

PENGUNAAN INTERNET OF THINGS UNTUK PENINGKATAN EFEKTIVITAS DAN EFISIENSI SISTEM SMART PARKING

Ikramullah, Taufiq, Muhammad Sayuti, Muhammad Daud, Muchlish Abdul Muthalib

Teknologi Informasi, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, 24355, Indonesia

ikramullah.237110201003@mhs.unimal.ac.id

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah kendaraan yang terus meningkat menimbulkan berbagai permasalahan dalam pengelolaan parkir, seperti kesulitan menemukan slot kosong, pemborosan waktu, dan potensi kemacetan di area parkir. Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa sistem parkir konvensional yang masih bergantung pada pengelolaan manual belum mampu memberikan pelayanan yang efektif dan efisien. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem Smart Parking berbasis Internet of Things (IoT) guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengelolaan parkir. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan tahapan perancangan sistem, realisasi prototipe, pengujian perangkat keras dan perangkat lunak, serta analisis kinerja sistem. Sistem dikembangkan menggunakan ESP32-CAM sebagai pengendali utama, sensor infrared (IR) untuk mendeteksi status slot parkir, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi kendaraan masuk dan keluar, servo motor sebagai palang otomatis, serta LCD sebagai media informasi lokal. Data parkir disinkronkan secara real-time ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui aplikasi web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor IR memiliki akurasi rata-rata 95%, sensor ultrasonik sebesar 97%, waktu respons servo motor sekitar 0,5 detik, tampilan LCD mencapai akurasi 100%, serta waktu sinkronisasi data ke aplikasi web rata-rata 1,6 detik. Hasil tersebut membuktikan bahwa sistem Smart Parking berbasis IoT mampu menyediakan informasi ketersediaan parkir secara cepat, akurat, dan real-time, sehingga berpotensi menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan parkir cerdas skala kecil hingga menengah sebagai bagian dari implementasi konsep smart city.

Kata kunci : *Smart Parking, Internet of Things (IoT), ESP32-CAM, Firebase, Monitoring Real-Time, Sistem Parkir Cerdas*

1. PENDAHULUAN

Smart Parking System merupakan sistem yang menyediakan informasi ketersediaan parkir bagi pengendara sebagai bagian dari peningkatan kualitas pelayanan fasilitas parkir. Smart Parking System merupakan sistem yang menyediakan informasi ketersediaan parkir bagi pengendara sebagai bagian dari peningkatan kualitas pelayanan fasilitas parkir. Sistem ini dikembangkan untuk memberikan layanan monitoring parkir serta pengelolaan informasi parkir secara lebih efektif.

Konsep smart parking berfokus pada penyajian informasi mengenai lokasi slot parkir yang tersedia, durasi parkir, serta estimasi biaya yang harus dibayarkan, sehingga pengguna kendaraan dapat memperoleh informasi secara cepat dan akurat [1].

Kualitas sistem parkir menjadi indikator penting mutu pelayanan fasilitas umum secara keseluruhan, karena sistem parkir yang tidak efisien dapat menimbulkan ketidaknyamanan, pemborosan waktu, serta kemacetan akibat pencarian slot parkir secara manual [2].

Pada praktiknya, sebagian besar sistem parkir masih bergantung pada peran petugas parkir dalam mengarahkan kendaraan, sehingga informasi yang diberikan sering kali tidak optimal, lambat, dan kurang akurat [3].

Kondisi ini berpotensi mengganggu aktivitas di area fasilitas umum, mengingat masyarakat mengharuskan kenyamanan dan kemudahan dalam

penggunaan layanan publik. Oleh karena itu, pemilihan metode pelayanan yang tepat dalam sistem parkir menjadi sangat penting untuk menjamin kenyamanan, efisiensi, dan kelancaran aktivitas pengguna fasilitas umum [4].

Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) menjadi solusi potensial dalam mengatasi permasalahan tersebut. IoT memungkinkan objek dan perangkat dilengkapi dengan identitas serta kemampuan berkomunikasi melalui jaringan untuk saling bertukar data tanpa interaksi langsung manusia ke manusia [5].

Dalam konteks sistem parkir, teknologi IoT memungkinkan integrasi sensor, perangkat pintar, dan jaringan komunikasi untuk memantau kondisi parkir secara real-time serta menyajikan informasi yang dapat diakses kapan saja dan di mana saja [6].

Penerapan IoT dalam sistem parkir terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan, mengurangi waktu pencarian slot parkir, menekan kemacetan, serta menurunkan emisi kendaraan [7].

Sistem pengelolaan parkir yang efektif merupakan bagian penting dari konsep smart parking, karena melibatkan proses pemantauan, pengelolaan, dan optimalisasi penggunaan ruang parkir [8]. Salah satu aspek krusial dalam pengelolaan tersebut adalah penentuan jumlah maksimum kendaraan yang dapat ditampung pada suatu area parkir.

Proses ini harus memperhatikan berbagai aturan teknis, seperti dimensi lahan, lebar jalur kendaraan,

jarak antar slot parkir, serta aspek keselamatan dan kenyamanan pengguna. Keterbatasan ruang parkir menjadikan pengelolaan ketersediaan slot parkir sebagai faktor yang sangat penting untuk diperhatikan [9].

Pengelolaan parkir yang efektif merupakan bagian penting dari Smart Parking. Pengelolaan ini melibatkan teknologi untuk memantau, mengelola, dan mengoptimalkan penggunaan ruang parkir [10].

Efisiensi yaitu adalah ketepatan atau dapat didefinisikan cara yang digunakan untuk memperoleh suatu sasaran yang optimal. Cara yang diharapkan agar sesuatu dapat efisien adalah dengan mengurangi penggunaan sumber daya yang digunakan dapat menggunakan sumber daya dengan tepat [11].

Sehingga Efisiensi pada sistem pengelolaan parkir merupakan kemampuan sistem dalam memanfaatkan sumber daya secara optimal untuk mencapai tujuan pengelolaan parkir, yaitu menyediakan informasi ketersediaan parkir secara cepat, akurat, dan tepat waktu. Sistem parkir yang efisien mampu mengurangi waktu pencarian slot parkir, meminimalkan antrean kendaraan, serta menekan ketergantungan terhadap petugas parkir manual [12].

Sistem parkir yang efisien mampu mengurangi waktu pencarian slot parkir, meminimalkan antrean kendaraan, serta mengurangi ketergantungan terhadap petugas parkir manual. Dengan demikian, penerapan teknologi yang tepat dalam sistem parkir tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga kenyamanan pengguna.[13].

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas penerapan IoT dalam sistem smart parking, namun sebagian besar masih berfokus pada pendeteksian slot parkir dan penyajian informasi dasar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem smart parking yang lebih terintegrasi dengan menggabungkan sistem monitoring berbasis IoT dan Automatic Number Plate Recognition (ANPR) guna meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir. Penerapan sistem ini dilakukan pada objek nyata, yaitu Suzuya Mall Bireuen, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris dan aplikatif dalam pengembangan smart parking sebagai bagian dari implementasi konsep smart city.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Syahbudin pada tahun 2018 dimana penelitian ini Konsep yang disebut sebagai kota pintar ini adalah konsep yang menengahkan sebuah tatanan kota cerdas yang bisa berperan dalam memudahkan masyarakat untuk mendapatkan informasi secara cepat dan tepat. Penggunaan teknologi dengan konsep Internet of Things (IoT) adalah salah satu solusi terbaik dalam hal infrastruktur smart city [14].

Penelitian yang dilakukan oleh Riklan Kangoa, Ihsanb, Andi Yasir Amsal pada tahun 2023 dimana

penelitian ini secara signifikan memajukan pemahaman kita tentang bagaimana IoT diimplementasikan dalam sistem parkir. Sebagai hasil dari penelitian ini, dimungkinkan untuk menerapkan ide-ide yang sebanding untuk masalah parkir perkotaan dalam skala yang lebih besar [15].

Manajemen sistem parkir merupakan salah satu masalah yang sering dihadapi oleh kota-kota besar. Kemacetan, waktu yang terbuang, dan emisi karbon yang lebih tinggi sering kali merupakan akibat dari peningkatan jumlah kendaraan yang tidak diimbangi dengan ketersediaan tempat parkir. Masalah ini belum dapat diselesaikan dengan teknik manajemen parkir tradisional seperti mencari tempat parkir secara manual. Banyak teknologi canggih yang telah dikembangkan oleh para inovator. Salah satu kemajuan teknologi di bidang transportasi yang dapat kita temukan adalah sistem layanan parkir [16].

IoT dapat mengarahkan pelanggan ke tempat yang tersedia, mengoptimalkan manajemen tempat parkir, dan memberikan informasi real-time tentang ketersediaan tempat parkir melalui penggunaan sensor, jaringan komunikasi, dan aplikasi berbasis digital. Selain mengurangi jumlah waktu yang dihabiskan untuk mencari tempat parkir, hal ini juga berfungsi untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dan menurunkan emisi kendaraan. Akan sangat bermanfaat untuk mengetahui bahwa ada atau tidaknya slot parkir kosong, maka hal ini akan bermanfaat tetapi juga bagi lingkungan [17].

2.2. Internet Of Things (IoT)

Internet of Things (IOT) adalah struktur di mana objek, orang disediakan dengan identitas eksklusif dan kemampuan untuk pindah data melalui jaringan tanpa memerlukan dua arah antara manusia ke manusia yaitu sumber ke tujuan atau interaksi manusia ke komputer. Bidang IoT dapat bermanfaat bagi seluruh wilayah administrasi, segmen terbuka, jaringan inventarisasi industri, pengembangan, perakitan, agribisnis dan kondisi, administrasi energi dan ketahanan nasional, kawasan perkotaan yang tajam dan perhubungan dan struktur cerdas

Biasanya untuk menyalakan dan mematikan lampu yaitu dengan menggunakan saklar, dengan kecanggihan teknologi saat ini lampu dapat dikontrol menggunakan smartphone dengan memanfaatkan teknologi yang disebut dengan Internet of Things [5].

2.3. Sistem Pengelolaan Parkir

Sistem pengelolaan parkir yang efektif merupakan bagian penting dari *Smart Parking*. Pengelolaan ini melibatkan teknologi untuk memantau, mengelola, dan mengoptimalkan penggunaan ruang parkir [8].

Pengelolaan parkir tersebut menjadi lebih penting lagi, ketika aspek kenyamanan pengguna lahan parkir diikutsertakan. Dengan jumlah

maksimum kendaraan yang dapat parkir pada suatu daerah terbatas, maka faktor ketersediaan lokasi parkir menjadi hal yang perlu diperhatikan pula [18].

2.4. Efektivitas dan Efisiensi

Sistem Smart Parking efektif dalam menyediakan informasi ketersediaan lahan parkir secara akurat dan real-time sehingga memudahkan pengguna menemukan tempat parkir serta mengurangi kemacetan di area parkir. Selain itu, sistem ini efisien karena mampu menghemat waktu pencarian parkir, menekan konsumsi bahan bakar, serta mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan biaya operasional melalui pemantauan parkir secara otomatis berbasis IoT [3].

2.5. Smart Parking

Smart Parking adalah sistem otomatis yang dirancang untuk memenuhi pertumbuhan permintaan layanan parkir perusahaan dengan memantau parkir dan mengontrol informasi parkir [19].

2.6. ESP32 Cam

ESP32 CAM merupakan modul lengkap dengan mikrokontroler terintegrasi, yang dapat membuatnya bekerja secara mandiri. Keunggulan dari ESP32 adalah tersedianya modul WiFi dalam chip, jumlah pin lebih banyak dari jenis mikrokontroler lain, memori lebih besar, serta terdapat bluetooth 4.0 low energy. Modul Esp32 [20].

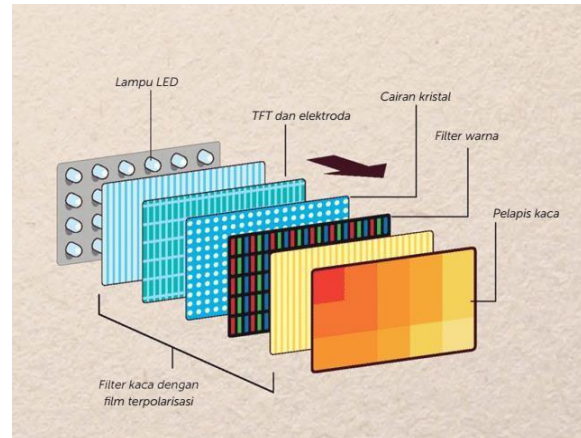


Gambar 1. ESP32 CAM

Ada banyak model ESP32 Development Kit (board untuk membuat aplikasi dengan ESP32), salah satunya ESP32 DEVKIT V1 yang nantinya akan kita pakai untuk membuat beberapa aplikasi IoT (*Internet of Things*) dengan ESP32 Cam [21].

2.7. LCD

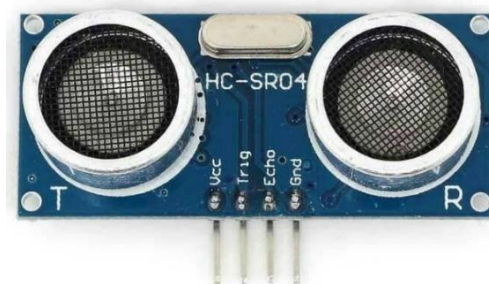
LCD 16×2 adalah salah satu penampil yang sangat sering digunakan dalam sistem mikrokontroler karena mampu menampilkan informasi berupa teks [22].



Gambar 2. Bagian-bagian LCD

2.8. Sensor HC-SR04

HC-SR04 adalah sebuah modul sensor ultrasonik yang biasanya digunakan untuk alat pengukur jarak [23]. Penelitian ini membahas cara kerja sensor HC-SR04 beserta contoh program menggunakan Arduino. Sensor ini memiliki dua transduser ultrasonik, yaitu transmitter yang mengubah sinyal listrik menjadi gelombang ultrasonik berfrekuensi 40 kHz dan receiver yang berfungsi menerima kembali gelombang ultrasonik tersebut.

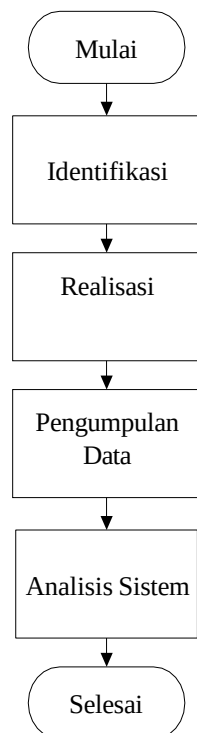


Gambar 3. Sensor Ultra Sonic

Cara kerja dari sensor HC-SR04 yang dapat digunakan untuk mengukur jarak suatu obyek atau benda. Setelah kita mempelajari teori cara kerja sensor HC-SR04 [24].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian yang berjudul *Penggunaan Internet Of Things Untuk Peningkatan Efektivitas Dan Efisiensi Sistem Smart Parking*, adalah jenis kuantitatif dan dirancang secara terstruktur untuk memastikan hasil deteksi yang optimal.



Gambar 4. Langkah Penelitian

Gambar 4 merupakan langkah dalam penelitian yang penulis lakukan dengan membangun solusi, penelitian dimulai dengan mengidentifikasi masalah yang ada. Memahami berbagai literatur yang relevan dengan tujuan atau masalah penelitian yang disajikan sebagai bahan referensi, seperti mengidentifikasi data yang digunakan, mengidentifikasi alat yang diperlukan, dan menghubungkan objek dengan alat yang digunakan, merupakan langkah berikutnya. Saat membangun sistem, hal pertama yang harus dilakukan adalah menyiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan. Selanjutnya, dilanjutkan dengan kode program, alat, dan desain sistem. Langkah berikutnya, analisis sistem yang disesuaikan dengan kebutuhan pengguna, dilakukan jika sistem yang dibangun dapat berfungsi secara efektif.

3.1. Identifikasi Kebutuhan Sistem

Perancangan sistem Smart Parking berbasis IoT diawali dengan identifikasi kebutuhan sistem yang meliputi aspek fungsional, non-fungsional, perangkat keras, dan perangkat lunak. Secara fungsional, sistem mendeteksi ketersediaan slot parkir secara otomatis, menampilkan informasi parkir secara real-time melalui aplikasi, web, atau indikator, serta menyimpan data pada server atau cloud untuk monitoring. Dari sisi non-fungsional, sistem dirancang stabil, akurat, aman, mudah digunakan, dan hemat energi. Perangkat keras utama meliputi ESP32, sensor ultrasonik HC-SR04, LM2596, relay, LCD,

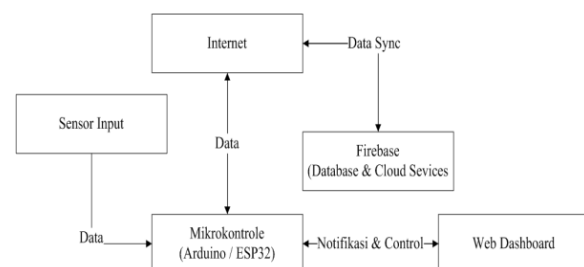
dan jaringan internet, sedangkan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE, aplikasi IoT, serta cloud database. Sistem ini bertujuan menyediakan informasi parkir yang cepat, akurat, dan efisien.

3.2. Perancangan Sistem

Sistem *Smart Parking* berbasis *Internet of Things* (IoT) ini menggunakan ESP32-CAM sebagai pengendali utama dan Firebase Realtime Database sebagai penyimpanan data real-time. Setiap slot parkir dilengkapi sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan kendaraan, dengan status slot (kosong/terisi) diproses oleh ESP32-CAM dan dikirim ke Firebase melalui koneksi WiFi. Aplikasi atau web client menerima pembaruan status secara langsung melalui mekanisme sinkronisasi real-time tanpa perlu pembaruan manual. Selain itu, informasi ketersediaan parkir dapat ditampilkan secara lokal melalui LCD atau lampu indikator. Arsitektur ini mendukung pemantauan parkir secara real-time, mudah diintegrasikan, dan efisien bagi pengelola maupun pengguna.

3.3. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem Smart Parking berbasis IoT menunjukkan hubungan antar komponen utama.

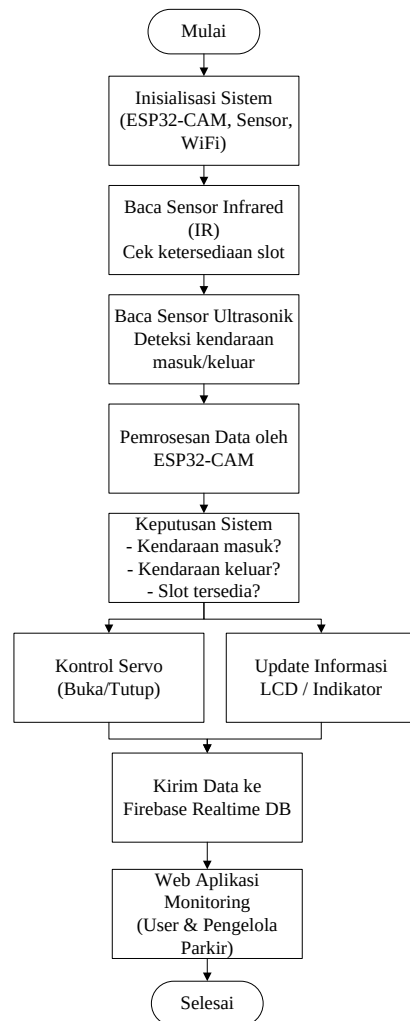


Gambar 5. Diagram Blok Sistem

Sensor IR dan sensor ultrasonik mendeteksi status slot serta kendaraan masuk dan keluar, kemudian data diproses oleh ESP32-CAM sebagai pusat kendali. ESP32-CAM mengendalikan palang parkir dan menampilkan informasi ketersediaan slot secara real-time melalui LCD atau indikator, serta mengirim data ke Firebase melalui WiFi untuk ditampilkan pada aplikasi web sebagai media monitoring. Sistem ini mendukung pengelolaan parkir yang efisien dan real-time.

3.4. Flowchart Sistem

Flowchart Sistem pada penelitian yang berjudul Penggunaan *Internet Of Things* Untuk Peningkatan Efektivitas Dan Efisiensi Sistem *Smart Parking*



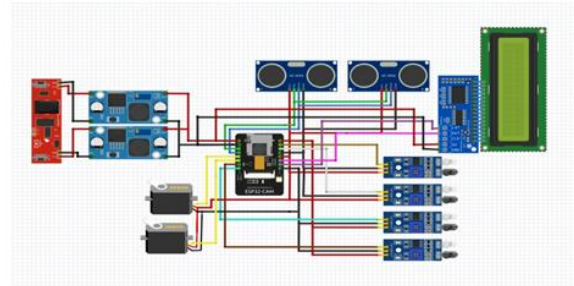
Gambar 6. Flowchart Sistem

Gambar 6 merupakan alur kerja sistem dari proses akuisisi data sensor hingga penyajian informasi kepada pengguna melalui aplikasi web. Proses dimulai saat sistem aktif, kemudian sensor IR membaca status setiap slot parkir, sementara sensor ultrasonik mendeteksi kendaraan yang masuk dan keluar area parkir. Seluruh data sensor diproses oleh ESP32-CAM sebagai pusat kendali. Berdasarkan hasil pemrosesan, ESP32-CAM mengendalikan servo motor sebagai palang parkir otomatis serta menampilkan informasi ketersediaan slot melalui LCD atau indikator secara real-time. Selanjutnya, data status parkir dikirimkan ke Firebase Realtime Database melalui koneksi WiFi dan ditampilkan pada aplikasi web untuk kebutuhan monitoring pengguna dan pengelola. Sistem bekerja secara kontinu sehingga informasi parkir selalu diperbarui secara otomatis dan real-time.

3.5. Perancangan Rangkaian

Perancangan rangkaian Smart Parking berbasis IoT bertujuan mengintegrasikan seluruh komponen agar bekerja optimal. ESP32-CAM berfungsi sebagai pusat kendali dan komunikasi WiFi yang memproses

data sensor, mengendalikan aktuator, serta mengirim data ke Firebase. Sensor IR dan sensor ultrasonik mendeteksi kondisi slot dan kendaraan, kemudian informasi digunakan untuk mengendalikan palang parkir dan menampilkan ketersediaan slot melalui LCD. Data parkir selanjutnya dapat diakses secara real-time melalui aplikasi web, sehingga mendukung sistem parkir yang efisien dan terintegrasi.



Gambar 7. Rancangan Keseluruhan Sistem

Sistem Smart Parking berbasis IoT dirancang dengan mengintegrasikan ESP32-CAM sebagai pusat kendali, sensor ultrasonik HC-SR04, sensor IR, servo motor, LCD 16×2, serta Firebase dan aplikasi web. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi kendaraan masuk dan keluar berdasarkan pengukuran jarak, sedangkan sensor IR berfungsi mendeteksi kondisi setiap slot parkir. Data dari seluruh sensor diproses oleh ESP32-CAM untuk mengendalikan palang parkir otomatis menggunakan servo motor, menampilkan informasi ketersediaan slot parkir secara real-time melalui LCD, serta mengirimkan data ke Firebase Realtime Database agar dapat diakses oleh pengguna dan pengelola melalui aplikasi web. Realisasi prototipe dilakukan melalui tahap perakitan perangkat keras, pemrograman menggunakan Arduino IDE, integrasi basis data, serta pengujian dan evaluasi sistem. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan kendaraan masuk dan keluar untuk memastikan akurasi sensor, kestabilan koneksi, dan kecepatan sinkronisasi data, sehingga sistem mampu menyediakan informasi parkir yang cepat, akurat, dan efisien.

3.6. Perancangan Rangkaian Metode Realisasi Prototipe

Realisasi prototipe Smart Parking dilakukan melalui tahap perakitan perangkat keras, pemrograman, integrasi basis data, pengujian, dan evaluasi sistem. ESP32-CAM digunakan sebagai pusat kendali untuk memproses data sensor, mengendalikan palang otomatis, menampilkan informasi parkir, serta mengirimkan data ke Firebase melalui koneksi WiFi. Pengujian dilakukan dengan simulasi kendaraan masuk dan keluar untuk memastikan akurasi sensor, kestabilan sistem, dan kecepatan sinkronisasi data, sehingga sistem mampu menyajikan informasi parkir secara cepat dan efisien.

3.7. Metode Pengujian dan Pengumpulan Data

Metode pengujian dilakukan untuk memastikan prototipe Smart Parking berbasis IoT berfungsi sesuai perancangan. Pengujian mencakup perangkat keras, perangkat lunak, dan integrasi sistem, meliputi akurasi sensor, fungsi palang otomatis, tampilan informasi, serta kemampuan ESP32-CAM memproses dan mengirim data ke Firebase secara real-time. Evaluasi dilakukan melalui simulasi kendaraan masuk dan keluar serta observasi kinerja sistem untuk menilai akurasi, respons, kestabilan, dan keberhasilan sistem memenuhi kebutuhan fungsional.

3.8. Metode Pengujian dan Pengumpulan Data

Analisis kuantitatif meliputi akurasi sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor IR, waktu respons servo motor, serta kecepatan sinkronisasi data dari ESP32-CAM ke Firebase Realtime Database dan aplikasi web. Hasil pengukuran dibandingkan dengan kondisi nyata untuk menilai keakuratan dan keandalan sistem. Analisis kualitatif dilakukan dengan menilai kestabilan operasi sistem, konsistensi informasi yang ditampilkan, kemudahan penggunaan aplikasi web, dan keterbacaan informasi pada LCD. Analisis dilakukan pada berbagai skenario operasional, seperti kondisi parkir penuh dan keluar-masuk kendaraan, guna menilai performa sistem serta mengidentifikasi kendala dan rekomendasi pengembangan lanjutan.

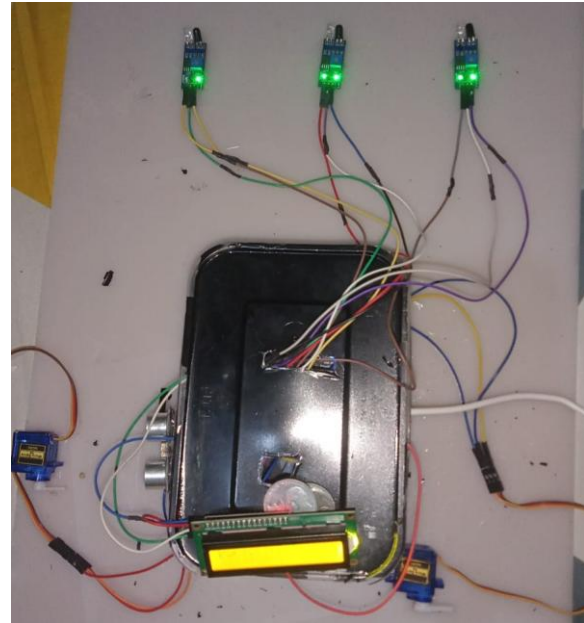
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Implementasi Sistem

Hasil implementasi perangkat keras menunjukkan bahwa prototipe Smart Parking berbasis IoT berfungsi sesuai perancangan. ESP32-CAM memproses data sensor, mengendalikan aktuator, dan mengirim informasi ke Firebase. Sensor ultrasonik dan sensor IR mampu mendeteksi kendaraan serta kondisi slot parkir dengan cukup akurat, sementara servo motor sebagai palang otomatis bekerja stabil dengan respons sekitar 0,5 detik. Informasi ketersediaan parkir ditampilkan secara real-time melalui LCD, dan seluruh komponen terintegrasi dengan baik untuk mendukung sistem berjalan otomatis.

4.2. Pengujian Alat

Gambar 8 menunjukkan prototipe Smart Parking berbasis IoT yang menggunakan sensor inframerah untuk mendeteksi kendaraan pada setiap slot parkir. Data diproses oleh ESP32 sebagai pusat kendali, ditampilkan melalui LCD 16×2, dan mengendalikan motor servo sebagai palang otomatis. Seluruh komponen terintegrasi untuk mendukung sistem parkir yang efisien dan otomatis.



Gambar 8. Pengujian Alat

4.3. Pengujian Ultrasonik



Gambar 9. Pengujian Ultrasonik

Gambar 9 memperlihatkan hasil pengujian sensor ultrasonik pada sistem *Smart Parking* berbasis IoT. Pada pengujian ini, sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan objek yang berada di depannya dan mengukur jarak antara sensor dengan objek tersebut. Hasil pembacaan jarak ditampilkan pada LCD 16×2, yang menunjukkan pesan “Mobil Detected” dengan jarak terukur sebesar 5 cm. Tampilan ini menandakan bahwa sensor ultrasonik mampu mendeteksi objek secara akurat pada jarak dekat dan sistem berhasil memproses serta menampilkan data jarak secara real-time melalui mikrokontroler.

4.4. Tampilan Hasil Implementasi Perangkat Keras



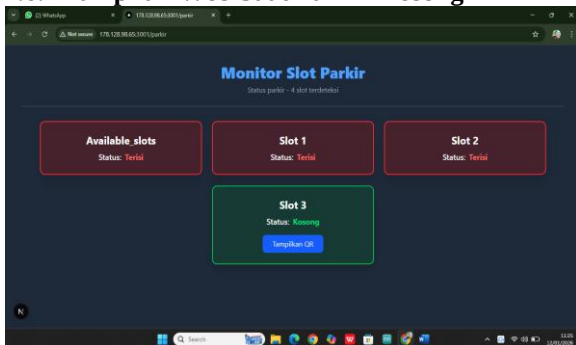
Gambar 10. Tampilan Hasil Implementasi Perangkat Keras

Gambar 10, menunjukkan prototipe sistem yang telah terintegrasi dan berfungsi secara keseluruhan. Komponen utama ditempatkan dalam kotak pelindung berisi mikrokontroler dan LCD sebagai penampil informasi, sementara motor servo dan sensor terhubung melalui kabel kontrol. Susunan ini menunjukkan bahwa seluruh perangkat keras telah dirangkai sesuai perancangan dan mampu bekerja secara terkoordinasi.

4.5. Hasil Implementasi Perangkat Lunak

Hasil implementasi perangkat lunak menunjukkan bahwa sistem Smart Parking berbasis IoT berjalan sesuai algoritma yang dirancang. Perangkat lunak pada ESP32-CAM mengelola pembacaan sensor, logika kontrol, pengendalian aktuator, serta pengiriman data ke Firebase secara real-time. Informasi ketersediaan parkir ditampilkan pada LCD dan diperbarui otomatis pada aplikasi web, sehingga sistem mampu mendukung otomatisasi dan penyajian data parkir secara akurat dan terintegrasi.

4.6. Tampilan Web Saat Parkir Kosong

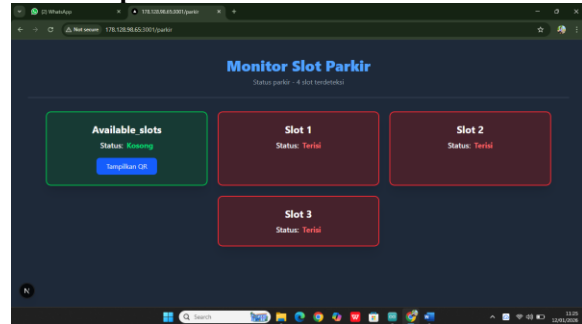


Gambar 11. Tampilan Web Saat Parkir Kosong

Gambar 11 menampilkan antarmuka Monitor Slot Parkir yang menyajikan informasi ketersediaan slot secara real-time. Status slot ditunjukkan dengan warna hijau yang menandakan kondisi kosong, dilengkapi tombol “Tampilkan QR” untuk akses atau identifikasi pengguna. Setiap slot ditampilkan dalam bentuk kartu, sehingga memudahkan pengguna

memantau ketersediaan parkir melalui tampilan web tanpa pengecekan manual.

4.7. Tampilan Web Saat Parkir Terisi



Gambar 12. Tampilan Web Saat Parkir Terisi

Gambar 12 menunjukkan kondisi parkir yang hampir penuh, ditandai dengan sebagian besar kartu slot berwarna merah dengan status terisi. Informasi ini ditampilkan secara jelas pada halaman Monitor Slot Parkir, sehingga pengguna dapat dengan mudah membedakan slot terisi dan kosong melalui perbedaan warna, serta mengetahui kondisi parkir secara cepat sebelum memasuki area parkir.

4.8. Hasil Implementasi Sistem

Setelah prototipe berhasil diimplementasikan, tahap berikutnya adalah melakukan pengujian sistem untuk mengetahui kinerja komponen yang digunakan, baik dari sisi akurasi, respon waktu, maupun kemampuan sinkronisasi data. Pengujian ini dilakukan pada lima aspek utama, yaitu sensor infrared (IR), sensor ultrasonik HC-SR04, servo motor, LCD 16x2, dan Firebase Realtime Database dengan aplikasi web.

4.9. Analisis Hasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *Smart Parking* berbasis IoT mampu berfungsi sesuai tujuan penelitian dengan kinerja yang baik. Sensor IR memiliki akurasi rata-rata 95% dalam mendeteksi kondisi slot parkir, meskipun masih dipengaruhi oleh posisi kendaraan. Sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan akurasi sekitar 97% dengan error rata-rata 1 cm, sehingga efektif untuk mendeteksi kendaraan di pintu masuk dan keluar. Servo motor merespons cepat dengan waktu rata-rata 0,5 detik dalam membuka dan menutup palang. LCD 16x2 berhasil menampilkan informasi slot parkir secara akurat dengan tingkat keberhasilan 100%. Sementara itu, integrasi Firebase dan aplikasi web menunjukkan waktu sinkronisasi rata-rata 1,6 detik, yang tergolong real-time. Secara keseluruhan, prototipe memiliki performa yang baik dan efektif untuk sistem parkir cerdas skala kecil hingga menengah, meskipun masih diperlukan perbaikan pada penempatan sensor IR dan kestabilan koneksi internet.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sistem Smart Parking (4 Slot)

Komponen	Parameter Pengujian	Hasil Rata-rata	Akurasi / Respon	Keterangan
Sensor Infrared (IR)	Deteksi slot kosong/terisi	48 benar / 50	95%	Kesalahan terjadi jika kendaraan parkir miring atau tidak menutupi sensor.
Sensor Ultrasonik HC-SR04	Jarak kendaraan (30–100 cm)	Error 0,1–1,2 cm	97%	Akurat, sensitif terhadap permukaan miring/reflektif.
Servo Motor	Respon buka/tutup palang	0,5 detik	100%	Respon cepat dan stabil jika daya mencukupi.
LCD 16x2 (4 slot)	Tampilan jumlah slot kosong	Sesuai kondisi	100%	Informasi jelas, tampil real-time tanpa keterlambatan.
Firebase & Aplikasi Web	Sinkronisasi data slot (0–4)	1,6 detik	Real-time	Data akurat, bergantung pada kestabilan internet.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian berjudul *Penggunaan Internet of Things untuk Peningkatan Efektivitas dan Efisiensi Sistem Smart Parking*, dapat disimpulkan bahwa sistem Smart Parking yang dikembangkan berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem ini mampu mengintegrasikan perangkat keras berupa mikrokontroler, sensor, dan aktuator dengan aplikasi web sebagai media pemantauan parkir. Sensor yang dipasang pada setiap slot parkir dapat mendeteksi keberadaan kendaraan secara akurat, baik pada kondisi kosong maupun terisi, sehingga status parkir dapat ditentukan dengan baik.

Integrasi antara perangkat keras dan sistem web berjalan optimal, di mana data hasil pembacaan sensor dapat dikirim dan ditampilkan secara real-time pada web monitoring. Antarmuka web yang disediakan juga bersifat informatif karena mampu menampilkan status setiap slot parkir secara jelas melalui perbedaan warna dan keterangan, sehingga memudahkan pengguna dan pengelola parkir dalam memahami kondisi area parkir.

Selain itu, sistem memiliki kemampuan monitoring real-time yang memungkinkan pemantauan kondisi parkir tanpa perlu pengecekan langsung di lokasi, baik saat parkir kosong, sebagian terisi, maupun penuh. Fitur QR Code yang ditampilkan pada slot parkir kosong turut mendukung proses akses atau identifikasi pengguna, sehingga meningkatkan efisiensi dan kemudahan penggunaan sistem. Dengan adanya sistem ini, proses pencarian dan pengelolaan lahan parkir menjadi lebih efisien karena pengguna dapat mengetahui ketersediaan slot sebelum memasuki area parkir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, dapat berfungsi sesuai dengan perancangan. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem parkir cerdas berbasis IoT dan web sebagai solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan keterbatasan dan pengelolaan lahan parkir

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. G. Hernoko, S. Adi Wibowo, and N. Vandyansyah, "PENERAPAN IoT (Internet of

Things) SMART PARKING SYSTEM DAN PENDETEKSI KEBAKARAN DENGAN FITUR MONITORING," *JATI J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 261–267, Feb. 2021, doi: 10.36040/jati.v5i1.3281.

- [2] A. A. Rahmadani, A. A. Putri, D. Dala, M. T. Angka, and M. Rafiq, "Analisis Regresi Logistik Biner Untuk Memprediksi Faktor-Faktor Internal Yang Memengaruhi Keharmonisan Rumah Tangga Menurut Provinsi Di Indonesia Pada Tahun 202," 2023.
- [3] I. R. Ivana and Mohammad Ridwan, "Efektivitas Penggunaan Sistem Parkir Elektronik (E-Parking) Dalam Mewujudkan Smart City di Kota Medan," *J. Adm. Publik*, vol. 19, no. 2, pp. 276–297, Dec. 2023, doi: 10.52316/jap.v19i2.184.
- [4] F. Rahman and S. Sulistiyanto, "Prototipe Palang Pintu Parkir Otomatis dan Informasi Parkir Kendaraan Roda Empat di Pondok Pesantren Nurul Jadid dengan Sensor Infra Red Berbasis Mikrokontroler," *JEECOM J. Electr. Eng. Comput.*, vol. 1, no. 1, Oct. 2019, doi: 10.33650/jecom.v1i1.884.
- [5] H. Hejazi, H. Rajab, T. Cinkler, and L. Lengyel, "Survey of platforms for massive IoT," in *2018 IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT)*, Eger: IEEE, Jan. 2018, pp. 1–8. doi: 10.1109/FIOT.2018.8325598.
- [6] Z. Fasya and G. Ramadhan, "Monitoring Kualitas Air Pertanian dengan Konsep Internet of Things," vol. 1, no. 1, 2023.
- [7] N. Nanda, E. D. A. Eriene, T. A. Tesa Anggraini, and V. S. Vina Sumsari, "Rancang Bangun Sistem Parkir Otomatis Dengan Menggunakan Long Range RFID Reader Berbasis Arduino Uno," *J. Komput. Teknol. Inf. Sist. Inf. JUKTISI*, vol. 4, no. 1, pp. 70–78, Jun. 2025, doi: 10.62712/juktisi.v4i1.333.
- [8] M. Fadhli, S. Soim, T. A. Suryani, K. S. Syahrani, A. S. Perdana, and A. Rosa, "SOSIALISASI DAN PELATIHAN SMART PARKING SISTEM BOOKING IOT BERBASIS ANDROID DI SMKN 2 PALEMBANG," vol. 7, 2024.

- [9] R. B. Alkam, S. Abd. Muin, Suwadiman, and I. Wahyudi, "Analisis Karakteristik dan Ketersediaan Ruang Parkir pada Rumah Sakit Islam Faisal Makassar," *Potensi J. Sipil Politek.*, vol. 22, no. 2, pp. 129–138, Oct. 2020, doi: 10.35313/potensi.v22i2.1895.
- [10] D. E. Mukti, "Sistem Smart Parking Kementerian Komunikasi dan Digital Berbasis Internet of Thing," vol. 4, 2025.
- [11] D. A. G. Pratomo, A. Prajanto, and N. P. M. A. Durya, "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Efisiensi Investasi Pada Perusahaan Sektor Transportasi Periode 2018-2022," *J. Maneksi*, vol. 13, no. 1, pp. 72–82, Mar. 2024, doi: 10.31959/jm.v13i1.2036.
- [12] S. A. Arrahma and R. Mukhaiyar, "Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 60–66, Feb. 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.347.
- [13] M. Z. Iqbal, M. Yunus, H. Pramono, and A. Khamid, "Analisis Volume, Kecepatan, dan Kepadatan Lalu Lintas dengan Metode Greenshields," vol. 1, no. 3, 2023.
- [14] R. A. Deandra, A. Nurmandi, and H. D. Fridayani, "Smart City Policies in Realizing the Quality of Public Services in Yogyakarta City," *J. Ilmu Pemerintah.*, 2024.
- [15] R. Kango and A. Y. Amsal, "Implementasi Sistem Smart Parking Berbasis Internet of Things Di Gedung Parkir Klandasan Kota Balikpapan".
- [16] Z. Bahri, D. Ariansyah, and B. Bunyamin, "EFISIENSI PENGELOLAAN MANAJEMEN PARKIR OFFSTREET TERHADAP PENDAPATAN ASLI DAERAH KOTA BANDA ACEH," *J. Tek. Sipil Dan Teknol. Konstr.*, vol. 8, no. 1, Apr. 2022, doi: 10.35308/jts-utu.v8i1.4287.
- [17] Z. Bahri, D. Ariansyah, and B. Bunyamin, "EFISIENSI PENGELOLAAN MANAJEMEN PARKIR OFFSTREET TERHADAP PENDAPATAN ASLI DAERAH KOTA BANDA ACEH," *J. Tek. Sipil Dan Teknol. Konstr.*, vol. 8, no. 1, Apr. 2022, doi: 10.35308/jts-utu.v8i1.4287.
- [18] J. Sinaga, J. L. Sinambela, S. Pelawi, and M. L. Tinenti, "Gereja Bintang Lima Dalam Pelayanan Ibadah Extravaganza," *J. Kerusso*, vol. 7, no. 2, pp. 1–13, Sep. 2022, doi: 10.33856/kerusso.v7i2.231.
- [19] A. Engga Reswara, J. Dedy Irawan, and F. Xaverius Ariwibisono, "RANCANG BANGUN SISTEM SMART PARKING BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," *JATI J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 6, pp. 12385–12390, Nov. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i6.10546.
- [20] A. M. S. M. Koroy, G. Mandar, and A. H. Muhammad, "RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANAN PINTU RUMAH MENGGUNAKAN ESP32-CAM," *J. Tek. Inform. J-Tifa*, vol. 3, no. 2, pp. 32–36, Sep. 2020, doi: 10.52046/j-tifa.v3i2.1038.
- [21] M. N. Huda, M. S. Zuhrie, N. Kholis, and P. W. Rusimamto, "RANCANG BANGUN KIT MIKROKONTROLER ESP32 BERBASIS IOT SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PADA ELEMEN PEMROGRAMAN DAN APLIKASI MIKROKONTROLER DI SMKN 7 SURABAYA," vol. 14, 2025.
- [22] D. Sugiarto, M. Baehaqi, and E. Subiyanta, "Design Web-Based Attention System Using RFID," *Mestro J. Tek. Mesin Dan Elektro*, vol. 4, no. 01, pp. 25–31, Jun. 2022, doi: 10.47685/mestro.v5i01.382.
- [23] Muhamad Hilmansyah Susanta, "Prototype Alat Pengukur Jarak Aman kendaraan Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Layar LCD Berbasis Arduino Uno," *J. Cakrawala Akad.*, vol. 1, no. 6, pp. 1859–1866, Mar. 2025, doi: 10.70182/JCA.v1i6.4.
- [24] S. Luthfi and M. Rivai, "Rancang Bangun Stasiun Pengisian Daya Nirkabel Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, pp. A240–A245, Jan. 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.56990