JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

Pemodelan Smart Parking Berbasis Internet of Things (IoT) Menuju Transportasi Rendah Emisi di Lingkungan Perkotaan

Fajar Suryani[1,*], Agustina Purwatiningsih[1], Margaretha Evi Yuliana[2]

[1]Fakultas Ilmu Komputer, Teknik Informatika, Universitas Duta Bangsa, Surakarta, Indonesia
[2]Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Ilmu Komunikasi, Universitas Duta Bangsa, Surakarta, Indonesia
Email: [1,*]fajar_suryani@udb.ac.id, [2]agustinapurwa@udb.ac.id, [3]margaretha@udb.ac.id
Email Penulis Korespondensi: fajar_suryani@udb.ac.id[*]
Submitted **05-07-2026**; Accepted **25-08-2026**; Published **31-10-2026**

Abstrak

Peningkatan jumlah kendaraan di kawasan perkotaan menyebabkan kebutuhan ruang parkir semakin tinggi, sementara pengelolaan parkir konvensional masih menimbulkan kesulitan dalam memperoleh informasi ketersediaan slot parkir secara cepat. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan waktu pencarian parkir, kemacetan, dan emisi kendaraan. Penelitian ini bertujuan merancang model arsitektur *Smart Parking* berbasis IoT yang terintegrasi sebagai acuan pengembangan sistem pemantauan parkir secara *real-time*. Metode penelitian menggunakan *Research and Development* (R&D) yang meliputi tahapan identifikasi kebutuhan, studi literatur, perancangan arsitektur, pemodelan sistem, pengembangan *prototype*, dan evaluasi. Model arsitektur yang diusulkan mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi kendaraan, mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali, jaringan Wi-Fi sebagai media komunikasi, *firebase* sebagai layanan penyimpanan data, serta *dashboard* berbasis web sebagai media pemantauan. *Prototype* kemudian dievaluasi menggunakan metode *black box testing* untuk memverifikasi fungsi sistem berdasarkan kesesuaian antara masukan dan keluaran. Hasil pengujian pada 11 skenario menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan rancangan dengan tingkat keberhasilan 100%. Sistem mampu mendeteksi kondisi slot parkir, mengirimkan data ke *Firebase*, serta menampilkan informasi ketersediaan parkir pada *dashboard* web secara *real-time*. Hasil menunjukkan bahwa arsitektur yang diusulkan berhasil diimplementasikan pada prototype dan memenuhi seluruh skenario pengujian. Model yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan awal dalam pengembangan *smart parking* pada lingkungan nyata dengan skala yang lebih luas untuk mendukung pengelolaan parkir yang lebih efisien dan transportasi perkotaan rendah emisi.

Kata Kunci: IoT; *Smart Parking*; *Prototype*; ESP32; *Firebase*; Transportasi

Abstract

The increasing number of vehicles in urban areas has led to a growing demand for parking spaces, while conventional parking management still faces difficulties in providing rapid information on parking slot availability. This condition may increase parking search time, traffic congestion, and vehicle emissions. This study aims to design an integrated IoT-based Smart Parking architectural model as a reference for developing a real-time parking monitoring system. The research employed the Research and Development (R&D) method, consisting of needs identification, literature review, architectural design, system modeling, prototype development, and evaluation. The proposed architectural model integrates an HC-SR04 ultrasonic sensor for vehicle detection, an ESP32 microcontroller as the controller, Wi-Fi as the communication medium, Firebase as the data storage service, and a web-based dashboard as the monitoring interface. The prototype was evaluated using black-box testing to verify system functionality based on the correspondence between inputs and outputs. The results of 11 test scenarios showed that all system functions operated as designed, achieving a 100% success rate. The system was able to detect parking slot conditions, transmit data to Firebase, and display parking availability information on the web dashboard in real time. These results demonstrate that the proposed architecture was successfully implemented in the prototype and fulfilled all testing scenarios. The resulting model can serve as an initial reference for developing smart parking systems in real-world environments at a larger scale to support more efficient parking management and low-emission urban transportation.

Keywords: IoT; Smart Parking; Prototype; ESP32; Firebase; Transportation

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan urbanisasi yang pesat serta meningkatnya kepemilikan kendaraan pribadi telah memberikan dampak yang signifikan terhadap sistem transportasi di berbagai kawasan perkotaan. Peningkatan jumlah kendaraan yang tidak diimbangi dengan pengelolaan infrastruktur transportasi yang memadai menyebabkan berbagai permasalahan, seperti kemacetan lalu lintas, pemborosan konsumsi bahan bakar, meningkatnya waktu tempuh perjalanan, serta tingginya emisi gas rumah kaca yang dihasilkan kendaraan bermotor [1]–[3]. Kondisi tersebut tidak hanya menurunkan kualitas mobilitas masyarakat, tetapi juga meningkatkan konsumsi energi dan emisi kendaraan sehingga menjadi tantangan dalam mewujudkan transportasi perkotaan yang berkelanjutan[4]–[6]. Salah satu permasalahan yang sering diabaikan namun memiliki kontribusi cukup besar terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi kendaraan adalah proses pencarian lokasi parkir (*cruising for parking*), yaitu kondisi ketika pengendara harus berkeliling dalam waktu tertentu untuk menemukan slot parkir yang masih tersedia [7]–[9]. Fenomena ini banyak ditemukan pada kawasan dengan tingkat mobilitas tinggi, seperti pusat perbelanjaan, perkantoran, rumah sakit, kampus, maupun pusat aktivitas masyarakat lainnya yang memiliki kapasitas parkir terbatas.

Aktivitas pencarian parkir yang berlangsung berulang tidak hanya meningkatkan kepadatan lalu lintas di sekitar lokasi parkir, tetapi juga memperbesar konsumsi bahan bakar dan emisi kendaraan akibat waktu berkendara yang lebih lama. Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa pengemudi di kawasan perkotaan dengan tingkat kepadatan tinggi

Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1490
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

dapat menghabiskan hingga sekitar 20% dari total waktu perjalanan hanya untuk menemukan slot parkir yang tersedia [10]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan parkir tidak lagi hanya berkaitan dengan keterbatasan kapasitas lahan, tetapi juga dipengaruhi oleh belum tersedianya sistem informasi yang mampu menyajikan kondisi ketersediaan ruang parkir secara cepat dan akurat [11], [12]. Akibatnya, banyak ruang parkir yang sebenarnya masih kosong tidak dapat dimanfaatkan secara optimal karena pengguna tidak memperoleh informasi mengenai lokasi slot parkir yang tersedia secara *real-time*. Oleh karena itu, penyediaan informasi parkir secara *real-time* menjadi salah satu kebutuhan penting dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir sekaligus mendukung upaya pengurangan konsumsi energi dan emisi kendaraan di kawasan perkotaan [13], [14].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang besar dalam mengatasi permasalahan tersebut melalui integrasi berbagai perangkat sensor, jaringan komunikasi, layanan *cloud*, dan aplikasi berbasis web [15]–[18]. Sejalan dengan perkembangan tersebut, penelitian mengenai *smart parking* berbasis IoT telah berkembang cukup pesat dalam beberapa tahun terakhir. Sebagian solusi menitik beratkan pada peningkatan akurasi deteksi kendaraan, sedangkan penelitian lainnya menitikberatkan pada efisiensi komunikasi data, optimasi algoritma pencarian slot parkir, ataupun integrasi dengan konsep *smart city* [19]–[24]. Kajian literatur menunjukkan bahwa penerapan sistem *smart parking* mampu meningkatkan efisiensi penggunaan ruang parkir, mengurangi waktu pencarian slot parkir, serta memberikan dampak positif terhadap penurunan konsumsi bahan bakar dan emisi kendaraan [25]. Secara komprehensif, arsitektur *smart parking* saat ini tengah ditinjau secara mendalam untuk menentukan arah pengembangan teknologi yang lebih adaptif di masa depan [11]–[14]. Meskipun berbagai penelitian telah menghasilkan beragam implementasi *smart parking* berbasis IoT, sebagian besar yang diusulkan masih bersifat spesifik terhadap kebutuhan implementasi tertentu sehingga belum tersedia model yang mengintegrasikan lapisan sensor, komunikasi data, layanan *cloud*, dan antarmuka pengguna dalam satu kerangka sistem yang utuh [26]. Keberadaan model dapat menjadi aspek penting karena tidak hanya mempermudah proses implementasi sistem, tetapi juga meningkatkan interoperabilitas antar komponen, memudahkan pengembangan pada berbagai skala, serta menjadi acuan bagi penelitian dan implementasi *smart parking* selanjutnya [3].

Selain itu kajian mengenai *smart parking* berbasis IoT telah berkembang pesat, sebagian besar penelitian masih berfokus pada implementasi perangkat keras, pengembangan sistem *monitoring*, atau optimasi teknologi tertentu secara terpisah tanpa mengintegrasikan keseluruhan arsitektur sistem yang mencakup lapisan sensor, komunikasi data, layanan *cloud*, dan antarmuka pengguna dalam satu model yang utuh [27]–[29]. Keterkaitan penerapan *smart parking* dengan upaya mendukung transportasi rendah emisi juga masih belum banyak dibahas secara komprehensif, terutama dalam menganalisis kontribusi sistem terhadap pengurangan waktu pencarian parkir, konsumsi bahan bakar, dan emisi kendaraan [25], [26], [30]. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pemodelan *smart parking* berbasis IoT melalui penyusunan arsitektur sistem *end-to-end* yang mengintegrasikan sensor, komunikasi data, layanan *cloud*, dan *antarmuka berbasis web*. Pemodelan dilakukan dengan menyusun arsitektur sistem, memodelkan aliran data, serta melakukan *proof of concept* (PoC) sebagai validasi awal terhadap konsep yang diusulkan. terletak pada pengembangan model arsitektur Smart Parking end-to-end empat lapisan (device, network, cloud, application) yang dapat dijadikan referensi implementasi berbagai sistem Smart Parking berbasis IoT pada berbagai skala. Dengan demikian, model yang dihasilkan diharapkan menjadi landasan konseptual bagi pengembangan dan implementasi sistem *smart parking* sehingga berpotensi mendukung transportasi rendah emisi di lingkungan perkotaan.

Kajian penelitian terdahulu, menunjukkan sebagian besar pengembangan s*mart parking* masih menitikberatkan pada implementasi perangkat pendeteksi kendaraan atau penyediaan aplikasi pemantauan. Penelitian ini menawarkan kontribusi berupa model arsitektur *smart parking* berbasis *Internet of Things* secara *end-to-end* yang mengintegrasikan lapisan perangkat, komunikasi, *cloud*, dan aplikasi dalam satu kerangka sistem. Model tersebut selanjutnya direalisasikan dalam bentuk *prototype* sebagai *proof of concept* untuk memverifikasi keterhubungan dan fungsi antar komponen yang dirancang.

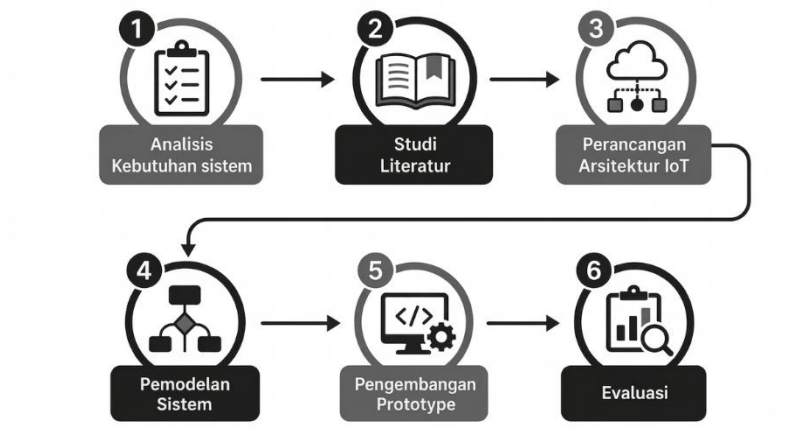
Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan memodelkan arsitektur *smart parking* berbasis IoT yang mampu menyediakan informasi ketersediaan slot parkir secara *real-time* melalui antarmuka berbasis web. Model yang dihasilkan diharapkan menjadi dasar bagi pengembangan sistem *smart parking* untuk mendukung transportasi rendah emisi, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan dan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*), SDG 11 (*Sustainable Cities and Communities*), dan SDG 13 (*Climate Action*).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) pada tahap awal pengembangan teknologi dengan fokus pada perancangan dan pemodelan arsitektur *Smart Parking* berbasis IoT [31]. Penelitian bertujuan menghasilkan model arsitektur yang terintegrasi serta memvalidasi kelayakan implementasinya melalui *prototype* dan *proof of concept* (PoC). Tahapan penelitian terdiri atas identifikasi kebutuhan, studi literatur, perancangan arsitektur, pemodelan sistem, pengembangan *prototype*, dan validasi konsep [32]. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom



Gambar 1. Tahapan penelitian

Gambar 1 menunjukkan bahwa penelitian dilaksanakan secara bertahap, dimulai dari identifikasi kebutuhan untuk menentukan permasalahan dan kebutuhan sistem. Hasil tahap tersebut digunakan sebagai dasar studi literatur dan perancangan arsitektur IoT, yang selanjutnya diterjemahkan ke dalam pemodelan alur sistem. Model yang telah dirancang kemudian direalisasikan dalam bentuk *prototype* untuk menguji keterhubungan antar komponen, mulai dari proses deteksi hingga penyajian informasi. Tahap terakhir berupa evaluasi dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian fungsi *prototype* terhadap skenario pengujian yang telah ditentukan. Keterkaitan antar tahapan tersebut memastikan bahwa pengembangan sistem dilakukan secara sistematis, dengan hasil setiap tahap menjadi masukan bagi tahap berikutnya.

2.1 Identifikasi Kebutuhan

Tahap identifikasi kebutuhan dilakukan untuk menentukan kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem berdasarkan permasalahan pengelolaan ketersediaan parkir dan hasil kajian penelitian terdahulu. Kebutuhan fungsional mencakup kemampuan mendeteksi keberadaan kendaraan pada setiap slot, menentukan status slot kosong atau terisi, menampilkan indikator kondisi slot, mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi, menyimpan data pada layanan cloud, dan menampilkan informasi melalui dashboard berbasis web. Adapun kebutuhan nonfungsional meliputi kemampuan integrasi antarperangkat, konektivitas jaringan, sinkronisasi data, dan kemudahan pemantauan. Hasil tahap ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan komponen serta fungsi yang diintegrasikan dalam model arsitektur.

2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan melalui penelaahan jurnal ilmiah, prosiding, dan buku referensi yang berkaitan dengan Smart Parking, arsitektur IoT, sensor ultrasonik, komunikasi data, layanan cloud, dan dashboard berbasis web. Setiap sumber dianalisis berdasarkan komponen yang digunakan, model komunikasi, media penyimpanan data, antarmuka pemantauan, serta hasil implementasinya. Hasil analisis kemudian disintesis untuk mengidentifikasi karakteristik dan keterbatasan penelitian sebelumnya serta menentukan kebutuhan model yang dikembangkan. Tahap ini menghasilkan dasar konseptual berupa kebutuhan integrasi komponen mulai dari lapisan perangkat hingga aplikasi pengguna dalam satu arsitektur end-to-end.

2.3 Perancangan Arsitektur IoT

Tahap perancangan arsitektur dilakukan dengan menyusun struktur hubungan antar komponen berdasarkan kebutuhan yang telah diidentifikasi. Arsitektur dirancang dalam empat lapisan, yaitu device layer, network layer, cloud layer, dan application layer. Device layer terdiri atas sensor ultrasonik HC-SR04, ESP32, dan indikator LED. Network layer menggunakan jaringan Wi-Fi untuk mengirimkan data dari perangkat menuju layanan cloud. Cloud layer menggunakan Firebase Realtime Database sebagai media sinkronisasi dan penyimpanan data, sedangkan application layer menyediakan dashboard berbasis web untuk menampilkan kondisi setiap slot parkir. Tahap ini menghasilkan model hubungan komponen dan aliran data dari proses deteksi hingga penyajian informasi kepada pengguna.

2.4 Pemodelan Sistem

Tahap pemodelan sistem dilakukan dengan menyusun alur operasional berdasarkan arsitektur yang telah dirancang. Pemodelan menggunakan flowchart untuk mengGambarkan urutan proses mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data oleh ESP32, penentuan status slot, pembaruan indikator LED, pengiriman data melalui jaringan Wi-Fi, penyimpanan pada Firebase Realtime Database, hingga penyajian informasi pada dashboard web. Selain mengGambarkan alur internal sistem, pemodelan juga menunjukkan hubungan antara sistem dan pengguna dalam proses pemantauan informasi ketersediaan parkir. Hasil tahap ini digunakan sebagai pedoman implementasi prototype.

2.5 Pengembangan *Prototype*

Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1492
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

Tahap pengembangan prototype dilakukan dengan merealisasikan model arsitektur dan alur sistem ke dalam bentuk perangkat yang dapat diuji. Perangkat dibangun menggunakan tiga sensor ultrasonik HC-SR04 untuk merepresentasikan tiga slot parkir, ESP32 sebagai pengendali utama, LED sebagai indikator lokal, serta koneksi Wi-Fi untuk komunikasi data. Setiap sensor dihubungkan dengan ESP32 untuk membaca kondisi slot secara independen. Data hasil pembacaan diproses untuk menentukan status kosong atau terisi, kemudian digunakan untuk mengendalikan LED dan dikirimkan ke Firebase Realtime Database. Dashboard web selanjutnya mengambil data yang telah disinkronkan untuk menampilkan kondisi slot kepada pengguna.

2.6 Evaluasi

Tahap evaluasi dilakukan menggunakan metode Black Box Testing dengan menguji fungsi sistem berdasarkan kesesuaian antara kondisi masukan dan keluaran yang dihasilkan. Pengujian dilakukan pada 11 skenario yang merepresentasikan berbagai kombinasi kondisi tiga slot parkir. Parameter pengujian meliputi: (1) kemampuan sensor mendeteksi kondisi slot kosong dan terisi, (2) kesesuaian status slot yang diproses oleh ESP32, (3) respons indikator LED terhadap perubahan kondisi slot, (4) keberhasilan pengiriman dan pembaruan data melalui jaringan Wi-Fi dan Firebase Realtime Database, serta (5) kesesuaian informasi yang ditampilkan pada dashboard web. Setiap skenario dinyatakan valid apabila keluaran sistem sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Tingkat keberhasilan pengujian dihitung berdasarkan perbandingan jumlah skenario yang berhasil dengan jumlah seluruh skenario pengujian. Hasil evaluasi digunakan untuk menentukan apakah prototype telah memenuhi kebutuhan fungsional dan memvalidasi penerapan model arsitektur yang diusulkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian disajikan sesuai dengan tahapan metode penelitian yang telah dirancang, yaitu analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur IoT, pemodelan sistem, pengembangan *prototype*, dan validasi konsep *proof of concept* (PoC). Pembahasan difokuskan pada proses pengembangan model arsitektur *smart parking* berbasis IoT beserta implementasi *prototype* sebagai bentuk pembuktian bahwa arsitektur yang diusulkan dapat diimplementasikan secara fungsional. Selain itu, ditunjukkan pula mekanisme integrasi antara sensor, mikrokontroler, *platform* IoT, dan *dashboard* web dalam menyajikan informasi ketersediaan slot parkir secara *real-time*. Hasil yang diperoleh menjadi dasar untuk menilai kelayakan model arsitektur sebagai acuan pengembangan sistem *smart parking* pada penelitian selanjutnya.

3.1 Identifikasi Kebutuhan

Tahap identifikasi kebutuhan dilakukan untuk menentukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam membangun *prototype smart parking* berbasis IoT. Identifikasi dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan sistem dan kajian literatur sehingga setiap komponen yang dipilih mampu mendukung proses deteksi kendaraan, pengolahan data, komunikasi data, serta penyajian informasi ketersediaan slot parkir secara *real-time*. Hasil identifikasi menjadi dasar dalam penyusunan arsitektur sistem sebelum memasuki tahap pemodelan dan pengembangan *prototype*. Daftar komponen yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Utama

No	Nama Komponen	Jumlah	Fungsi
1	ESP32 NodeMCU-32S	1 buah	Mikrokontroler utama yang mengolah data sensor, mengendalikan indikator LED, serta mengirimkan data ke platform IoT melalui Wi-Fi.
2	Sensor Ultrasonik HC-SR04	3 buah	Mendeteksi keberadaan kendaraan pada masing-masing slot parkir berdasarkan jarak objek terhadap sensor.
3	LED Hijau 5 mm	3 buah	Indikator bahwa slot parkir dalam kondisi kosong.
4	LED Merah 5 mm	3 buah	Indikator bahwa slot parkir dalam kondisi terisi.
5	Resistor 220 Ω	6 buah	Membatasi arus listrik yang mengalir ke LED agar tidak mengalami kerusakan.
6	Breadboard	1 buah	Media perakitan sementara rangkaian elektronik tanpa proses penyolderan.
7	Kabel Jumper Male-Male	±30 buah	Menghubungkan antar pin komponen pada breadboard.
8	Kabel Jumper Male-Female	±10 buah	Menghubungkan modul sensor atau komponen lain dengan ESP32 apabila diperlukan.
9	Adaptor DC 5 V	1 buah	Menyuplai daya utama untuk rangkaian *prototype*.
10	Kabel USB Type-C	1 buah	Menghubungkan ESP32 dengan komputer untuk proses pemrograman serta sebagai sumber catu daya selama pengujian.

Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1493
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

Berdasarkan Tabel 1, pengembangan prototype *smart parking* didukung oleh komponen perangkat keras yang memiliki fungsi saling terintegrasi. ESP32 NodeMCU-32S digunakan sebagai pengendali utama untuk menerima dan mengolah data dari tiga sensor ultrasonik HC-SR04 yang ditempatkan pada masing-masing slot parkir. Hasil pembacaan sensor digunakan untuk menentukan kondisi slot, kemudian ditampilkan secara lokal melalui LED hijau sebagai indikator slot kosong dan LED merah sebagai indikator slot terisi. Resistor berfungsi membatasi arus pada LED, sedangkan *breadboard* dan kabel jumper digunakan untuk menghubungkan seluruh komponen dalam rangkaian. Adaptor DC dan kabel USB Type-C menyediakan kebutuhan daya serta mendukung proses pemrograman dan pengujian ESP32. Kombinasi komponen tersebut membentuk perangkat *prototype* yang digunakan untuk merealisasikan rancangan sistem dan menguji integrasi proses deteksi kondisi parkir hingga pengiriman data melalui jaringan Wi-Fi.

3.2 Studi Literatur

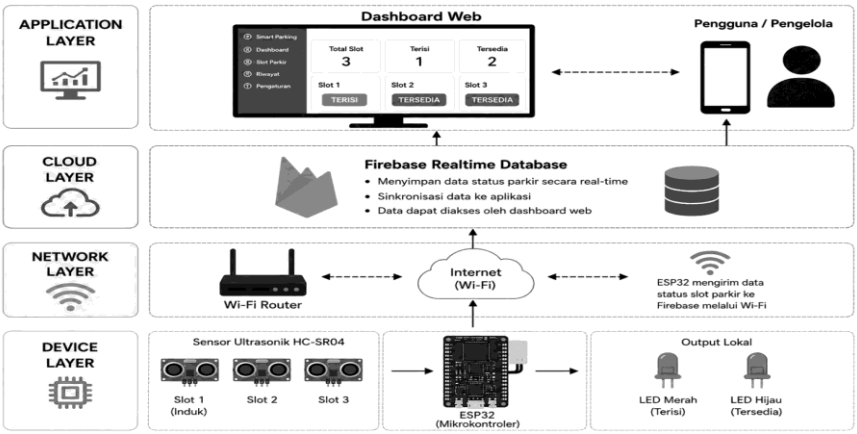
Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori sekaligus mengidentifikasi perkembangan penelitian mengenai *smart parking* IoT. Kajian dilakukan terhadap jurnal nasional dan internasional lima tahun terakhir serta dua buku referensi yang membahas konsep dan arsitektur IoT. Hasil kajian menunjukkan bahwa perkembangan teknologi IoT telah memungkinkan integrasi berbagai perangkat fisik dengan layanan digital sehingga proses akuisisi, pengiriman, penyimpanan, dan penyajian data dapat dilakukan secara otomatis. Selain itu, kedua buku referensi menjelaskan bahwa pemodelan arsitektur merupakan tahapan penting dalam pengembangan sistem IoT karena berfungsi mendefinisikan struktur sistem, hubungan antar komponen, serta alur pertukaran data sebelum sistem direalisasikan menjadi sebuah *prototype* [33], [34].

Berdasarkan sintesis literatur, sebagian besar penelitian *smart parking* memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai pendeteksi keberadaan kendaraan, mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, serta jaringan komunikasi nirkabel untuk mengirimkan data menuju *platform cloud* [11], [12], [17], [27], [29]. Data yang diterima selanjutnya ditampilkan melalui *dashboard* berbasis web atau aplikasi sehingga pengguna dapat memperoleh informasi ketersediaan slot parkir secara real-time. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa penerapan *smart parking* mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan lahan parkir, mengurangi waktu pencarian slot parkir, serta berpotensi menekan konsumsi bahan bakar dan emisi kendaraan akibat berkurangnya aktivitas *cruising for parking* [25], [26], [30].

Meskipun demikian, hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian yang ada masih didominasi oleh pengembangan perangkat keras, sistem *monitoring*, maupun optimasi komunikasi data secara terpisah. Pembahasan mengenai model arsitektur yang mengGambarkan integrasi antara lapisan sensor, komunikasi, layanan *cloud*, basis data, dan antarmuka pengguna masih relatif terbatas. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini menyusun model arsitektur *smart parking* berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor HC-SR04, mikrokontroler ESP32, jaringan Wi-Fi, layanan *Firebase*, dan *dashboard* berbasis web dalam satu arsitektur *end-to-end*. Model yang dihasilkan menjadi dasar dalam pengembangan *prototype* sekaligus memberikan Gambaran aliran data dan hubungan antar komponen sebagai acuan implementasi sistem *smart parking* pada penelitian selanjutnya.

3.3 Perancangan Arsitektur IoT

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan dan studi literatur, tahap selanjutnya adalah merancang arsitektur *smart parking* berbasis IoT. Perancangan arsitektur bertujuan mendefinisikan struktur sistem, fungsi setiap komponen, serta alur komunikasi data yang menghubungkan perangkat sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, layanan *cloud*, dan aplikasi pengguna. Model arsitektur yang dihasilkan menjadi acuan dalam proses pengembangan *prototype* sehingga setiap komponen dapat terintegrasi secara sistematis. Hasil perancangan arsitektur IoT ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur *Smart Parking* berbasis IoT

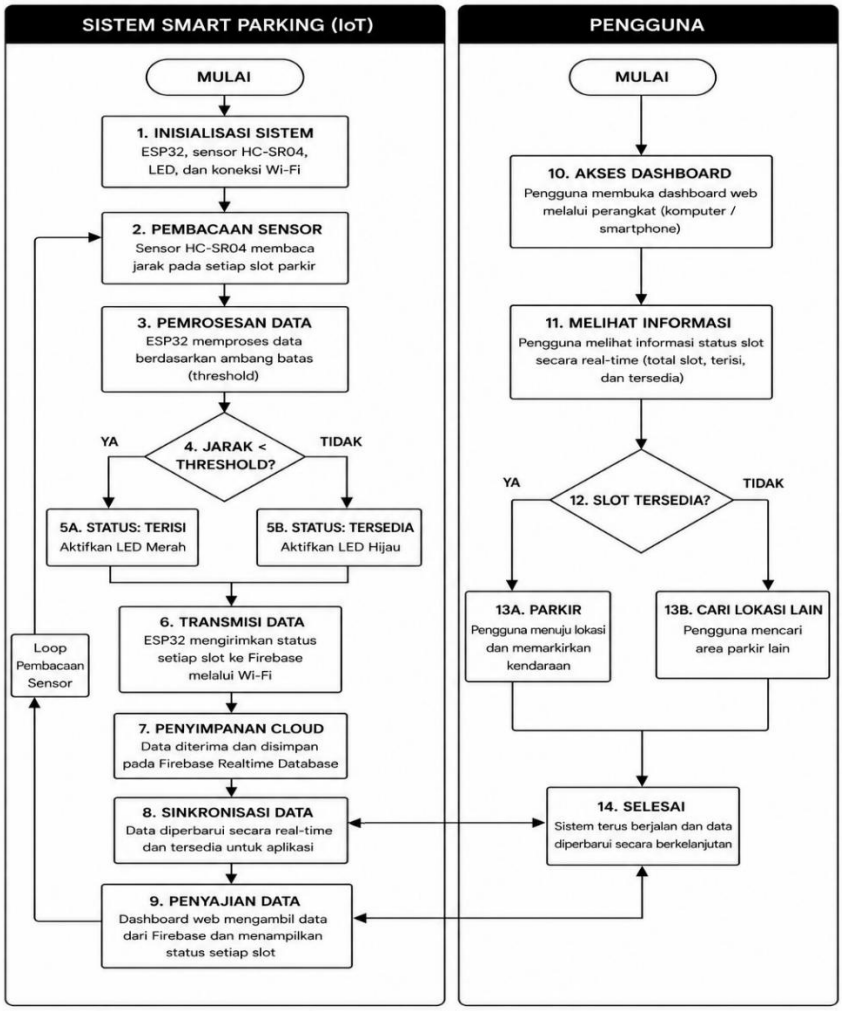
Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1494
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

Gambar 2 menunjukkan arsitektur yang dirancang menggunakan empat lapisan utama, yaitu *device layer*, *network layer*, *cloud layer*, dan *application layer*. Pada *device layer*, tiga sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi keberadaan kendaraan pada setiap slot parkir, kemudian data diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan status slot (kosong atau terisi) serta mengendalikan indikator LED sebagai informasi lokal. Selanjutnya, status setiap slot dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi pada *network layer* menuju layanan *firebase* sebagai media penyimpanan dan sinkronisasi data secara *real-time*. Data yang tersimpan kemudian diakses oleh *dashboard* berbasis web pada *application layer* sehingga pengguna maupun pengelola dapat memantau kondisi seluruh slot parkir secara langsung. Arsitektur ini mengGambarkan alur komunikasi data secara *end-to-end* mulai dari proses akuisisi data oleh sensor hingga penyajian informasi kepada pengguna, sehingga menjadi dasar dalam pengembangan *prototype* Smart Parking yang terintegrasi dan mudah dikembangkan pada skala yang lebih besar.

3.4 Pemodelan Sistem

Tahap pemodelan sistem ini bertujuan untuk mendefinisikan alur proses, mekanisme pertukaran data, serta interaksi antara perangkat, layanan *cloud*, dan pengguna sebelum sistem direalisasikan dalam bentuk *prototype*. Dengan adanya pemodelan sistem, setiap proses yang berlangsung dapat dipahami secara sistematis sehingga memudahkan implementasi, pengujian, maupun pengembangan sistem pada tahap selanjutnya. Hasil pemodelan sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur Kerja Sistem *Smart Parking* berbasis IoT

Gambar 3 menunjukkan alur kerja sistem *smart parking* berbasis IoT yang mengGambarkan interaksi antara sistem dan pengguna. Proses diawali dengan inisialisasi mikrokontroler ESP32, sensor ultrasonik HC-SR04, indikator LED, serta koneksi Wi-Fi. Selanjutnya, sensor melakukan pembacaan jarak pada setiap slot parkir untuk mendeteksi keberadaan kendaraan. Data hasil pembacaan diproses oleh ESP32 dengan membandingkan nilai jarak terhadap ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan sehingga status slot dapat diklasifikasikan sebagai terisi atau tersedia. Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut, sistem mengaktifkan LED merah untuk slot terisi dan LED hijau untuk slot tersedia, kemudian mengirimkan informasi status setiap slot ke *firebase* melalui jaringan Wi-Fi. Data yang tersimpan pada *firebase* selanjutnya disinkronkan secara *real-time* dan ditampilkan pada *dashboard* web. Dari sisi pengguna, *dashboard*

Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1495
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

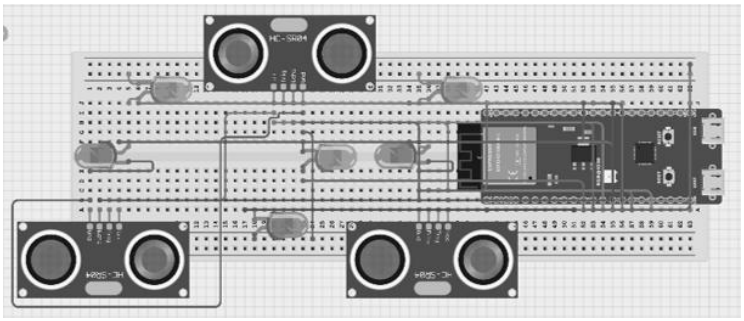
digunakan untuk melihat informasi ketersediaan slot parkir sebelum memasuki area parkir. Apabila slot masih tersedia, pengguna dapat langsung menuju lokasi parkir yang dipilih, sedangkan jika seluruh slot telah terisi pengguna dapat mencari lokasi parkir lain. Selama sistem beroperasi, proses pembacaan sensor, sinkronisasi data, dan pembaruan informasi pada *dashboard* berlangsung secara berulang sehingga kondisi parkir yang ditampilkan selalu sesuai dengan keadaan sebenarnya.

3.5 Pengembangan *Prototype*

Pada tahap ini dilakukan integrasi antara perangkat keras, komunikasi data, layanan cloud, dan dashboard berbasis web sehingga seluruh komponen dapat bekerja sebagai satu sistem yang utuh. Hasil pengembangan prototype meliputi desain rangkaian elektronik, implementasi perangkat keras, serta pengembangan *dashboard* untuk menampilkan informasi ketersediaan slot parkir secara *real-time*.

3.5.1 Desain Rangkaian Elektronik

Tahap pertama dalam pengembangan *prototype* adalah menyusun desain rangkaian elektronik sebagai acuan implementasi perangkat keras. Gambar desain Rangkaian elektronik *smart parking* dapat dilihat pada Gambar 4.

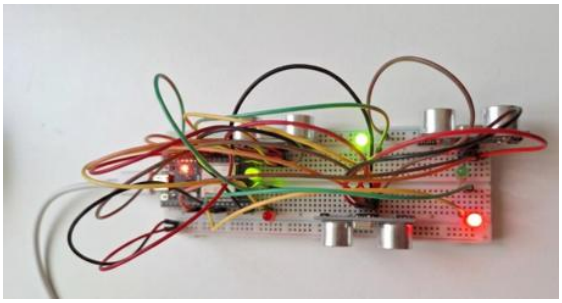


Gambar 4. Desain Rangkaian Elektronik *Smart Parking* berbasis IoT

Gambar 4 memperlihatkan konfigurasi rangkaian elektronik yang dirancang dengan menghubungkan tiga modul sensor ultrasonik HC-SR04 ke mikrokontroler ESP32 melalui jalur *input* dan *output* digital pada *breadboard*. Masing-masing sensor merepresentasikan satu slot parkir dan menghasilkan data kondisi ruang parkir yang selanjutnya diproses oleh ESP32. Hasil pemrosesan diteruskan ke enam LED sebagai indikator visual. Penggunaan *breadboard* memungkinkan setiap koneksi antar komponen disusun secara sistematis sehingga memudahkan proses perakitan, modifikasi, maupun penelusuran koneksi selama tahap pengembangan. Konfigurasi ini juga mendukung integrasi antara proses akuisisi data, pengolahan informasi, dan pengiriman status slot parkir ke *platform cloud* melalui modul Wi-Fi yang telah terintegrasi pada ESP32, sehingga membentuk sebuah sistem *smart parking* yang bekerja secara terpadu

3.5.2 Implementasi *Prototype* IoT

Implementasi *prototype* merupakan hasil perakitan beberapa komponen utama yang terdiri atas mikrokontroler ESP32, tiga sensor ultrasonik HC-SR04, enam lampu indikator LED (hijau dan merah), *breadboard*, serta catu daya. Seluruh komponen dihubungkan sesuai dengan desain rangkaian yang telah dirancang sehingga membentuk sebuah sistem *smart parking* berbasis IoT. Hasil implementasi *prototype* ditunjukkan pada Gambar 5.



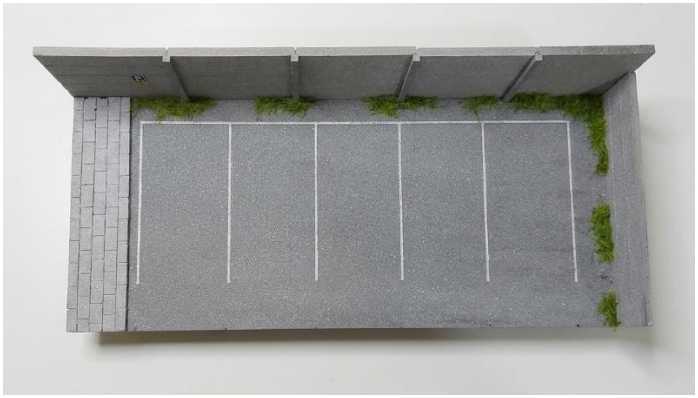
Gambar 5. Implementasi *Prototype Smart Parking* berbasis IoT

Prototype yang telah dirakit mampu mendeteksi kondisi setiap slot parkir melalui sensor ultrasonik, kemudian data diproses oleh ESP32 untuk menentukan status slot dalam kondisi tersedia atau terisi. Informasi tersebut selanjutnya ditampilkan melalui indikator LED sebagai informasi lokal dan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju *firebase* untuk ditampilkan pada *dashboard* web secara *real-time*. *Prototype* ini menjadi dasar dari keseluruhan sistem agar dapat berfungsi sesuai tujuan. Sedangkan pada Gambar 5 menunjukkan miniatur area parkir yang digunakan sebagai media

Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1496
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

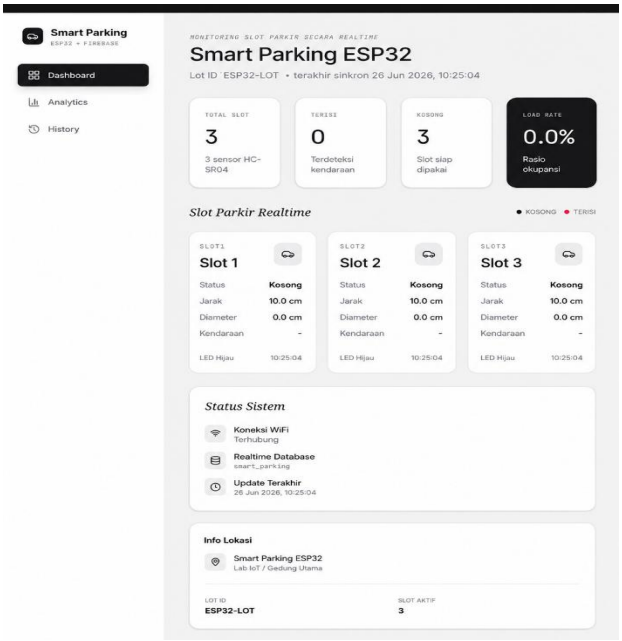
implementasi *prototype*. Miniatur ini menyediakan beberapa slot parkir sebagai simulasi kondisi sebenarnya sehingga proses pendeteksian kendaraan, pengolahan data oleh ESP32, dan pengiriman informasi ke *dashboard* web dapat diuji.



Gambar 6. Miniatur Area Parkir

3.5.3 *Dashboard Smart Parking*

Dashboard smart parking pada Gambar 7 merupakan antarmuka berbasis web yang digunakan untuk menampilkan kondisi area parkir secara *real-time* berdasarkan data yang dikirimkan oleh ESP32 melalui *firebase*. *Dashboard* menyajikan informasi ringkas berupa jumlah total slot, jumlah slot terisi, jumlah slot kosong, serta tingkat okupansi parkir. Selain itu, setiap slot ditampilkan secara terpisah dengan informasi status (terisi atau kosong), jarak hasil pembacaan sensor ultrasonik, serta indikator LED yang aktif. *Dashboard* juga menampilkan status koneksi sistem, informasi sinkronisasi *database*, waktu pembaruan terakhir, dan identitas lokasi parkir. Tampilan ini memudahkan pengguna maupun pengelola dalam memantau ketersediaan slot parkir secara cepat, akurat, dan dapat diakses melalui jaringan internet tanpa harus melakukan pengecekan langsung di lokasi parkir.



Gambar 7. *Dashboard Smart Parking*

3.6 Evaluasi

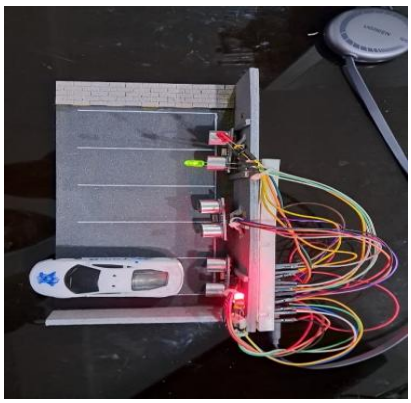
Tahap evaluasi dilakukan menggunakan metode *black box testing* untuk mengetahui apakah setiap fungsi pada sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan tanpa memperhatikan struktur program atau kode sumber. Pengujian difokuskan pada kesesuaian antara masukan (input) yang diberikan dengan keluaran (output) yang dihasilkan oleh sistem. Skenario pengujian meliputi deteksi kondisi slot parkir oleh sensor ultrasonik, perubahan indikator LED, pengiriman data dari ESP32 ke *firebase* melalui jaringan Wi-Fi, serta pembaruan informasi pada *dashboard* web secara *real-time*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Ketika sensor mendeteksi adanya kendaraan, sistem berhasil mengubah status slot menjadi terisi, menyalakan LED merah, mengirimkan data ke *Firebase*, dan memperbarui informasi pada *dashboard* web. Sebaliknya, saat kendaraan

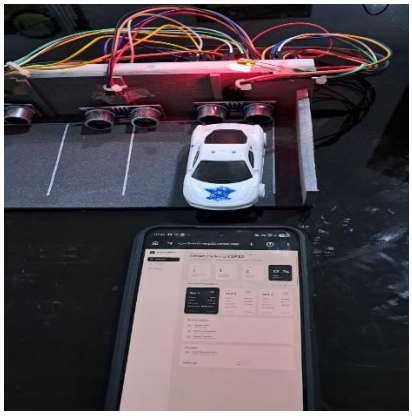
Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1497
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

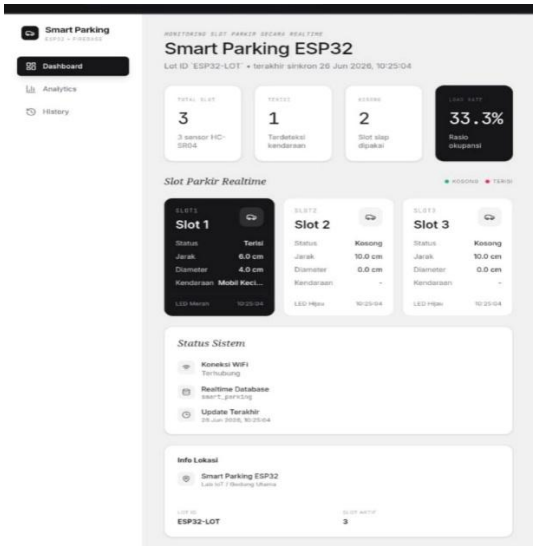
tidak terdeteksi, sistem mengubah status slot menjadi kosong, menyalakan LED hijau, dan menampilkan perubahan tersebut pada dashboard secara *real-time*. Selain itu, komunikasi antara ESP32 dan *Firebase* berlangsung dengan baik selama perangkat terhubung ke jaringan Wi-Fi. Gambar proses evaluasi dapat dilihat pada Gambar 8-10.



Gambar 8. Evaluasi *Prototype Smart Parking*



Gambar 9 Evaluasi *Prototype Smart Parking* dan *Dashboard*



Gambar 10 Evaluasi *Dashboard* Saat *Prototype* Dijalankan

Gambar 8 menunjukkan hasil implementasi dan pengujian *prototype*. Pada pengujian ini, sebuah miniatur mobil ditempatkan pada salah satu slot parkir sehingga sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan kendaraan. Hasil deteksi diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang kemudian mengubah status slot menjadi **terisi**, ditandai dengan LED merah yang menyala pada slot tersebut. Pada saat yang sama, data dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke *firebase* dan secara otomatis diperbarui pada *dashboard* web yang diakses melalui perangkat *smartphone* yang ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar 10 merupakan detail tampilan *Dashboard* yang menampilkan informasi jumlah slot, kondisi setiap slot parkir, serta tingkat okupansi secara *real-time*. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa proses deteksi, pengolahan data, pengiriman

Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1498
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.9964
Hal 1490-1501
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

informasi, dan visualisasi pada *dashboard* telah berjalan secara terintegrasi sesuai dengan rancangan sistem. Adapun hasil uji dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji *Prototype* dan *Dashboard*

NO	SLOT 1			SLOT 2			SLOT 3		
	Kondisi	Lampu	Waktu Respon	Kondisi	Lampu	Waktu Respon	Kondisi	Lampu	Waktu Respon
1	ISI	Nyala	10s	ISI	Nyala	10s	KOSONG	Mati	10s
2	KOSONG	Mati	10s	ISI	Nyala	10s	ISI	Nyala	10s
3	ISI	Nyala	10s	KOSONG	Mati	10s	ISI	Nyala	10s
4	KOSONG	Mati	10s	KOSONG	Mati	10s	KOSONG	Mati	10s
5	KOSONG	Mati	10s	ISI	Nyala	10s	ISI	Nyala	10s
6	ISI	Nyala	10s	ISI	Nyala	10s	ISI	Nyala	10s
7	ISI	Nyala	10s	KOSONG	Mati	10s	KOSONG	Mati	10s
8	ISI	Nyala	10s	KOSONG	Mati	10s	ISI	Nyala	10s
9	KOSONG	Mati	10s	ISI	Nyala	10s	KOSONG	Mati	10s
10	ISI	Nyala	10s	ISI	Nyala	10s	ISI	Nyala	10s

Berdasarkan pengujian pada 11 skenario, seluruh fungsi *prototype* menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kondisi yang diberikan. Perubahan kondisi pada setiap slot berhasil dideteksi dan menghasilkan respons indikator yang sesuai, yaitu LED berwarna merah ketika slot berada dalam kondisi terisi dan berwarna hijau ketika slot kosong. Sistem juga mampu menangani berbagai kombinasi kondisi pada tiga slot secara konsisten. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses deteksi, pengolahan status, dan pengendalian indikator telah berjalan sesuai dengan rancangan. Dengan seluruh skenario memperoleh status valid, tingkat keberhasilan pengujian fungsional mencapai 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat sensor, ESP32, jaringan Wi-Fi, Firebase Realtime Database, dan dashboard web dapat bekerja sesuai dengan alur arsitektur yang dirancang.

Hasil penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian *smart parking* sebelumnya yang memanfaatkan sensor untuk mendeteksi keberadaan kendaraan, mikrokontroler sebagai pengolah data, serta jaringan komunikasi untuk mengirimkan informasi ketersediaan parkir kepada pengguna [1], [2], [5], [12]. Perbedaannya, penelitian terdahulu lebih banyak menitikberatkan pada implementasi sistem pendeteksian dan penyediaan informasi parkir, sedangkan penelitian ini memfokuskan pembahasan pada pemodelan arsitektur IoT secara *end-to-end*. Keberhasilan seluruh skenario pengujian menunjukkan bahwa model yang terdiri atas lapisan *device, network, cloud,* dan *application* dapat direalisasikan dalam bentuk *prototype* dan mendukung integrasi proses mulai dari akuisisi data hingga penyajian informasi kepada pengguna.

Waktu pembaruan informasi yang diperoleh selama pengujian adalah sekitar 10 detik pada setiap skenario. Nilai tersebut merupakan waktu pembaruan yang digunakan dalam proses pengujian dan belum dapat disimpulkan sebagai nilai *latency* komunikasi secara spesifik. Waktu yang dibutuhkan sistem dipengaruhi oleh proses pembacaan sensor, pengolahan data pada ESP32, pengiriman melalui jaringan Wi-Fi, sinkronisasi data pada *firebase*, dan pembaruan informasi pada dashboard. Karakteristik tersebut sejalan dengan penelitian *smart parking* berbasis IoT sebelumnya yang menunjukkan bahwa keberhasilan penyampaian informasi tidak hanya ditentukan oleh perangkat sensor, tetapi juga oleh proses komunikasi dan integrasi antar komponen sistem [6]. Oleh karena itu, penelitian ini masih membatasi evaluasi pada kesesuaian fungsi, sedangkan pengukuran *latency* secara terpisah pada setiap tahapan komunikasi belum dilakukan.

Prototype yang dikembangkan masih memiliki keterbatasan karena pengujian dilakukan pada tiga slot parkir dalam lingkungan yang terkontrol. Kondisi tersebut belum sepenuhnya menggambarkan implementasi *smart parking* pada area parkir nyata dengan jumlah kendaraan dan perangkat yang lebih besar. *Prototype* pada penelitian ini digunakan sebagai *proof of concept* untuk memvalidasi model arsitektur yang diusulkan. Selain itu, kinerja sistem masih bergantung pada stabilitas jaringan Wi-Fi dan belum dilakukan pengujian terhadap peningkatan jumlah perangkat, kondisi lingkungan yang beragam, maupun pengukuran akurasi sensor secara kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu melakukan implementasi pada lingkungan nyata dengan skala yang lebih luas serta mengevaluasi *latency*, akurasi deteksi, kestabilan komunikasi, dan kemampuan sistem dalam menangani jumlah slot yang lebih besar.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan *prototype smart parking* berbasis IoT untuk monitoring ketersediaan slot parkir secara terintegrasi dan *real-time*. Sistem yang mengintegrasikan HC-SR04, ESP32, *Firebase*, dan *dashboard* web berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan. Hasil *black box testing* terhadap 11 skenario menunjukkan tingkat keberhasilan 100%, sehingga *prototype* dinyatakan berfungsi sesuai kebutuhan dan layak sebagai *proof of concept* sistem *smart parking* berbasis IoT. Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan model arsitektur dan *prototype smart parking* yang dapat menjadi dasar pengembangan sistem monitoring parkir pada skala yang lebih luas.

Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1499
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Meskipun masih terbatas pada lingkungan *prototype*, hasil penelitian menunjukkan potensi penerapan IoT untuk mendukung efisiensi pengelolaan parkir melalui penyediaan informasi slot secara *real-time*. Penelitian selanjutnya perlu menguji sistem pada lingkungan parkir nyata dengan jumlah slot lebih banyak serta mempertimbangkan kestabilan jaringan, variasi kendaraan, dan pengembangan fitur pendukung seperti notifikasi, navigasi slot, dan analisis okupansi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM), Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas dukungan pendanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Universitas Duta Bangsa Surakarta atas dukungan fasilitas dan pendampingan sehingga penelitian mengenai pemodelan *Smart Parking* berbasis IoT ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENCES

[1] M. Assim and A. Al-Omary, "A survey of IoT-based smart parking systems in smart cities," *IET Conf. Proc.*, vol. 2020, no. 6, pp. 35–38, 2021, doi: 10.1049/ICP.2021.0911.

[2] J. S. O. Medina *et al.*, "An Overview of Autonomous Parking Systems: Strategies, Challenges, and Future Directions," *Sensors 2025, Vol. 25*, vol. 25, no. 14, Jul. 2025, doi: 10.3390/S25144328.

[3] S. S. Channamallu, S. Kermanshachi, J. M. Rosenberger, and A. Pamidimukkala, "Smart parking systems: A comprehensive review of digitalization of parking services," *Green Energy Intell. Transp.*, vol. 5, no. 1, p. 100293, Feb. 2026, doi: 10.1016/J.GEITS.2025.100293.

[4] C. Zou *et al.*, "Evaluating traffic emission control policies based on large-scale and real-time data: A case study in central China," *Sci. Total Environ.*, vol. 860, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160435.

[5] A. O. Elfaki *et al.*, "A Smart Real-Time Parking Control and Monitoring System," *Sensors 2023, Vol. 23*, vol. 23, no. 24, Dec. 2023, doi: 10.3390/S23249741.

[6] D. B. Santoso, H. Muhammad Jumasa, I. Y. Pasa, and A. Info, "Prototipe Tempat Parkir Menggunakan ESP-32 Terintegrasi RFID dan Sensor Infrared Untuk Monitoring Slot Parkir," *INTEK J. Inform. dan Teknol. Inf.*, vol. 8, no. 1, pp. 78–87, May 2025, doi: 10.37729/INTEK.V8I1.6365.

[7] R. I. Xiao, M. Jaller, * Runhua, and I. Xiao, "Prediction framework for parking search cruising time and emissions in dense urban areas," *Transp. 2023 524*, vol. 52, no. 4, pp. 1289–1317, Dec. 2023, doi: 10.1007/S11116-023-10455-4.

[8] X. Sui, X. Ye, T. Wang, X. Yan, J. Chen, and B. Ran, "Microscopic Simulating the Impact of Cruising for Parking on Traffic Efficiency and Emission with Parking-and-Visit Test Data," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 15, p. 9127, Aug. 2022, doi: 10.3390/IJERPH19159127.

[9] M. Ur Rehman and M. A. Shah, "A smart parking system to minimize searching time, fuel consumption and CO2 emission," *ICAC 2017 - 2017 23rd IEEE Int. Conf. Autom. Comput. Addressing Glob. Challenges through Autom. Comput.*, Oct. 2017, doi: 10.23919/ICONAC.2017.8082088.

[10] B. Assemi, D. Baker, and A. Paz, "Searching for on-street parking: An empirical investigation of the factors influencing cruise time," *Transp. Policy*, vol. 97, pp. 186–196, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.TRANPOL.2020.07.020.

[11] N. Cahyadi, P. Dorand, N. R. F. Rozi, L. A. Haq, and R. I. Maulana, "A Literature Review for Understanding the Development of Smart Parking Systems," *J. Informatics Commun. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 46–56, Dec. 2023, doi: 10.52661/J_ICT.V5I1.196.

[12] G. R. Koten *et al.*, "Penerapan internet of things pada smart parking system untuk kebutuhan pengembangan smart city," *J. Tek. Ind. dan Manaj. Rekayasa*, vol. 1, no. 1, pp. 49–59, Jun. 2023, doi: 10.24002/JTIMR.V1I1.7204.

[13] D. E. Mukti, "Sistem Smart Parking Kementerian Komunikasi dan Digital Berbasis Internet of Thing," *J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 2, pp. 10–19, Oct. 2025, doi: 10.35473/JAMASTIKA.V4I2.4122.

[14] X. Li *et al.*, "Applying smart parking system with internet of things (IoT) design," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 725, no. 1, p. 012095, Jan. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012095.

[15] F. Suryani, Nurchim, and I. P. Prasetya, "Perancangan IoT-Based Sport Health Assistant untuk Monitoring Kesehatan Saat Berolahraga," *J. Sains, Nalar, dan Apl. Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 2, pp. 190–199, Jul. 2025, doi: 10.20885/SNATI.V4.I2.40328.

[16] S. S. Channamallu, S. Kermanshachi, J. M. Rosenberger, and A. Pamidimukkala, "Exploring Urban Parking Solutions: A Literature Review of Predictive Occupancy Models," *Int. J. Intell. Transp. Syst. Res. 2025 232*, vol. 23, no. 2, pp. 991–1007, Apr. 2025, doi: 10.1007/S13177-025-00495-8.

[17] H. Zulfiqar, H. M. Ul Haque, F. Tariq, and R. M. Khan, "A survey on smart parking systems in urban cities," *Concurr. Comput. Pract. Exp.*, vol. 35, no. 15, p. e6511, Jul. 2023, doi: doi: 10.1002/CPE.6511.

[18] F. S. FF Rahman, R Susanto, "Implementasi Smart Energy Meter dan Controlling Alat Listrik Pada Rumah Pintar Berbasis IoT," *JUPITER (JURNAL Pendidik. Tek. ELEKTRO)*, vol. 9, no. 2, pp. 64–74, 2024.

[19] D. Ashok, A. Tiwari, and V. Jirge, "Smart Parking System using IoT Technology," *Int. Conf. Emerg. Trends Inf. Technol. Eng. ic-ETITE 2020*, Feb. 2020, doi: 10.1109/IC-ETITE47903.2020.457.

[20] S. Rana and S. Painuly, "Automated Parking Systems: A Review," *Proc. - 4th IEEE 2023 Int. Conf. Comput. Commun. Intell. Syst. ICCCIS 2023*, pp. 914–919, 2023, doi: 10.1109/ICCCIS60361.2023.10425588.

[21] S. G. Eladl, "Effective Smart parking systems," *Nile J. Commun. Comput. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 0–0, Jun. 2025, doi: 10.21608/NJCCS.2025.369732.1045.

[22] G. Celik, U. D. Ulusar, A. Sarsenbay, and A. Taleb-Ahmed, "Innovative Parking Solutions in Smart Cities," *UBMK 2023 - Proc. 8th Int. Conf. Comput. Sci. Eng.*, pp. 51–56, 2023, doi: 10.1109/UBMK59864.2023.10286713.

[23] B. Sutisna and D. Novita, "Implementasi Internet of Things (IoT) dan Sensor Cerdas dalam Optimalisasi Manajemen Sistem Parkir," *MUARA Tek. J. Ilm. Ilmu Tek. Mesin, Ind. Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–20, Jul. 2025.

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

[24] J. J. Barriga *et al.*, "Smart Parking: A Literature Review from the Technological Perspective," *Appl. Sci. 2019, Vol. 9*, vol. 9, no. 21, Oct. 2019, doi: 10.3390/APP9214569.

[25] I. Mutambik and I. Mutambik, "Sustainable IoT-Enabled Parking Management: A Multiagent Simulation Framework for Smart Urban Mobility," *Sustain. 2025, Vol. 17*, vol. 17, no. 14, Jul. 2025, doi: 10.3390/SU17146382.

[26] F. A. Alaba, A. Oluwadare, U. Sani, A. A. Oriyomi, A. O. Lucy, and O. Najeem, "Enabling Sustainable Transportation Through IoT and AIoT Innovations," *Lect. Notes Data Eng. Commun. Technol.*, vol. 192, pp. 273–291, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-53433-1_14.

[27] M. A. Ala'anzy, A. Abilakim, R. Zhanuzak, and L. Li, "Real time smart parking system based on IoT and fog computing evaluated through a practical case study," *Sci. Reports 2025 151*, vol. 15, no. 1, pp. 33483-, Sep. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-15507-6.

[28] A. Floris, S. Porcu, L. Atzori, and R. Girau, "A Social IoT-based platform for the deployment of a smart parking solution," *Comput. Networks*, vol. 205, p. 108756, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.COMNET.2021.108756.

[29] W. A. Jabbar, L. Y. Tiew, and N. Y. Ali Shah, "Internet of things enabled parking management system using long range wide area network for smart city," *Internet Things Cyber-Physical Syst.*, vol. 4, pp. 82–98, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.IOTCPS.2023.09.001.

[30] F. Al-Turjman, R. Salama, and C. Altrjman, "Overview of IoT Solutions for Sustainable Transportation Systems," *NEU J. Artif. Intell. Internet Things*, vol. 2, no. 3, Jul. 2023, [Online]. Available: https://dergi.neu.edu.tr/index.php/aiit/article/view/729.

[31] M. R. Wahyudi, W., & Basirung, "Pengembangan Media Sistem Kerja Sensor Berbasis Internet of Things (IoT) pada Program Industri 4.0 SMK," *J. Teknodik*, vol. 27(2), pp. 47–59, doi: https://doi.org/10.32550/teknodik.vi.1084.

[32] M. A. Riyadatul Muthmainnah, *Metodologi Penelitian Kualitatif, Kuantitatif dan RnD - Google Books*. Tujuh Pustaka Penerbit, 2025.

[33] Y. D. Prabowo *et al.*, *Internet of Things " Konsep dan Implementasi".* EUREKA MEDIA AKSARA, 2024.

[34] Erwin et al., *PENGANTAR & PENERAPAN INTERNET OF THINGS : Konsep Dasar & Penerapan IoT Di Berbagai Sektor*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.

Copyright © 2026 The **Fajar Suryani**, Page 1501
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License