

Integration of Cameras and IoT for Parking Capacity Management Using the YOLOv8 Algorithm

Article History:

Received

7 April 2026

Revised

9 June 2026

Accepted

28 July 2026

HAYADI HAMUDA¹, ANJAR SETIAWAN²¹Sistem Komputer, Universitas Pamulang, Indonesia²Sistem Informasi, Universitas Pamulang, Indonesia

Email : dosen02886@unpam.ac.id

ABSTRAK

Pengelolaan parkir di lingkungan masjid masih menghadapi kendala karena kendaraan belum terpantau dengan baik. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan kapasitas parkir berbasis kamera dan Internet of Things (IoT) menggunakan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi kendaraan secara otomatis. Sistem dibangun dengan Python dan pemrosesan citra digital untuk mendeteksi kendaraan masuk dan keluar. Informasi kapasitas parkir ditampilkan melalui LCD I2C 20x4 secara real-time dan antarmuka web serta disimpan pada Firebase Realtime Database. Pengujian menggunakan metode black-box menunjukkan sistem berjalan dengan baik, sedangkan evaluasi System Usability Scale (SUS) memperoleh skor 90 dengan kategori sangat baik. Hasil deteksi kendaraan mencapai akurasi 66,67% pada kondisi pencahayaan optimal. Sistem ini diharapkan dapat membantu pengelolaan parkir masjid menjadi lebih efektif dan efisien.

Kata kunci: IoT, ESP32-CAM, Firebase, Algoritma YOLOv8, Area Parkir Masjid

ABSTRACT

Parking management in the mosque environment still faces challenges because vehicles are not being monitored properly. This research develops a parking capacity monitoring system based on cameras and the Internet of Things (IoT) using the YOLOv8 algorithm to automatically detect vehicles. The system is built with Python and digital image processing to detect vehicles entering and exiting. Parking capacity information is displayed in real-time thru a 20x4 I2C LCD and a web interface, and is stored in the Firebase Realtime Database. Testing using the black-box method shows that the system runs well, while the System Usability Scale (SUS) evaluation received a score of 90, categorized as very good. The vehicle detection results achieved an accuracy of 66.67% under optimal lighting conditions. This system is expected to help make mosque parking management more effective and efficient.

Keywords: IoT, ESP32-CAM, Firebase, YOLOv8 Algorithm, Mosque Car Park

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Aktivitas parkir saat ini masih sepenuhnya bergantung pada petugas di lokasi untuk mengawasi kendaraan. Salah satu kendala internal pengaturan parkir pada pendataan secara manual mengenai ketersediaan zona parkir serta penataan kendaraan yang kurang teratur. Masjid merupakan tempat ibadah yang penting dan mencerminkan nilai-nilai komunitas muslim. Oleh karena itu, masjid layak dikelola secara profesional, meliputi sisi infrastruktur fungsional sistem pendukung karena menunjang keberlangsungan dan efektivitas operasionalnya **(Alsubaie, 2025)**. Kemacetan di area parkir masjid dapat menyebabkan kondisi parkir menjadi padat serta kurang terorganisir, akibatnya sebagian jamaah harus memarkirkan kendaraan di pinggir jalan. Tingginya tingkat keterisian parkir serta kurangnya informasi mengenai ketersediaan tempat parkir membuat pengendara harus berkeliling untuk mencari slot kosong. Kondisi ini dapat menyebabkan jamaah terlambat mengambil wudu sebelum shalat. Selain itu, pengendara yang tetap masuk ke tempat parkir yang situasi padat bisa memicu kemacetan di area masuk masjid **(Patel, dkk, 2024)**.

Kondisi ini memaksa pemilik kendaraan untuk meluangkan waktu lebih guna mencari slot parkir yang tersedia. Akibatnya, penegakan aturan metode parkir manual terbukti tidak optimal dalam menangani masalah parkir. Oleh karena itu, sistem pemantauan parkir sangat dibutuhkan agar pengelola dapat memantau kondisi area parkir dengan lebih mudah. Informasi mengenai ketersediaan tempat parkir juga dapat meningkatkan kenyamanan pengunjung sekaligus mendukung kelestarian lingkungan **(Bin, dkk, 2025)**. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, masjid memerlukan platform parkir pintar berbasis IoT yang terintegrasi dengan kamera, sensor agar menyediakan informasi ketersediaan parkir dapat dipantau secara real-time dan waktu pencarian tempat parkir oleh jamaah dapat diminimalkan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem IoT berbasis kamera guna melakukan pemantauan terhadap aktivitas kendaraan di tempat parkir masjid. Informasi ketersediaan tempat parkir ditampilkan secara real-time di panel LCD maupun pada situs web yang terhubung dengan aplikasi pemantauan **(Kumar, dkk, 2025)**.

YOLO merupakan metode deteksi objek yang unggul karena mampu memprediksi lokasi objek dan klasifikasinya secara bersamaan dalam satu proses inferensi. Keunggulan ini memungkinkan deteksi objek dilakukan secara cepat dan real-time sehingga cocok digunakan pada perangkat dengan keterbatasan perangkat keras. YOLOv8 sebagai versi terbaru menawarkan peningkatan akurasi deteksi melalui optimasi arsitektur dan ekstraksi fitur yang lebih baik **(Liu, dkk, 2024)**. Dalam penelitian ini, YOLOv8 digunakan untuk mendeteksi kendaraan motor dan mobil yang memasuki lokasi parkir masjid dipantau melalui sistem yang telah terintegrasi dengan perangkat Internet of Things (IoT). Rincian jumlah dan distribusi tempat parkir yang dapat diakses sudah terisi ditampilkan secara real-time melalui panel LCD, baik untuk sepeda motor maupun mobil. Dengan sistem ini, jamaah dapat lebih mudah menemukan tempat parkir, sedangkan pengelola masjid dapat mengelola area parkir dengan lebih efektif dan efisien **(Kurnia, dkk, 2025)**.

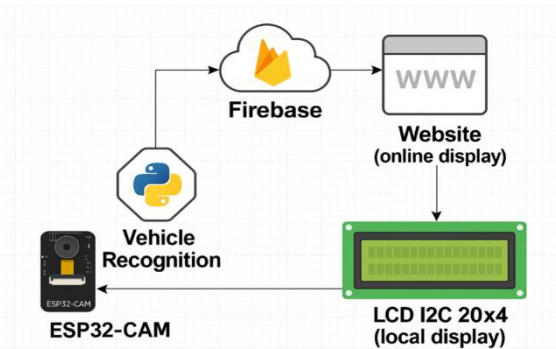
Tinjauan pustaka ini membahas beberapa penelitian terkait deteksi kendaraan berbasis YOLO. Penelitian oleh **(Riskiansyah, dkk, 2025)** merancang sistem deteksi pelat nomor kendaraan menggunakan YOLOv8 dengan tingkat presisi dan recall yang tinggi, namun belum terintegrasi dengan IoT maupun pemantauan real-time. Penelitian lain menggunakan YOLOv8 untuk mendeteksi kondisi kantuk pengemudi melalui analisis video, tetapi belum mendukung deteksi pelanggaran parkir atau sistem pemantauan berbasis web. Selain itu, **(Abdul, dkk, 2025)** mengembangkan sistem identifikasi kendaraan menggunakan YOLOv7 yang efektif secara real-time, namun belum memanfaatkan teknologi IoT dan tidak berfokus pada pengelolaan

parkir. Penelitian lain memanfaatkan YOLOv8 untuk pelacakan dan penghitungan kendaraan dengan akurasi tinggi, tetapi hanya berfokus pada jumlah kendaraan tanpa mempertimbangkan durasi parkir maupun peringatan berbasis IoT. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini mengembangkan sistem deteksi kendaraan roda dua dan roda empat secara real-time pada area parkir masjid dengan integrasi Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan ESP32-CAM, LCD I2C 20x4, dan dashboard berbasis web untuk menampilkan informasi jumlah slot parkir, status kendaraan masuk dan keluar, serta ketersediaan parkir secara real-time. Pendekatan ini diharapkan dapat membantu pengelolaan parkir masjid menjadi lebih efektif dan terintegrasi (**Hamuda, dkk, 2025**).

2. METODE

2.1 Diagram Sistem Kerja

Penerapan sistem manajemen kapasitas parkir berbasis IoT (Internet of Things) ini menggunakan alur kerja terstruktur dan real-time untuk pengumpulan, pemrosesan, transmisi, dan penyajian data dari modul ESP32-CAM diintegrasikan dengan papan prototipe dan layar Informasi parkir mobil ditampilkan melalui layar LCD I2C 20x4, sementara kamera berfungsi untuk mengambil foto mobil. Analisis gambar dilakukan melalui Algoritma YOLOv8 yang diprogram dengan python secara otomatis mengidentifikasi mobil dan status pergerakannya. Informasi hasil deteksi ini ditampilkan baik melalui situs web maupun layar LCD I2C 20x4. Diagram sistem dirancang menggunakan platform draw.io. Sistem ini terdiri dari empat komponen utama: blok pemrosesan, blok komunikasi dan penyimpanan data, serta blok aplikasi pengguna, seperti yang tercantum di Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Sistem kerja Kapasitas Parkir

1. Blok Pemrosesan

Modul ESP32-CAM berfungsi sebagai unit pengendali utama, yang bertugas mengambil foto kendaraan dan mengirimkan data tersebut ke server untuk diproses menggunakan algoritma YOLOv8, data deteksi secara otomatis dikirimkan ke basis data real-time Firebase sekaligus mengawasi keseluruhan sistem. Perangkat ini dipasang pada papan prototipe (breadboard) untuk memungkinkan konektivitas dengan komponen tambahan dan bagian ini terpasang ke arah ESP32-CAM terhubung melalui empat pin, yaitu GND (ground), VCC (tegangan), SDA, dan SCL, dan dua jalur komunikasi I2C, yaitu SDA yang terhubung ke pin IO13 dan SCL ke pin IO14 (**Hamuda, 2025**).

2. Blok Komunikasi dan Penyimpanan Data

Data kendaraan yang terdeteksi disimpan ke dalam Firebase, kemudian keterangan tersebut diperlihatkan secara realtime baik di LCD I2C 20x4 maupun secara online. Panel

LCD menyajikan ringkasan yang meliputi jumlah total dan ketersediaan tempat parkir, jenis serta kondisi kendaraan, serta waktu masuk dan keluar kendaraan. Website ini menyediakan data secara lengkap dengan fitur input secara manual. Sistem ini akan melaju sampai dilakukan reset, untuk menghapus seluruh data dan mengulangi prosedur dari awal.

3. Blok Aplikasi Pengguna dan LCD

Evaluasi situs web memanfaatkan metodologi System Usability Scale (SUS) guna mengukur kegunaan serta kemudahan penggunaan menurut pengalaman pengguna. Para peserta diminta mengisi kuesioner berjumlah 10 pertanyaan yang kemudian dikonversi ke skor SUS sesuai metode baku. Hasil riset mencatat dengan skor SUS 90 yang dikategorikan sebagai sangat baik, antarmuka daring ini dianggap intuitif, ramah pengguna, dan diapresiasi positif oleh para pengguna. Layar LCD mempermudah jemaah dalam mendapatkan informasi ketersediaan parkir (**Khan, dkk, 2024**).

2.2 Komponen inti Sistem Internet of Things (IoT)

Sistem Perangkat keras dan Perangkat lunak yang digunakan meliputi;

1. ESP32-Cam (Kamera) sebagai pengendali utama dan mengirimkan data ke Firebase.
2. LCD I2C 20x4 untuk menampilkan informasi yang telah diolah termasuk teks.
3. Webcam untuk menampilkan gambar wajah.
4. Platform Internet of Things (IoT) berperan sebagai penghubung antara ESP32 CAM dan Firebase. Kamera mengirim data secara real-time ke server, di mana data tersebut dianalisis dengan teknik pengolahan citra berbasis digital YOLOv8 (You Only Look Once v8) adalah model Python yang dirancang khusus untuk identifikasi kendaraan serta penilaian status pergerakan.
5. Server kemudian memproses gambar guna menentukan jenis kendaraan yang terdeteksi oleh kamera, dan hasil analisis ini dicatat dalam basis data.
6. Basis data, situs web, serta layar LCD secara terpadu menyediakan pemantauan ketersediaan ruang parkir secara real-time dengan dukungan teknologi pemrosesan gambar.

2.3 Pengujian Kotak Hitam

Pengujian sistem merupakan tahap penting yang dirancang untuk mendeteksi dan memperbaiki segala kekurangan yang terdapat pada sistem yang sudah dikembangkan. Pengujian langkah ini bertujuan untuk meminimalkan kesulitan yang mungkin timbul akibat kegagalan sistem. Sangatlah penting untuk mendeteksi segala kegagalan dalam sistem selama proses pengujian. Kesalahan yang teridentifikasi pada tahap awal harus diperbaiki selama pengujian guna meningkatkan kualitas sistem, sehingga sistem tersebut menjadi lebih optimal dan efektif. Pengujian kotak hitam mencakup beberapa metodologi, termasuk partisi, evaluasi nilai ambang, diagram sebab-akibat, pengujian array ortogonal, pengujian transisi keadaan, dan teknik fuzzing juga digunakan. Selain itu, metode pengujian black-box memiliki keunggulan dan keterbatasan tersendiri dalam penerapan. Salah satu kelebihanannya adalah kemampuannya untuk membedakan unsur-unsur spesifikasi persyaratan yang belum terpenuhi selama pengembangan perangkat lunak. Namun, salah satu kekurangannya pada pengujian tidak dapat dilakukan secara menyeluruh karena pemahaman penguji yang terbatas terhadap produk yang dievaluasi.

2.4 Skala Kegunaan Sistem (SUS)

Sebuah teknik yang digunakan untuk menilai kegunaan sebuah aplikasi dievaluasi berdasarkan sepuluh soal yang disusun sebagai ringkasan atas seluruh pengalaman pengguna. Metode ini dirancang agar proses evaluasi dapat dilakukan dengan cepat dan sederhana, dan andal mengenai sejauh mana pengguna menganggap suatu aplikasi bermanfaat. Metodologi SUS

menekankan perspektif pengguna akhir, sehingga menghasilkan hasil yang lebih akurat dalam menggambarkan kondisi penggunaan di dunia nyata. Rumus System Utility Scale (SUS) untuk menghitung besaran-besaran ini terdapat pada Persamaan (1), (2), dan (3).

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \quad (1)$$

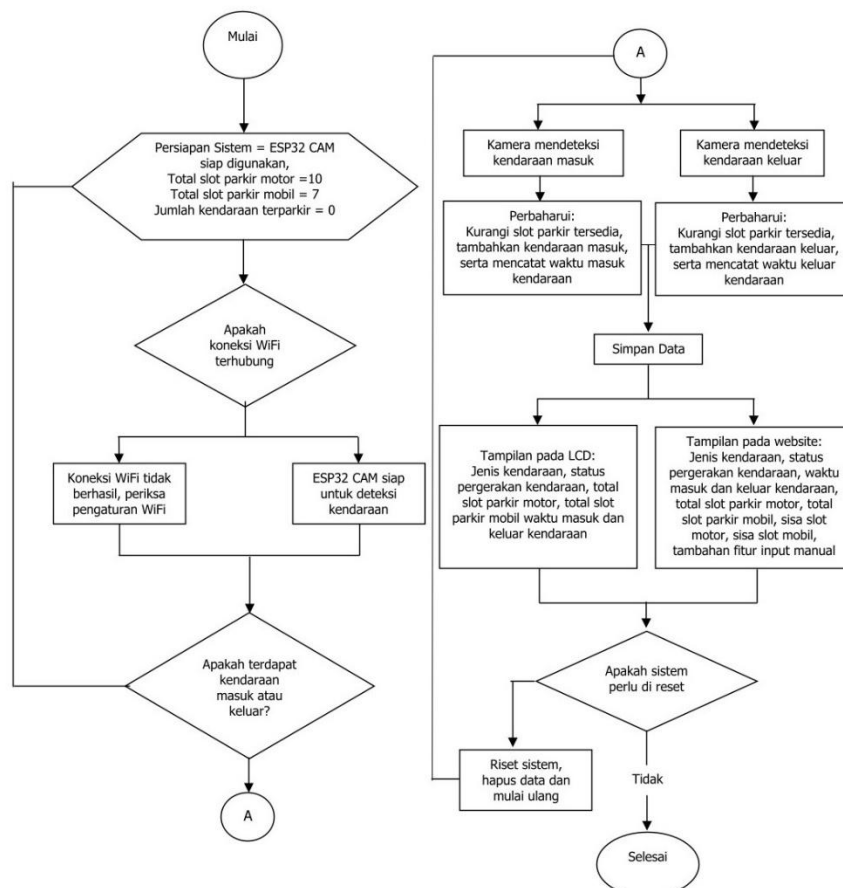
$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (2)$$

$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n J(\text{Precision}, \text{Recall})_k \quad (3)$$

Misalkan n mewakili jumlah kategori, k menunjukkan nomor kategori saat ini, dan J (Precision, Recall) melambangkan fungsi presisi rata-rata pada Algoritma YOLOv8 (Singh, dkk, 2024).

2.4 Prosedur Operasional

ESP32-CAM digunakan buat merekam waktu masuk dan keluar kendaraan di area parkir masjid untuk mengambil gambar kendaraan. Identifikasi jenis dan status kendaraan datang/pergi melalui algoritma YOLOv8, hasil deteksi disimpan pada firebase dan ditampilkan secara real-time pada LCD serta website (Jyothi, dkk, 2025).



Gambar 2. Alir Diagram Kerja Sistem Kapasitas Parkir

Gambar 2 menunjukkan alur kerja sistem yang dimulai dari inialisasi ESP32-CAM untuk sistem ini menampilkan jumlah tempat parkir dan jumlah mobil yang terparkir. Setelah terhubung ke jaringan Wi-Fi, sistem mendeteksi serta menangkap gambar kendaraan yang kemudian

diproses menggunakan YOLOv8 untuk mengidentifikasi jenis dan status kendaraan (masuk/keluar). Begitu ada mobil yang masuk, jumlah tempat parkir yang tersedia akan berkurang, dan pencatatan waktu akan dimulai. Jika kendaraan keluar, slot bertambah dan waktu mulai telah dicatat. Seluruh informasi ditampilkan secara real-time di LCD dan website **(Rubio-Ayala, dkk, 2026)**.

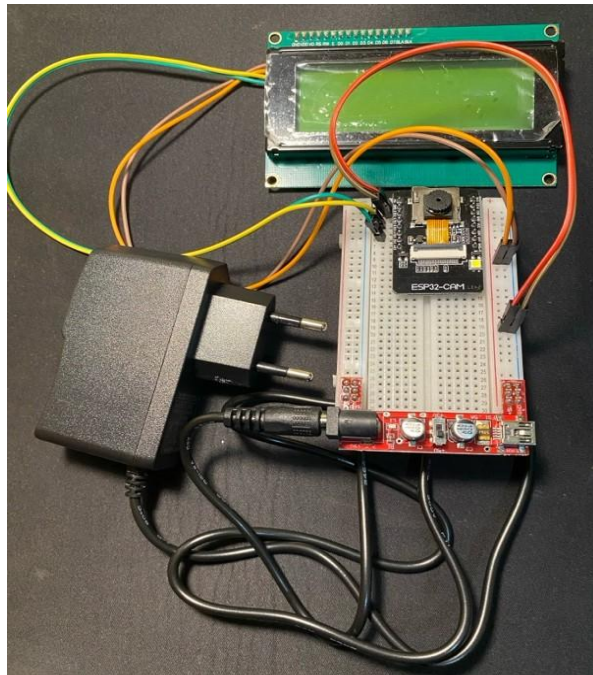
2.5 Penilaian Kinerja

Evaluasi kinerja sistem dilakukan dengan dua metode yang melibatkan pengujian black box serta penggunaan Skala Kegunaan Sistem (SUS). Uji black box bertujuan memastikan seluruh operasi sistem berjalan sesuai harapan, sedangkan SUS digunakan untuk menilai kegunaan situs web dari sudut pandang pengguna dengan dilaksanakan di lingkungan nyata untuk memantau kendaraan yang keluar-masuk menggunakan ESP32-CAM dan algoritma YOLOv8 data akan dikirim ke Firebase ditampilkan secara real-time pada layar LCD serta situs web. **(Chiang, dkk, 2025)**.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Perangkat IoT dengan Model YOLOv8

Penelitian ini menerapkan pengujian black box guna memastikan fungsionalitas sistem, disertai penerapan Skala Kegunaan Sistem (SUS) guna menilai kegunaan website. Pengujian dilakukan secara langsung di lapangan dengan algoritma YOLOv8 dan ESP32-CAM untuk deteksi mobil masuk dan keluar. Data deteksi ditampilkan pada layar LCD dan situs web secara real-time setelah dikirim ke Firebase **(Ahmad, dkk, 2024)**.



Gambar 3. Skema Rangkaian Kamera Parkir

Hasil pengujian menunjukkan dimana data kendaraan berhasil dikirim ke server secara cepat, sehingga pengelola parkir dapat memantau informasi ketersediaan tempat parkir, waktu masuk dan keluar kendaraan, kapasitas parkir, serta status kendaraan secara real-time.

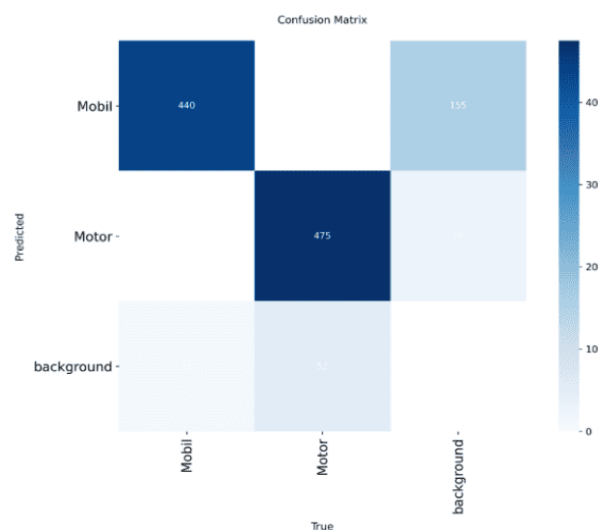
3.2 Hasil Pelatihan Model YOLOv8

Penelitian ini menggunakan model YOLOv8 (You Only Look Once versi 8) karena memiliki efisiensi komputasi dan kecepatan inferensi yang tinggi, sehingga sesuai untuk aplikasi berbasis IoT dan web. Dataset yang digunakan terdiri dari citra kendaraan yang telah diberi label ke dalam dua kelas, yaitu mobil dan sepeda motor. Proses pelabelan dilakukan menggunakan format YOLO dengan menyimpan koordinat bounding box dan informasi kelas objek pada file teks terpisah.



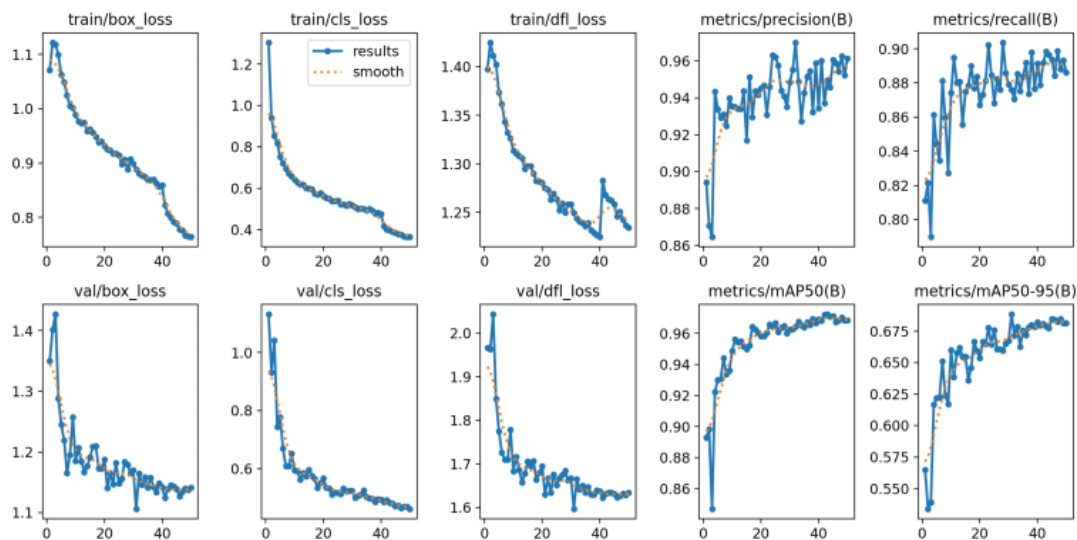
Gambar 4. Hasil Pelatihan

Gambar 4 menunjukkan hasil evaluasi model YOLOv8 melalui visualisasi prediksi objek kendaraan yang dilengkapi dengan bounding box dan label kelas. Label "0" merepresentasikan mobil, sedangkan label "1" menunjukkan sepeda motor. Data uji yang digunakan memiliki variasi kondisi, seperti pencahayaan terang dan gelap, latar belakang sederhana maupun kompleks, serta posisi kendaraan yang berbeda. Visualisasi ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mengenali dan mengklasifikasikan kendaraan secara akurat pada data baru. Gambar 5 menampilkan confusion matrix untuk mengukur kinerja model berdasarkan data prediksi dan data sebenarnya. Nilai True Positive (TP) menunjukkan prediksi yang benar, yaitu 440 untuk mobil dan 475 untuk sepeda motor. False Positive (FP) terjadi ketika model salah mengklasifikasikan objek, sedangkan False Negative (FN) menunjukkan objek yang gagal dikenali dengan benar. Analisis TP, FP, dan FN digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi model dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan (Narsingoju, 2026).



Gambar 5. Matriks Kebingungan

Gambar 6 menunjukkan bahwa selama 50 epoch pelatihan, model YOLOv8 menjalani penurunan nilai loss secara bertahap pada data pelatihan dan validasi, yang menandakan peningkatan kemampuan model dalam lokalisasi dan klasifikasi objek. Selain itu, nilai precision, recall, mAP50, dan mAP50-95 juga meningkat secara konsisten, menunjukkan akurasi deteksi dan kemampuan generalisasi model yang semakin baik. Hasil ini menunjukkan bahwa model YOLOv8n mampu bekerja secara efektif dalam mendeteksi kendaraan secara otomatis (Begum, dkk, 2025).



Gambar 6. Kerugian Matriks Kebingungan dan Metrik Evaluasi untuk 50 Epoch

Algoritma YOLOv8 unggul dalam mendeteksi kendaraan dengan berbagai bentuk dan ukuran. Tidak seperti beberapa algoritma yang kesulitan mendeteksi mobil kecil dalam gambar, YOLOv8 sebagian besar tidak terpengaruh oleh faktor-faktor seperti kualitas gambar yang buruk, kondisi pencahayaan yang bervariasi, dan adanya banyak kendaraan dalam satu bingkai. Algoritma YOLOv8 dievaluasi pada dua kumpulan data dan menunjukkan akurasi yang baik dalam pendeteksian mobil. Gambar 4 menggambarkan hasil pelatihan YOLOv8 pada Aerial-Car-Dataset, sedangkan Gambar 5 menggambarkan hasil pelatihan YOLOv8 pada Aerial View Car Detection.

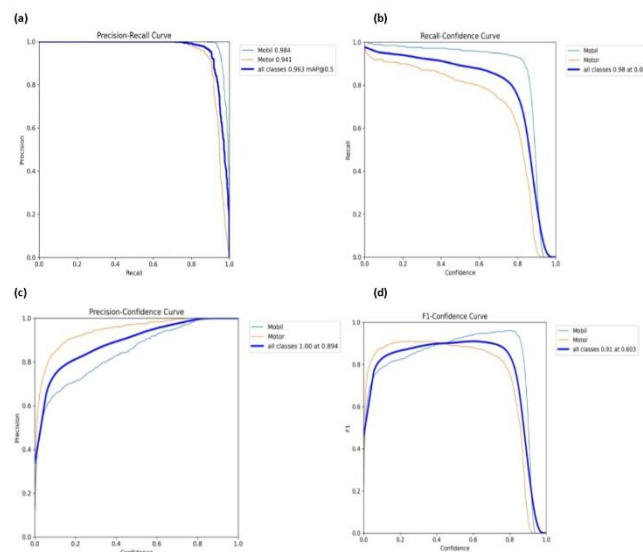
Berbagai metrik telah digunakan untuk menilai kinerja sistem, termasuk presisi, recall, dan mean average precision (mAP). Metrik-metrik ini bergantung pada matriks kebingungan; ketika data sebenarnya (ground truth) dibandingkan dengan prediksi yang dihasilkan oleh jaringan saraf, sampel dapat diklasifikasikan sebagai positif benar, positif palsu, negatif benar, dan negatif palsu. Kategori-kategori ini diperoleh dari penggabungan data sebenarnya dan prediksi. Klasifikasi ini telah ditetapkan berdasarkan temuan dari jaringan saraf.

Tabel 1. Pelatihan Pengujian dan Validasi

<i>Contoh</i>	<i>Training (80%)</i>	<i>Testing (10%)</i>	<i>Validasi (10%)</i>	Total
Mobil	3.600	450	450	4.500
Motor	3.600	450	450	4.500
Negatif	800	100	100	1.000
Total Dataset				10.000

Pembagian ini dipilih untuk memaksimalkan kegunaan data guna melatih model secara efektif, selama tahap pelatihan, data validasi digunakan untuk mengukur kinerja model dan untuk mencegah overfitting.

Gambar 7 tidak secara jelas menunjukkan ambang batas kepercayaan, tetapi memperlihatkan variasi tingkat ketepatan seiring meningkatnya tingkat penemuan, yang umumnya terjadi melalui penurunan ambang batas kepercayaan. Kurva optimal akan konvergen ke sudut kanan atas, yang menandakan peningkatan presisi dan recall. Grafik menunjukkan bahwa kelas Mobil memiliki kurva yang hampir optimal, dengan Average Precision (AP) yang sangat tinggi sebesar 98,4%, yang menandakan kemampuan model untuk mengidentifikasi hampir semua mobil secara andal. Sebaliknya, kelas Motor menunjukkan kurva yang sedikit lebih rendah dengan AP sebesar 94,1%, yang menunjukkan bahwa model menghadapi tantangan dalam mempertahankan presisi tinggi sambil mengejar recall yang tinggi dalam pengenalan sepeda motor. Grafik tersebut menggambarkan kinerja model yang luar biasa, yang dibuktikan dengan Average Precision (mAP) rata-rata sebesar 96,3%, sekaligus menunjukkan hal-hal yang perlu ditingkatkan, khususnya dalam menstabilkan presisi untuk sepeda motor pada tingkat recall yang tinggi (**Park, dkk, 2025**).



Gambar 7. Kurva Konvergen

Gambar 7 menunjukkan bahwa model mencapai akurasi 100% pada tingkat kepercayaan 0,894 untuk agregat seluruh kelas. Kelas Sepeda Motor mencapai presisi yang lebih tinggi dengan lebih cepat dibandingkan kelas Mobil, yang mengindikasikan bahwa prediksi untuk sepeda motor seringkali lebih akurat pada ambang kepercayaan rendah hingga sedang. Meskipun demikian, kelas Mobil mencapai presisi maksimal ketika ambang kepercayaan mendekati rentang idealnya ($\sim 0,89-0,90$). Kurva Presisi-Keyakinan menunjukkan bahwa meningkatkan ambang batas keyakinan dapat berhasil menghilangkan false positives; namun, hal ini dapat mengakibatkan pengeluaran beberapa item, sehingga mengurangi recall. Grafik tersebut menggambarkan garis melengkung, menunjukkan bahwa skor F1 meningkat seiring peningkatan ambang batas keyakinan hingga mencapai puncak optimal, lalu menurun ketika ambang batas dinaikkan secara berlebihan, yang mengakibatkan penurunan recall yang signifikan. Grafik menunjukkan bahwa nilai puncak F1-score keseluruhan untuk semua kelas adalah 0,91, yang dicapai pada tingkat kepercayaan sekitar 0,603. Kelas Mobil mencapai skor F1 maksimum yang unggul sebesar 0,93, sedangkan kelas Sepeda Motor mencapai nilai tertinggi 0,87, yang menandakan bahwa model ini menunjukkan akurasi dan stabilitas yang lebih baik dalam membedakan mobil dari sepeda motor. Grafik menunjukkan bahwa tingkat kepercayaan sekitar 0,60 mencapai keseimbangan optimal antara presisi dan recall di seluruh kelas. Grafik tersebut menunjukkan tren penurunan, yang menandakan bahwa seiring dengan meningkatnya ambang batas kepercayaan, jumlah prediksi yang diterima berkurang, sehingga mengakibatkan peningkatan deteksi yang terlewatkan (penurunan recall). Nilai recall

maksimum (~98%) dicapai pada ambang batas kepercayaan terendah (0), yang menunjukkan bahwa sekitar 2% item tetap tidak terdeteksi, bahkan pada tingkat kepercayaan minimal ini. Recall untuk kelas Sepeda Motor menurun lebih cepat daripada kelas Mobil, yang menandakan bahwa prediksi untuk sepeda motor sering kali memiliki tingkat kepercayaan yang lebih rendah dan karenanya lebih cepat disingkirkan saat ambang batas meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa mempertahankan tingkat recall yang tinggi untuk sepeda motor lebih sulit dibandingkan dengan mobil ketika ambang batas kepercayaan meningkat. Grafik tersebut menunjukkan bahwa model tersebut menunjukkan akurasi yang lebih tinggi dalam mengidentifikasi kendaraan jika dibandingkan dengan sepeda motor. Grafik kinerja menunjukkan bahwa model YOLOv8 memiliki kemampuan yang luar biasa dalam mendeteksi objek kendaraan, terutama dalam kategori Mobil. Kurva Presisi-Recall menunjukkan bahwa kelas Mobil mencapai Presisi Rata-rata (AP) sebesar 98,4% dengan kurva yang hampir ideal. Sebaliknya, kelas Sepeda Motor mencapai AP sebesar 94,1%, yang menandakan bahwa model mengalami kesulitan dalam mempertahankan presisi tinggi sambil berupaya meningkatkan akurasi untuk sepeda motor. Kurva Presisi-Keyakinan menunjukkan bahwa presisi 100% dicapai pada tingkat keyakinan 0,894 di semua kelas, dengan kelas Sepeda Motor menunjukkan presisi yang lebih tinggi daripada kelas Mobil. Secara bersamaan, kurva Recall-Kepercayaan menunjukkan kecenderungan penurunan recall seiring meningkatnya ambang batas kepercayaan, dengan penurunan yang lebih mencolok tercatat pada kelas Sepeda Motor. Hal ini menunjukkan bahwa model memiliki tingkat keyakinan yang lebih tinggi dalam mengidentifikasi mobil dibandingkan dengan sepeda motor. Kurva F1-Score menunjukkan bahwa nilai F1-score keseluruhan maksimum sebesar 0,91 dicapai pada ambang batas sekitar 0,603, dengan kelas Mobil mencapai nilai F1-score puncak sebesar 0,93 dan kelas Sepeda Motor mencapai 0,87. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa menetapkan ambang batas kepercayaan pada sekitar 0,60 menghasilkan keseimbangan optimal antara presisi dan recall. Meskipun model menunjukkan kinerja yang konsisten dalam deteksi kendaraan, peningkatan tambahan diperlukan untuk meningkatkan akurasi dalam deteksi sepeda motor.

3.3 Validasi Model Deteksi Kendaraan

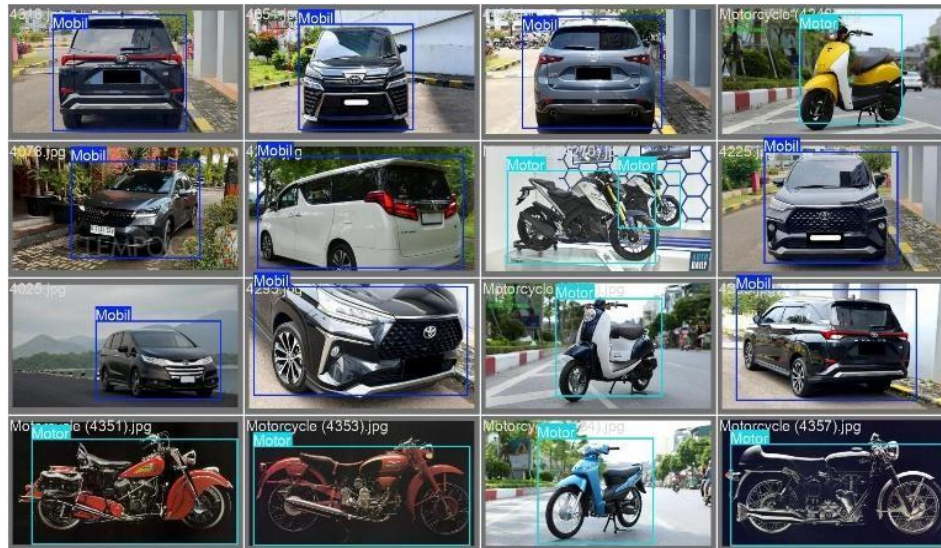
Metode validasi model ini menggunakan kumpulan data yang terdiri dari 1.000 gambar, yang mencakup 978 objek yang diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama. Kelas Mobil terdiri dari 451 objek, sedangkan kelas Sepeda Motor memiliki jumlah yang lebih banyak, yaitu 527 objek. Ukuran kinerja dievaluasi menggunakan tingkat kepercayaan standar, yang menghasilkan beberapa temuan penting. Model ini memiliki kemampuan deteksi yang bervariasi di antara kedua kategori objek tersebut. Kedua, terdapat perbedaan yang signifikan dalam metrik presisi dan recall antara kategori Mobil dan Sepeda Motor. Hasil mAP pada ambang batas yang berbeda menunjukkan keefektifan model yang konsisten dalam deteksi objek.

Tabel 2. Hasil Uji Validasi

Kelas	Precision	Recall	mAP50	mAP50-95
Semua	0,955	0,876	0,963	0,688
Mobil	0,927	0,956	0,984	0,729
Sepeda Motor	0,984	0,796	0,941	0,647

Model ini menunjukkan kinerja yang berbeda pada kedua kelas objek yang dievaluasi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Pada kelas Sepeda Motor, model ini mencapai presisi sebesar 0,984, meskipun nilai recall-nya sedikit lebih rendah, yaitu 0,796. Sebaliknya, kelas Mobil menunjukkan nilai recall yang lebih tinggi, yaitu 0,956. Hal ini mengindikasikan kecenderungan model untuk menghasilkan false negative dalam identifikasi objek sepeda

motor. Model ini mencapai Average Precision pada ambang batas IoU 0,5 (mAP50) sebesar 0,963 (96,3%), yang menunjukkan akurasi deteksi yang luar biasa, dengan kinerja puncak teramati pada kelas Mobil (mAP50 sebesar 0,984). Penurunan mAP50–95 menjadi 0,688 menandakan penurunan akurasi seiring dengan pengetatan ambang batas IoU, yang menunjukkan ketidakkonsistenan model dalam mengidentifikasi objek dengan tumpang tindih yang signifikan antara kotak pembatas yang diprediksi dan yang sebenarnya.

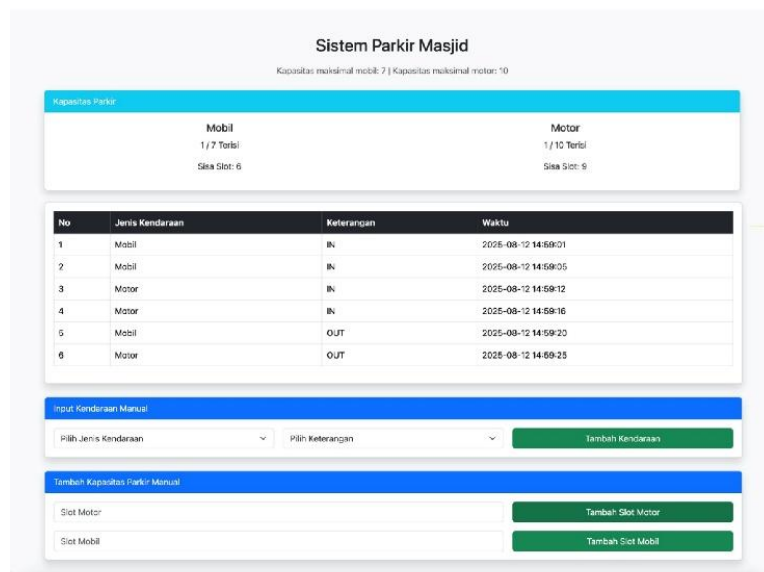


Gambar 8. Hasil Validasi Model YOLOv8

Gambar 8 menyajikan hasil validasi model pendeteksian objek kendaraan yang menggunakan YOLOv8. Model ini dievaluasi berdasarkan kemampuannya dalam mengenali dua kategori objek utama: "Mobil" dan "Sepeda Motor". Setiap objek yang dikenali dibatasi oleh kotak pembatas biru, disertai dengan label kelas dan skor kepercayaan yang menunjukkan tingkat keyakinan model terhadap prediksinya. Skor kepercayaan bervariasi dari 0,3 hingga 0,976, dengan sebagian besar prediksi menunjukkan kepercayaan tinggi ($\geq 0,9$), yang menandakan kemampuan identifikasi yang kuat dan keandalan dalam pengenalan objek. Namun demikian, beberapa prediksi berada dalam rentang kepercayaan yang lebih rendah (0,3–0,7), yang menunjukkan potensi terjadinya false positive atau ambiguitas dalam deteksi objek, terutama pada foto dengan sudut yang tidak lazim atau kondisi pencahayaan yang rumit. Temuan validasi menunjukkan bahwa model YOLOv8 secara cakap mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan dengan akurasi yang dapat diandalkan dalam berbagai situasi visual. Hasil visual ini menguatkan klaim bahwa model ini berfungsi dengan andal dan sesuai untuk aplikasi praktis dalam sistem deteksi kendaraan otomatis.

3.4 Penerapan Sistem Deteksi Mobil dan Sepeda Motor Berbasis Web

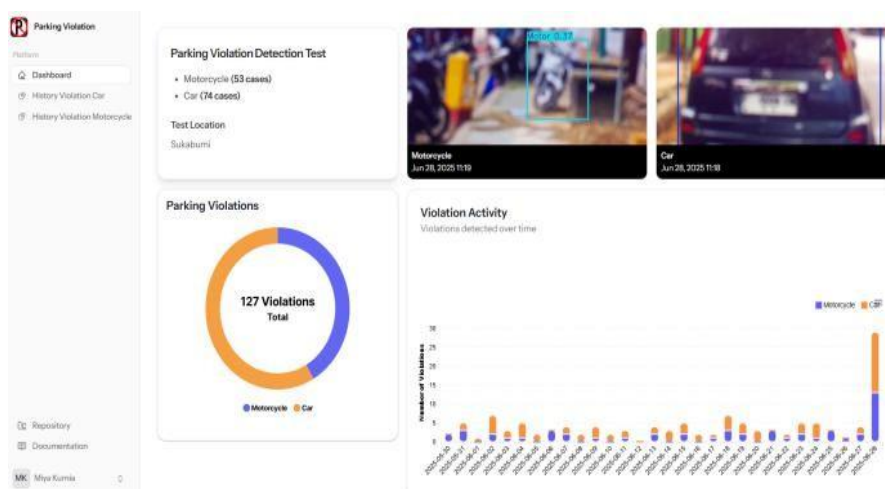
Evaluasi ini dilakukan untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam mendokumentasikan dan menampilkan data mengenai kendaraan yang masuk dan keluar dari fasilitas secara tepat. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk memvalidasi operasi fitur perekaman otomatis dengan penginputan data kendaraan, yang diklasifikasikan setelah diklasifikasikan berdasarkan jenis, data diinput ke dalam sistem, kemudian dilakukan evaluasi terhadap keakuratan informasi yang muncul di situs web.



Gambar 9. Hasil Pengujian Website

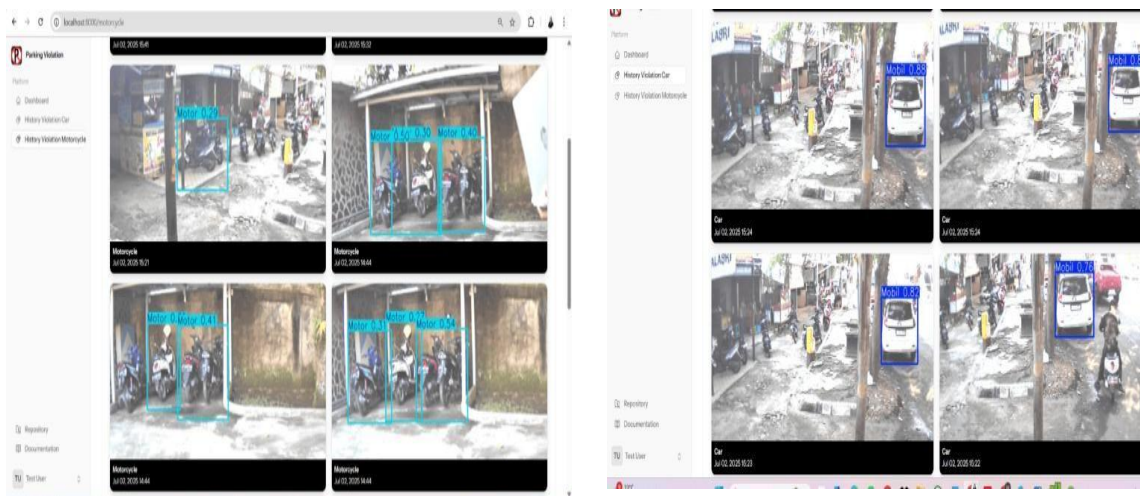
Gambar 9 Model YOLOv8 telah dilatih, dan sistem tersebut kemudian diterapkan sebagai aplikasi berbasis web untuk meningkatkan interaksi pengguna dengan sistem pendeteksi kendaraan. Metode ini memungkinkan pengguna untuk mengunggah foto secara langsung, memperoleh hasil pendeteksian secara otomatis, dan mengakses visualisasi data melalui antarmuka web interaktif.

Dasbor berfungsi sebagai pusat informasi utama bagi sistem pendeteksi pelanggaran parkir, yang menampilkan data pendeteksian secara ringkas, real-time, dan terorganisir, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau perilaku pelanggaran kendaraan secara menyeluruh. Gambar 10 Dasbor menampilkan dua komponen data visual utama adalah diagram lingkaran yang menggambarkan jumlah total pelanggaran parkir dan diagram batang yang menggambarkan aktivitas pelanggaran dari waktu ke waktu. Data diklasifikasikan berdasarkan jenis kendaraan baik mobil dan sepeda motor. Dasbor ini juga menampilkan pratinjau foto pelanggaran terbaru, beserta nama objek, cap waktu, dan detail lokasi pengujian. Semua item pada halaman ini disusun secara dinamis dan informatif untuk memfasilitasi analisis dan pemantauan perilaku pelanggaran pengguna secara cepat dan efisien.



Gambar 10. Tampilan Dasbor

Antarmuka daring ini dilengkapi dengan fitur riwayat pelanggaran yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan untuk mendokumentasikan dan mencatat pelanggaran parkir yang terdeteksi oleh sistem. Gambar 11 menampilkan antarmuka halaman riwayat pelanggaran dalam sistem deteksi pelanggaran parkir, yang menyajikan data deteksi dalam format visual. Halaman ini dibagi menjadi dua kategori utama berdasarkan jenis kendaraan: "Pelanggaran Sepeda Motor" dan "Pelanggaran Mobil." Setiap pelanggaran ditampilkan sebagai kartu yang menampilkan ringkasan insiden, label klasifikasi item (misalnya, "Sepeda Motor"), dan cap waktu pelanggaran. Desain antarmuka ini bertujuan untuk mempermudah navigasi pengguna melalui catatan pelanggaran, yang dikategorikan berdasarkan waktu dan jenis kendaraan. Fungsi ini sangat penting untuk memfasilitasi verifikasi dan pendokumentasian pelanggaran parkir secara digital dan sistematis.



Gambar 11. Riwayat Pelanggar Parkir Sepeda Motor dan Mobil

Hasil pengujian BlackBox pada prototipe sistem pendeteksi pelanggaran parkir, yang menggunakan model YOLOv8 bersama dengan ESP32-CAM, serta dilengkapi dengan layar LCD secara *real-time* sebagai mekanisme peringatan dan sistem keluaran berbasis web, menunjukkan kinerja yang andal dan akurat. Selama pengujian, sistem ini secara efektif mengidentifikasi kendaraan, khususnya mobil dan sepeda motor, yang berhenti di zona larangan parkir selama lebih dari tiga puluh detik sebagai respons terhadap setiap pelanggaran yang terdeteksi. Selain itu, sistem secara konsisten mengirimkan data pelanggaran yang terdiri dari foto yang dikumpulkan, nama kelas objek, cap waktu, dan detail posisi ke dasbor web secara instan. Output ini ditampilkan pada antarmuka pengguna, sehingga pengguna dapat menilai dan melacak pelanggaran secara real-time. Hasil ini membuktikan bahwa prototipe tersebut memenuhi kriteria yang ditetapkan dan menunjukkan potensi yang signifikan untuk aplikasi praktis sebagai sistem pemantauan pelanggaran parkir otomatis dan real-time.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem deteksi parkir otomatis berbasis YOLOv8 yang terintegrasi dengan perangkat IoT dan dashboard web untuk memantau kendaraan di area parkir masjid secara real-time. Sistem mampu mendeteksi kendaraan roda dua dan roda empat dengan tingkat akurasi tinggi mencapai mAP50 sebesar 96,3%, serta menampilkan informasi parkir melalui LCD dan website secara langsung. Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem ini mampu mendeteksi kendaraan masuk dan keluar, mencatat data pelanggaran, serta mengirimkan informasi ke server secara cepat dan akurat. Integrasi teknologi deep learning,

Internet of Things (IoT), dan web monitoring membuktikan bahwa sistem ini mampu menjadi solusi modern untuk pengelolaan parkir masjid yang lebih tertib, efisien, dan terintegrasi. Selain membantu pengelola dalam memantau kapasitas parkir, perangkat ini juga memudahkan para jemaah dengan menampilkan informasi terkini mengenai ketersediaan tempat parkir secara langsung. Penelitian ini menunjukkan potensi besar penerapan teknologi cerdas dalam mendukung pengembangan sistem parkir otomatis dan konsep kota pintar di masa depan.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdul Khaleq Zghair, N., Atta, R. A., Hasan, H. M., Zamil, A. S., & Attallah, S. B. (2025). Implement intelligent YOLOv8 for car crowd detection and counting in the roads. *Journal of Intelligent Systems and Internet of Things*, 16(1), 132–141.
- Ahmad, H. M., & Rahimi, A. (2024). Capacity constraint analysis using object detection for smart manufacturing. *Automation*, 5(4), 545–563. <https://doi.org/10.3390/automation5040031>.
- Alsubaie, N. (2025). Enhancing object detection in assistive technology for the visually impaired: A DETR-based approach. *IEEE Access*, 13, 71647–71661. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3558370>.
- Begum, M., Riad, A. K. I., Mamun, A. A., Hossen, T., Uddin, S., Absur, M. N., & Shahriar, H. (2025). Internet of Things (IoT)-Based Solutions for Uneven Roads and Balanced Vehicle Systems Using YOLOv8. *Future Internet*, 17(6), Article 254. <https://doi.org/10.3390/fi17060254>.
- Bin, J. (2025). PVD: A Detection Framework for Parking Vehicles on Highways From Oblique UAV Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 28755–28770. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.3629396>.
- Chiang, K. (2025). AI-Driven Mapping System for Smart Parking Management Applications Using a Fusion Engine Empowered by HD Maps. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 6, 995–1008. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2025.3587274>.
- Hamuda, H. (2025). Rancang Bangun Sistem Monitoring Stok Miniatur Berbasis IoT Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Load Cell. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, 14(1), 11–19. <https://doi.org/10.34010/n2yvsh27>.
- Hamuda, H., & Setiawan, A. (2025). Integrasi Sistem Keamanan Rumah Pintar Berbasis ESP32-CAM dan Sensor PIR dengan Notifikasi Real-Time melalui WhatsApp Bot. *SKANIKA: Sistem Komputer dan Teknik Informatika*, 8(2), 204–218.

- Jyothi, B. (2025). Real-Time Vehicle Detection and Speed Estimation System Using Raspberry Pi and Camera Module. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 14(6), 4962–4973. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i6.9931>.
- Khan, I. J. (2024). Vehicle Number Plate Detection and Encryption in Digital Images Using YOLOv8 and Chaotic-Based Encryption Scheme. *Proceedings of the 2024 6th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)*, (pp. 717–722). <https://doi.org/10.1109/ICEEICT62016.2024.10534375>.
- Kumar, P. S., Mathias, A. S., & Padmasali, A. N. (2025). A YOLOv8 Segmentation Approach for Detecting Unstructured Road Boundaries in Rural Terrains Using Dash-Camera. *IEEE Access*, 13, 213429–213438. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3645678>.
- Kurnia, M., Somantri, S., Wijaya, S. A., Mawardi, R., & Insany, G. P. (2025). Implementation of Car and Motorcycle Detection in No Parking Sign Areas Using Web-Based YOLOv8. *INFORM: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 10(2), 179–189. <https://doi.org/10.25139/inform.v10i2.10408>.
- Liu, X. (2024). Enhancing Intelligent Road Target Monitoring: A Novel BGS-YOLO Approach Based on the YOLOv8 Algorithm. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 5, 509–519. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2024.3449698>.
- Narsingoju, B., & Jain, R. (2026). Optimizing Slot Detection by Using Advanced Object Detection Techniques for Intelligent Parking Solutions. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 16(1), 32298–32304. <https://doi.org/10.48084/etasr.11317>.
- Park, H. (2025). Special Vehicle Classification Algorithm-Based System for Dedicated Parking Zone Violation Detection in South Korea. [Bibliographic metadata belum tersedia secara publik.
- Patel, N. L., Patel, K. A., & Datta, J. S. (2024). Integrating YOLOv8 with Fuzzy Logic System: A Novel Hybrid Approach for Efficient Parking Slot Availability Management. [Bibliographic metadata belum tersedia secara publik.
- Riskiansyah, R. A., Setiawan, Y., & Rahmanti, F. Z. (2025). Real-Time Detection of Outdoor Parking Space Availability Using YOLOv8. *JUITA: Jurnal Informatika*, 13(3), 339–347. <https://doi.org/10.30595/juita.v13i3.27278>.
- Rubio-Ayala, H., Palacios-Navidad, J. A., & Peraza-Garzón, A. (2026). Intelligent Car Park Occupancy Monitoring System Based on Parking Slot and Vehicle Detection Using DJI Mini 3 Aerial Imagery and YOLOv11. *AI*, 7(2).

Singh, R. (2024). Evaluating the Performance of Ensembled YOLOv8 Variants in Smart Parking Applications for Vehicle Detection and License Plate Recognition under Varying Lighting Conditions. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202404.1216.v1>.