembaca dan kartu dapat berinteraksi secara andal. Dengan memahami persyaratan ini, rancangan sistem dapat mengurangi potensi kegagalan pembacaan akibat ketidaksesuaian proses komunikasi serta memperjelas batasan perilaku sistem ketika autentikasi berlangsung [3].

Bagi sistem parkir otomatis, kerangka standar tersebut relevan untuk memastikan proses identifikasi berjalan konsisten, terutama saat sistem berada pada kondisi penuh. Ketika status FULL aktif, sistem tidak hanya menolak akses, namun juga harus memastikan penolakan tersebut bukan karena kegagalan komunikasi atau pembacaan, melainkan karena kebijakan kontrol kapasitas. Dengan demikian, standar contactless berkontribusi pada reliabilitas keputusan akses masuk dalam kondisi pengujian yang beragam.

2.3 Smart Parking Berbasis Sensor dan Wireless Sensor Networks (WSN)

Pengembangan *smart parking* berbasis sensor dan WSN menempatkan deteksi okupansi sebagai pusat pengambilan keputusan sistem. Studi Hilmani dkk. menunjukkan bahwa pendekatan WSN dapat membantu pengelolaan parkir melalui akuisisi data kondisi parkir dan penyajian informasi yang terstruktur, sehingga mendukung proses monitoring ketersediaan ruang secara lebih efisien [4]. Konsep penting dari pendekatan ini adalah bahwa status ketersediaan harus berasal dari mekanisme deteksi yang dapat dipercaya; jika deteksi tidak akurat, maka informasi yang ditampilkan kepada pengguna berpotensi menyesatkan.

Pada penelitian ini, prinsip tersebut diterapkan pada kebutuhan pembaruan status slot secara *real-time*. Status parkir tidak cukup ditentukan oleh autentikasi akses (RFID) saja, karena autentikasi tidak selalu merepresentasikan perubahan okupansi (misalnya saat kendaraan keluar). Oleh karena itu, diperlukan validasi fisik yang memastikan perubahan slot dilakukan berdasarkan kejadian nyata. Hal ini menjadi sangat krusial saat kondisi penuh (FULL), karena perubahan slot dari 0 menjadi tersedia harus dipicu oleh deteksi keluar yang valid, bukan oleh pembacaan atau input yang tidak relevan.

2.4 Penempatan Sensor, Kriteria Deteksi, dan Keandalan Pembaruan Status

Keandalan sistem parkir berbasis sensor berkaitan erat dengan bagaimana sensor ditempatkan dan bagaimana sistem menetapkan aturan deteksi. Bagula dkk. menekankan bahwa rancangan penempatan sensor yang tepat berpengaruh pada kualitas representasi okupansi dan dapat mengurangi ketidakpastian status pada jaringan parkir cerdas [5]. Implikasinya, desain sistem perlu mendefinisikan area deteksi dan ambang pengambilan

keputusan agar pembaruan status tidak mudah terpengaruh oleh noise atau kondisi lingkungan.

Keterkaitan langsung dengan skenario penelitian terlihat pada pengujian kondisi FULL, di mana sensor ultrasonik digunakan untuk memvalidasi kejadian keluar. Aturan deteksi dibuat eksplisit: sistem mempertahankan kondisi standby tanpa mengubah nilai slot ketika tidak ada objek, dan hanya melakukan pembaruan ketika objek terdeteksi dalam jarak efektif tertentu ($\pm 10\text{--}20\text{ cm}$). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip reliabilitas deteksi karena membatasi keputusan sistem pada kondisi yang terukur, sehingga mengurangi peluang pembaruan status yang tidak valid pada kondisi kritis.

2.5 Sintesis Literatur dan Posisi Penelitian

Literatur *smart parking* menekankan bahwa sistem monitoring okupansi harus didukung mekanisme deteksi yang andal serta rancangan sensor yang tepat agar status ketersediaan slot tetap akurat, terutama saat terjadi perubahan kondisi parkir secara dinamis. [4] Selain itu, pemilihan dan penempatan sensor serta penetapan ambang deteksi berpengaruh langsung pada kualitas representasi okupansi dan kestabilan pembaruan status. [5]

Berangkat dari sintesis tersebut, penelitian ini memfokuskan pengujian pada kondisi FULL karena merupakan kondisi paling kritis untuk memvalidasi konsistensi kontrol akses dan pembaruan slot. Sistem dirancang untuk mengunci akses masuk ketika slot mencapai nol, sekaligus memvalidasi kejadian keluar menggunakan sensor agar status dapat berubah kembali secara sah. Dengan demikian, skenario uji yang digunakan menargetkan peningkatan keandalan pembaruan status pada kondisi kapasitas penuh.

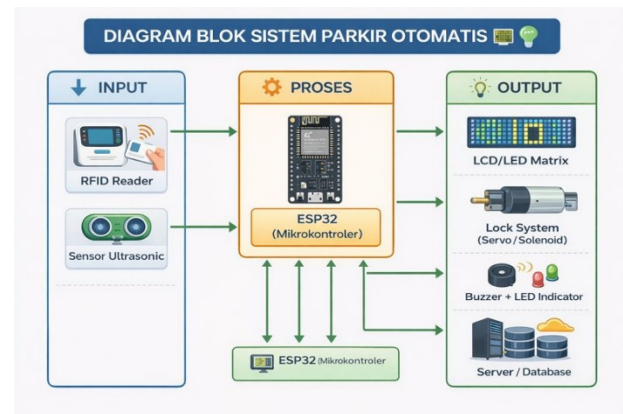
III. METODE PENELITIAN

3.1 Analisis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **rancang bangun** untuk menghasilkan prototipe sistem parkir motor otomatis, kemudian dilakukan **evaluasi eksperimental** untuk memverifikasi kinerja kontrol akses dan pembaruan okupansi. Rancangan sistem menggabungkan autentikasi pengguna menggunakan **RFID** dan validasi kejadian keluar berbasis sensor untuk menjaga konsistensi kapasitas, terutama saat kondisi penuh (FULL). Pendekatan ini selaras dengan konsep sistem parkir cerdas yang memadukan manajemen akses dan pemantauan okupansi sebagai bagian dari sistem siber-fisik [6].

3.2 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem disusun dalam modul input–proses–output. Input terdiri dari RFID reader untuk autentikasi masuk dan sensor ultrasonik untuk deteksi objek/kendaraan di sisi keluaran. Proses dikendalikan mikrokontroler untuk menjalankan logika sistem serta pembaruan slot. Output menampilkan status kapasitas melalui LCD/LED matrix dan indikator notifikasi. Integrasi pembacaan sensor sebagai dasar status okupansi umum digunakan pada sistem parkir berbasis sensor agar pembaruan status tidak hanya bergantung pada input akses [8].



Gambar 3.2 Diagram blok/arsitektur sistem

3.3 Komponen Penyusun Sistem

Komponen utama meliputi mikrokontroler (pengolah data dan eksekutor logika), RFID reader (autentikasi akses masuk), sensor ultrasonik (validasi kejadian keluar), dan perangkat tampilan real-time (LCD/LED matrix). RFID dipilih sebagai dasar keputusan akses masuk karena sesuai praktik manajemen parkir berbasis identitas [6]. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi objek pada jarak tertentu sebagai pemicu pembaruan status slot [7].

Tabel 3.3 Daftar komponen dan fungsi

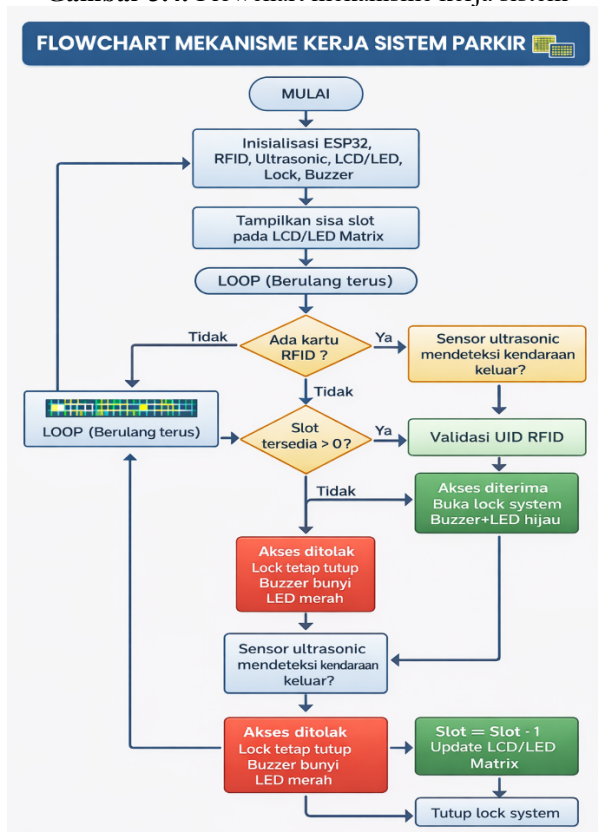
No	Komponen	Fungsi
1	RFID (Reader & Card/Tag)	Digunakan sebagai sistem akses masuk , hanya pengguna dengan kartu RFID terdaftar yang dapat masuk.
2	Sensor Ultrasonic	Mendeteksi kendaraan yang keluar untuk memperbarui jumlah slot parkir yang tersedia.
3	Mikrokontroler ESP32	Berfungsi sebagai pusat pemrosesan data , mengolah input dari RFID dan sensor serta mengontrol output sistem.
4	LED Matrix / LCD	Menampilkan jumlah slot parkir yang tersedia secara real-time.
5	Mekanisme Lock System (Servo/Solenoid)	Mengunci atau membuka akses masuk , terutama saat slot parkir sudah penuh.

6	Buzzer	Memberikan notifikasi suara sebagai tanda akses diterima atau ditolak.
7	LED Indikator	Menunjukkan status akses (misalnya hijau = berhasil, merah = ditolak).

3.4 Mekanisme Kerja dan Tampilan Sistem Real-Time

Sistem menggunakan variabel jumlah slot tersedia sebagai representasi kapasitas. Ketika pengguna men-tap kartu RFID, sistem memvalidasi kartu dan memeriksa slot. Jika slot tersedia, sistem memberikan izin masuk dan memperbarui tampilan. Pada kondisi FULL (slot = 0), sistem mengunci akses masuk meskipun kartu valid untuk mencegah *overcapacity*. Dalam kondisi ini, pembaruan slot dilakukan melalui validasi kejadian keluar dengan sensor ultrasonik dan status ditampilkan secara real-time agar perubahan dapat dipantau pengguna maupun pengelola [7].

Gambar 3.4. Flowchart mekanisme kerja sistem



3.5 Skenario Pengujian (FULL Condition)

Pengujian difokuskan pada kondisi slot penuh (FULL) sebagai kondisi kritis sistem. Ketika slot mencapai 0, sistem harus menampilkan status FULL, menolak akses masuk, dan hanya memperbarui slot bila terdapat deteksi valid di sisi keluar. Pada skenario FULL, sensor ultrasonik berfungsi sebagai *trigger* pembaruan status dan hanya mengubah slot ketika objek terdeteksi pada jarak efektif $\pm 10\text{--}20$ cm. Saat standby tanpa objek, slot tidak berubah untuk mencegah perubahan akibat noise [8].

Tabel 3.5 Skenario pengujian FULL

No	Kondisi / Aksi Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual
1	Sistem dinyalakan	Semua komponen aktif	✓ Berfungsi
2	Slot diatur hingga 0 (FULL)	Status FULL terdeteksi	✓ Terdeteksi
3	Kondisi standby (tanpa objek)	Slot tidak berubah	✓ Tidak berubah
4	Objek didekatkan $\pm 10\text{--}20$ cm	Sensor mendeteksi objek	✓ Terdeteksi
5	Objek terdeteksi saat FULL	Slot berkurang / indikator aktif	✓ Terjadi
6	Tampilan LCD & LED Matrix	Status terbaru tampil	✓ Sesuai
7	Pengujian diulang 3 kali	Hasil konsisten	✓ Konsisten

3.6 Implementasi Sistem serta Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Implementasi mencakup perakitan perangkat keras, integrasi RFID dan ultrasonik ke mikrokontroler, serta penerapan logika berbasis *state* (“Normal” dan “FULL”). Pada *state* Normal, RFID mengendalikan akses masuk dan pembaruan slot mengikuti ketersediaan. Pada *state* FULL, RFID tetap membaca tetapi akses ditolak, sedangkan sensor ultrasonik digunakan untuk memvalidasi perubahan kapasitas. Pola kontrol akses berbasis identitas dan pengambilan keputusan terpusat sejalan dengan praktik sistem parkir berbasis RFID [6].

Data dikumpulkan melalui observasi selama pengujian FULL: tampilan kapasitas, respons terhadap input RFID, respons deteksi ultrasonik pada jarak uji, serta perubahan nilai slot sebelum–sesudah deteksi. Analisis menggunakan metrik: (1) keberhasilan pembacaan RFID, (2) akurasi deteksi ultrasonik, dan (3) *repeatability* hasil tiga kali pengulangan untuk menilai stabilitas pembaruan okupansi [7].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

I.1 Pembahasan

Pada penelitian ini, sensor ultrasonik digunakan sebagai mekanisme validasi kejadian keluar ketika sistem berada pada kondisi **FULL (slot = 0)**. Pemilihan ultrasonik relevan untuk aplikasi parkir dan sistem gerbang karena bersifat tanpa kontak dan mampu membentuk status okupansi melalui deteksi objek berbasis pengukuran waktu pantul (*time-of-flight*). Dengan dasar tersebut, pembaruan slot

pada skenario FULL dirancang hanya terjadi apabila terdapat kejadian fisik yang terdeteksi secara valid oleh sensor [9].

Dari sisi perangkat, modul ultrasonik yang banyak digunakan pada prototipe parkir adalah **HC-SR04** dengan rentang ukur **2–400 cm** dan karakteristik akurasi tertentu pada kondisi pengukuran yang sesuai. Karena jarak pengujian sistem berada pada rentang **±10–20 cm**, maka secara teori jarak tersebut masih berada dalam zona operasi sensor sehingga deteksi objek dapat dilakukan dengan baik [10]. Namun, pada implementasi prototipe, hasil pengukuran dapat dipengaruhi oleh jenis permukaan objek, sudut pantul, posisi pemasangan, serta gangguan lingkungan di sekitar sensor. Oleh sebab itu, capaian akurasi deteksi ultrasonik **92–98%** pada pengujian berulang masih tergolong realistis untuk sistem prototipe dan konsisten dengan prinsip pemanfaatan ultrasonik pada aplikasi parkir [9].

Pada sisi pengendali, **ESP32** sesuai digunakan sebagai pusat pemrosesan karena mendukung integrasi perangkat tertanam untuk aplikasi iot, termasuk pembacaan input sensor dan pembaruan informasi secara real-time. Kapabilitas ini memungkinkan sistem mengolah pembacaan RFID dan ultrasonik secara terpusat, lalu memperbarui keluaran tampilan (LCD/LED matrix) secara konsisten mengikuti perubahan status slot [11].

Untuk autentikasi akses masuk, **MFRC522** merupakan *frontend* RFID pada 13,56 mhz yang mendukung komunikasi contactless berbasis ISO/IEC 14443 A serta ekosistem MIFARE/NTAG. Dukungan tersebut memperkuat kesesuaian penggunaan MFRC522 untuk sistem akses parkir berbasis kartu/tag dan membantu menjelaskan keberhasilan pembacaan RFID yang tinggi pada prototipe [12]. Selain itu, prosedur pemilihan kartu (*PICC selection*) yang mencakup mekanisme anti-collision membantu pembaca memilih satu kartu secara benar ketika terdapat lebih dari satu kartu di area pembacaan. Konsep ini penting untuk menjaga konsistensi keputusan akses pada penggunaan nyata, misalnya ketika beberapa kartu berada berdekatan [13].

Secara keseluruhan, integrasi **RFID untuk autentikasi akses masuk** dan **ultrasonik untuk validasi keluar pada kondisi FULL** membentuk kontrol kapasitas yang lebih terukur. Saat status FULL aktif, akses masuk tetap ditolak sehingga sistem mencegah *overcapacity*. Sebaliknya, perubahan status dari penuh menjadi tersedia hanya terjadi ketika terdeteksi kejadian keluar yang valid, sehingga pembaruan slot tidak mudah terpengaruh noise atau input yang tidak relevan. Mekanisme ini selaras dengan rekomendasi penggunaan ultrasonik untuk sistem parkir/gerbang serta prinsip komunikasi RFID contactless yang mengutamakan interoperabilitas dan konsistensi pembacaan kartu [9].

4.2 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan dilakukan dengan merujuk pada dua sumber resmi yang paling relevan dengan fokus sistem, yaitu pedoman pemanfaatan ultrasonik untuk aplikasi parkir/gerbang berbasis *time-of-flight* serta batas kemampuan pengukuran modul HC-SR04 sebagai sensor prototipe. Kedua acuan ini digunakan

untuk menilai kesesuaian skenario FULL (validasi keluar pada jarak **±10–20 cm**) dan interpretasi performa deteksi pada sistem yang dikembangkan [9] [10].

Tabel 4.2 Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Aspek	Temuan terdahulu	Sistem kamu
Ultrasonik untuk parkir	Deteksi okupansi/objek tanpa kontak	Validasi keluar saat FULL
Rentang & akurasi sensor	Rentang cm–meter (datasheet)	Uji efektif 10–20 cm; akurasi 92–98%
Pengendali sistem	SoC mendukung integrasi periferal	ESP32 mengolah input & display real-time
RFID reader	Reader 13,56 MHz untuk kartu/tag	Autentikasi akses; baca RFID 100%
Seleksi kartu	Ada mekanisme pemilihan kartu	Memperkuat konsistensi pembacaan

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan penelitian, rancangan sistem, serta hasil pengujian prototipe pada skenario **FULL (slot = 0)**, dapat disimpulkan bahwa prototipe **sistem parkir motor otomatis** berhasil dirancang dan direalisasikan dengan integrasi komponen utama berupa **mikrokontroler ESP32** sebagai pusat pemrosesan, **RFID MFRC522** untuk autentikasi akses masuk, **sensor ultrasonik HC-SR04** untuk validasi kejadian keluar, serta **LCD 16×2 dan LED Matrix** sebagai media penampil informasi kapasitas secara real-time. Integrasi ini memungkinkan input (RFID dan ultrasonik) dibaca dan diproses oleh ESP32, kemudian menghasilkan keluaran berupa perubahan status slot dan tampilan informasi kapasitas yang dapat dipantau secara langsung.

Fokus utama penelitian pada pengendalian kondisi **kapasitas penuh** juga tercapai. Ketika jumlah slot tersisa mencapai **0** dan status **FULL** aktif, sistem mampu menerapkan kebijakan kontrol kapasitas dengan benar melalui **penguncian akses masuk**, meskipun kartu RFID yang digunakan valid/terdaftar. Hal ini menunjukkan bahwa keputusan akses tidak hanya ditentukan oleh autentikasi, tetapi juga mempertimbangkan status kapasitas sehingga potensi **overcapacity** dapat dicegah.

Pada kondisi FULL, mekanisme pembaruan slot dirancang tidak dipicu oleh RFID, melainkan melalui **validasi kejadian keluar** menggunakan sensor ultrasonik. Hasil implementasi memperlihatkan bahwa slot hanya diperbarui ketika sensor mendeteksi objek pada jarak efektif **±10–20 cm** sebagai representasi adanya

kendaraan/objek yang keluar, sedangkan pada kondisi **standby tanpa objek** nilai slot tetap dipertahankan dan tidak berubah. Aturan deteksi yang eksplisit ini membantu menekan risiko pembaruan status yang tidak valid akibat noise, kesalahan input, atau pembacaan yang tidak merepresentasikan kejadian keluar sesungguhnya.

Selain itu, sistem mampu menampilkan status parkir secara **real-time** dan mudah dipahami pengguna melalui LCD dan LED Matrix. Pada saat slot penuh, tampilan menunjukkan kondisi penuh sekaligus sistem menolak akses masuk, sedangkan setelah terdeteksi kejadian keluar yang valid, tampilan diperbarui mengikuti status terbaru. Sinkronisasi antara logika sistem dan keluaran tampilan ini mendukung tujuan penelitian untuk mengurangi ketidakpastian ketersediaan parkir dan meningkatkan efisiensi pengelolaan.

Berdasarkan pengujian laboratorium dengan tiga kali pengulangan, prototipe menunjukkan **keberhasilan pembacaan RFID sebesar 100%**, sehingga proses autentikasi berjalan konsisten. Sensor ultrasonik juga menunjukkan **akurasi deteksi sebesar 92–98%** pada jarak uji efektif **±10–20 cm** saat kondisi FULL. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem telah bekerja dengan baik pada skenario kritis yang menjadi fokus penelitian, meskipun variasi akurasi sensor masih dapat dipengaruhi oleh kondisi objek, penempatan sensor, dan faktor lingkungan prototipe. Secara keseluruhan, integrasi **RFID untuk autentikasi akses masuk** dan **ultrasonik untuk validasi keluar pada kondisi FULL** terbukti meningkatkan keandalan perhitungan slot serta menjaga konsistensi status sistem pada kondisi kapasitas penuh, karena perubahan status dari “penuh” menjadi “tersedia” hanya terjadi melalui mekanisme deteksi yang terkontrol sesuai skenario pengujian.

5.2 kelebihan dan kekurangan

Kelebihan sistem :

1. Fokus pada kondisi kritis FULL: logika pembaruan slot lebih aman karena akses masuk dikunci dan perubahan status hanya terjadi setelah deteksi sensor yang valid.
2. Integrasi autentikasi dan validasi fisik: RFID memastikan akses berbasis identitas, sedangkan ultrasonik memastikan perubahan slot terjadi berdasarkan kejadian nyata (kendaraan keluar).
3. Tampilan real-time: pengguna dapat langsung mengetahui status slot, sehingga mengurangi ketidakpastian dan potensi antrean.
4. Prototipe sederhana dan biaya relatif rendah: komponen umum (ESP32, MFRC522, HC-SR04) memudahkan replikasi dan pengembangan lanjutan.

Kekurangan sistem :

1. Sistem masih berbasis prototipe skala kecil (kapasitas 3 slot) sehingga belum merepresentasikan kondisi parkir besar dengan banyak jalur masuk/keluar.
2. Sensor ultrasonik dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan karakter objek (sudut pantul, permukaan, penempatan), sehingga

akurasi belum selalu maksimum dan masih berada pada rentang 92–98%.

3. Mekanisme validasi keluar masih mengandalkan ambang jarak $\pm 10\text{--}20\text{ cm}$, sehingga perlu kalibrasi yang tepat agar tidak terlalu sensitif maupun terlalu lambat merespons.
4. Sistem belum membahas aspek keamanan tingkat lanjut (misalnya duplikasi kartu, manajemen pengguna skala besar) dan belum terintegrasi dengan penyimpanan data terpusat.

5.3 Saran pengembangan

1. Menambahkan kalibrasi otomatis/penyaringan noise (misalnya rata-rata beberapa pembacaan atau *thresholding* adaptif) agar deteksi ultrasonik lebih stabil pada kondisi lingkungan yang bervariasi.
2. Meningkatkan skala implementasi menjadi lebih banyak slot dan menambahkan multi-sensor (tiap slot atau tiap jalur) agar sistem lebih representatif untuk lingkungan kampus/area publik.
3. Mengembangkan integrasi IoT (misalnya dashboard web atau aplikasi) untuk pencatatan kendaraan masuk/keluar dan pemantauan kapasitas secara jarak jauh melalui ESP32.
4. Menambahkan fitur manajemen akses (registrasi kartu, logging, dan audit) agar sistem lebih siap digunakan pada operasional nyata.

REFERENSI

- [1] S. S. Channamallu, S. Kermanshachi, J. M. Rosenberger, and A. Pamidimukkala, “Smart parking systems: A comprehensive review of digitalization of parking services,” *Green Energy and Intelligent Transportation*, vol. 5, no. 1, Art. no. 100293, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.geits.2025.100293.
- [2] Fahim, M. Hasan, and M. A. Chowdhury, “Smart parking systems: comprehensive review based on various aspects,” *Heliyon*, vol. 7, no. 5, Art. no. e07050, May 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07050.
- [3] W. A. Jabbar, L. Y. Tiew, and N. Y. A. Shah, “Internet of things enabled parking management system using long range wide area network for smart city,” *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 4, pp. 82–98, 2024, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.09.001.
- [4] Hilmani, A. Maizate, and L. Hassouni, “Designing and managing a smart parking system using wireless sensor networks,” *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 7, no. 2, Art. no. 24, 2018, doi: 10.3390/jsan7020024.
- [5] Bagula, L. Castelli, and M. Zennaro, “On the design of smart parking networks in the smart cities: An optimal sensor placement model,”

- Sensors*, vol. 15, no. 7, pp. 15443–15467, 2015, doi: 10.3390/s150715443.
- [6] E. E. Tsiropoulou, J. S. Baras, S. Papavassiliou, and S. Sinha, “RFID-based smart parking management system,” *Cyber-Physical Systems*, vol. 3, nos. 1–4, pp. 22–41, 2017, doi: 10.1080/23335777.2017.1358765.
 - [7] S. Jeon and D. Seo, “Smart parking system based on an ultrasonic sensor and Bluetooth low energy in the Internet of Things,” *Journal of System and Management Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 91–110, 2019, doi: 10.33168/JSMS.2019.0407.
 - [8] [8] S. Lee, D. Yoon, and A. Ghosh, “Intelligent parking lot application using wireless sensor networks,” in *Proc. IEEE Int. Symp. Collaborative Technologies and Systems (CTS)*, Irvine, CA, USA, May 2008, pp. 48–57, doi: 10.1109/CTS.2008.4543911.
 - [9] [9] E. Garcia, “Using ultrasonic technology for smart parking and garage gate systems,” Texas Instruments, *Application Report SLAA911*, Aug. 2019.
 - [10] [10] ElecFreaks, “Ultrasonic ranging module HC-SR04,” *Datasheet*.
 - [11] [11] Espressif Systems, “ESP32 series datasheet,” *Datasheet*, ver. 5.1.
 - [12] [12] NXP Semiconductors, “MFRC522: Standard performance MIFARE and NTAG frontend,” *Product Data Sheet*, Rev. 3.9, Apr. 27, 2016.
 - [13] [13] NXP Semiconductors, “MIFARE ISO/IEC 14443 PICC selection,” *Application Note AN10834*, Rev. 4.2, Aug. 10, 2021.