

DETEKSI KETERSEDIAAN PARKIR MENGUNAKAN CITRA VIDEO BERBASIS *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* PADA YOLO11

Bayyinahtun Dwi Sumatri¹, Gunawan¹, Andi Tenriawaru^{1*}

¹Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

Penulis Korespondensi: Andi Tenriawaru (andi.tenriawaru@uho.ac.id)

Meningkatnya jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan kapasitas lahan parkir menyebabkan kesulitan dalam memperoleh informasi ketersediaan slot parkir secara real-time, khususnya di lingkungan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Halu Oleo. Sistem parkir yang masih dilakukan secara manual menimbulkan ketidakefisienan dalam proses pemantauan dan pencarian ruang parkir. Penelitian bertujuan membangun sistem deteksi ketersediaan parkir berbasis citra video menggunakan algoritma You Only Look Once versi 11 (YOLO11) dengan pendekatan Region of Interest (ROI). Metode penelitian meliputi pengumpulan data video, anotasi kendaraan, pra-pemrosesan data, serta pelatihan model melalui fine-tuning. Status slot parkir ditentukan berdasarkan perhitungan Intersection over Union (IoU) antara bounding box kendaraan dan ROI. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi threshold mempengaruhi kinerja sistem, dengan IoU threshold memberikan pengaruh lebih dominan dibandingkan confidence threshold. Sistem mencapai akurasi maksimum sebesar 100% pada kombinasi confidence threshold 0,1–0,8 dan IoU threshold 0,1–0,2. Pengujian pada kondisi operasional nyata menunjukkan bahwa sudut pengambilan kamera memberikan pengaruh signifikan terhadap performa deteksi. Sudut kamera yang tepat menghasilkan deteksi slot parkir yang lebih stabil dan konsisten pada berbagai kondisi pengujian.

Kata Kunci— citra video, deteksi parkir, Region of Interest, sistem parkir cerdas, YOLO11

I. PENDAHULUAN

Parkir merupakan fasilitas pendukung transportasi yang berfungsi sebagai tempat penempatan kendaraan sementara [1]. Permasalahan parkir menjadi isu penting di berbagai kawasan perkotaan maupun lingkungan kampus seiring meningkatnya jumlah kendaraan pribadi yang tidak sebanding dengan kapasitas lahan parkir yang tersedia. Kondisi ini menyebabkan kesulitan bagi pengguna dalam memperoleh informasi ketersediaan slot parkir secara cepat dan akurat. Sebuah studi juga menunjukkan bahwa sekitar 92% pengemudi di seluruh dunia mengalami kesulitan dalam menemukan tempat parkir yang tersedia

[2]. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahun, sehingga kebutuhan terhadap sistem pengelolaan parkir yang efektif menjadi semakin mendesak [3].

Permasalahan ketersediaan lahan parkir juga terjadi di lingkungan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Halu Oleo. Meskipun fasilitas area parkir telah tersedia, kapasitas yang terbatas belum mampu mengakomodasi tingginya jumlah kendaraan pada waktu tertentu. Hasil pengamatan awal menunjukkan bahwa informasi mengenai ketersediaan slot parkir sebelum pengendara memasuki area parkir masih belum tersedia secara memadai, sehingga pengguna harus mencari ruang parkir kosong secara manual. Selain itu, proses pengaturan kendaraan masih bergantung pada pengamatan visual oleh petugas keamanan, sehingga pemantauan dan pengelolaan parkir belum berjalan secara optimal. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan efisiensi mobilitas serta kenyamanan pengguna area parkir. Sistem parkir yang masih bersifat manual menjadi salah satu faktor yang memengaruhi permasalahan tersebut [4].

Perkembangan teknologi computer vision memungkinkan sistem untuk mengenali dan menganalisis objek secara otomatis melalui citra atau video [5]. Pendekatan berbasis deep learning, khususnya *Convolutional Neural Network* (CNN), telah banyak digunakan dalam tugas deteksi objek karena mampu mengekstraksi fitur visual secara efektif [5]. Salah satu algoritma deteksi objek yang banyak digunakan adalah YOLO, yang mampu melakukan deteksi objek secara cepat dan akurat dalam satu tahap pemrosesan [6].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode YOLO efektif diterapkan pada sistem parkir cerdas untuk mendeteksi kendaraan secara *real-time*. Versi terbaru, yaitu YOLO11, menawarkan peningkatan pada aspek kecepatan deteksi, akurasi, serta kemampuan adaptasi terhadap variasi pencahayaan [7]. Penelitian Talaat, dkk. [8] melaporkan bahwa YOLO11 mampu mencapai akurasi deteksi kendaraan sebesar 92,8% dengan waktu respons yang rendah sehingga cocok digunakan pada sistem berbasis video *real-time*. Penelitian Sharma,

dkk. [9] juga menunjukkan bahwa YOLO11 memiliki performa lebih baik dibandingkan beberapa versi YOLO sebelumnya.

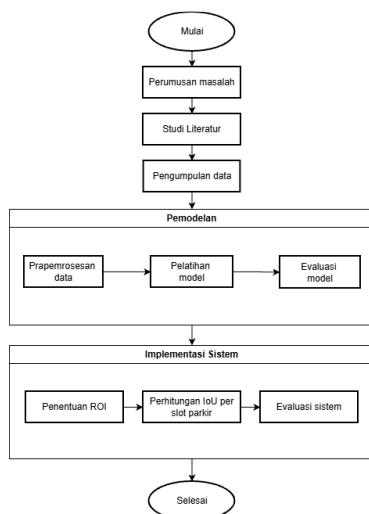
Namun, deteksi kendaraan saja belum cukup untuk menentukan status ketersediaan slot parkir. Sistem perlu memastikan apakah objek kendaraan berada pada area slot parkir tertentu. Pendekatan ROI digunakan untuk mendefinisikan batas setiap slot parkir, sedangkan metode IoU digunakan untuk menghitung tingkat tumpang tindih antara *bounding box* kendaraan dan area slot parkir [10]. Pendekatan ini memungkinkan sistem menentukan status slot parkir secara lebih spesifik berdasarkan posisi kendaraan terhadap area parkir yang telah ditentukan.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas penerapan YOLO dalam deteksi kendaraan, kajian mengenai pengaruh variasi nilai *confidence threshold* dan *IoU threshold* terhadap kesalahan penentuan status slot parkir masih terbatas, khususnya pada kondisi parkir nyata di lingkungan kampus. Analisis parameter tersebut penting karena nilai *threshold* secara langsung memengaruhi sensitivitas sistem dalam mendeteksi kendaraan dan menentukan status slot parkir.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan membangun sistem deteksi ketersediaan parkir berbasis citra video menggunakan algoritma YOLO11 dengan pendekatan ROI dan perhitungan IoU. Sistem dirancang berbasis *website* sehingga informasi ketersediaan slot parkir dapat divisualisasikan secara *real-time* dan mudah diakses oleh pengguna. Keberadaan sistem ini diharapkan dapat membantu pengguna dalam memperoleh informasi ketersediaan slot parkir sehingga proses pencarian ruang parkir menjadi lebih mudah.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi ketersediaan slot parkir berbasis citra video menggunakan model deteksi objek YOLO11. Tahapan penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Prosedur penelitian

A. Perumusan Masalah dan Studi Literatur

Permasalahan utama pada sistem parkir konvensional

adalah keterbatasan informasi ketersediaan slot parkir secara *real-time*, sehingga pengguna kendaraan mengalami kesulitan dalam menemukan ruang parkir yang kosong. Kondisi tersebut menyebabkan ketidakefisienan waktu pencarian parkir serta meningkatnya kepadatan kendaraan di area parkir. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem otomatis yang mampu mendeteksi ketersediaan slot parkir secara akurat dan *real-time*.

Studi literatur dilakukan untuk mengkaji berbagai pendekatan yang telah digunakan dalam pengembangan sistem parkir cerdas, khususnya metode berbasis visi komputer dan deep learning. Beberapa penelitian sebelumnya memanfaatkan metode deteksi objek untuk mengidentifikasi kendaraan pada area parkir menggunakan model YOLO. Pendekatan deteksi objek berbasis YOLO dinilai efektif karena mampu melakukan deteksi secara cepat dengan tingkat akurasi yang tinggi pada aplikasi *real-time*.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan model YOLO11 yang dikombinasikan dengan pendekatan ROI dan perhitungan IoU untuk menentukan status ketersediaan slot parkir secara otomatis.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh citra area parkir yang digunakan sebagai dataset pelatihan dan pengujian model deteksi kendaraan. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder.

Data primer diperoleh melalui proses perekaman langsung pada area parkir FMIPA UHO serta area parkir Rektorat Universitas Halu Oleo. Perekaman dilakukan menggunakan kamera telepon genggam dengan resolusi 720 piksel dan frame rate 30 fps. Pengambilan data dilakukan pada beberapa kondisi waktu dan sudut pandang kamera untuk menghasilkan variasi data yang representatif terhadap kondisi nyata lingkungan parkir.

Selain data primer, penelitian ini juga menggunakan data sekunder yang diperoleh dari dataset publik pada *platform* Roboflow. Dataset tersebut berisi citra area parkir dengan variasi sudut pengambilan gambar dan kondisi lingkungan yang berbeda. Penggunaan data sekunder bertujuan untuk memperkaya variasi citra kendaraan sehingga meningkatkan kemampuan generalisasi model dalam mendeteksi objek kendaraan pada berbagai situasi

C. Pra Pemrosesan Data

Tahap pra-pemrosesan data dilakukan untuk memastikan kualitas dan konsistensi citra sebelum digunakan pada proses pelatihan model deteksi kendaraan. Proses ini bertujuan meningkatkan stabilitas pelatihan serta performa model dalam mengenali objek kendaraan. Tahapan pra-pemrosesan meliputi proses anotasi objek, pembagian dataset, penyesuaian ukuran citra, normalisasi, serta augmentasi data.

1. Anotasi data

Anotasi data dilakukan menggunakan *platform* Roboflow dengan memberikan *bounding box* pada objek kendaraan sebagai ground truth pembelajaran

model.

2. Pemisahan data

Dataset yang telah dianotasi kemudian dibagi menjadi data pelatihan, validasi, dan pengujian menggunakan metode *random split* sebanyak tiga kali dengan proporsi masing-masing sebesar 70%, 20%, dan 10%. Pembagian data dilakukan untuk memastikan model dapat dilatih, divalidasi, serta diuji secara objektif.

3. Resize citra

Selanjutnya, seluruh citra disesuaikan ukurannya (resize) menjadi 640 × 640 piksel sesuai kebutuhan input model YOLO11.

4. Normalisasi citra

Proses normalisasi dilakukan menggunakan metode *min-max normalization* dengan mengubah rentang nilai piksel dari ukuran [0, 255] menjadi [0,1] untuk mempercepat proses konvergensi selama pelatihan [11].

5. Augmentasi citra

Augmentasi citra dilakukan untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model. Augmentasi diterapkan secara otomatis oleh model YOLO11 selama proses pelatihan. Teknik augmentasi meliputi *flipping, scaling, translation*, perubahan pencahayaan (*HSV augmentation*), serta kombinasi citra menggunakan metode *Mosaic* dan *MixUp*. Penerapan augmentasi bertujuan mengurangi risiko *overfitting* serta meningkatkan ketahanan model terhadap variasi kondisi lingkungan parkir.

D. Pelatihan Model

Penelitian ini menggunakan model YOLO11 versi Nano (YOLO11n) sebagai model dasar (*baseline*) deteksi objek. Model YOLO11n dipilih karena memiliki ukuran model yang ringan, kecepatan inferensi tinggi, serta mampu bekerja secara *real-time* [12], sehingga sesuai untuk sistem deteksi ketersediaan slot parkir. Model yang digunakan merupakan model *pre-trained*, yaitu model yang telah dilatih pada dataset umum berskala besar. Pendekatan ini memungkinkan proses pelatihan menjadi lebih cepat serta meningkatkan kemampuan awal model dalam mengenali objek kendaraan. Proses pelatihan dilakukan menggunakan metode *fine-tuning* terhadap dataset penelitian. Delapan skenario pengaturan *hyperparameter* diterapkan untuk membandingkan performa model. Nilai masing-masing *hyperparameter* pada setiap skenario disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Skenario *hyperparameter* pelatihan model

Skenario	Epochs	lr	Optimizer	Weight decay	Patience	Freeze layer backbone
I	100	0,01	SGD	0,0005	30	Ya
II	100	0,005	SGD	0,0005	30	Ya
III	100	0,001	SGD	0,0005	30	Ya
IV	100	0,0005	SGD	0,0005	30	Ya
V	100	0,0001	SGD	0,0005	30	Ya

Skenario	Epochs	lr	Optimizer	Weight decay	Patience	Freeze layer backbone
VI	100	0,001	AdamW	0,0005	30	Ya
VII	100	0,0005	AdamW	0,0005	30	Ya
VIII	100	0,0001	AdamW	0,0005	30	Ya

Sebanyak delapan skenario pelatihan diterapkan untuk mengevaluasi pengaruh variasi *learning rate* dan jenis *optimizer* terhadap performa model. Seluruh skenario menggunakan konfigurasi *epochs, batch size, weight decay, patience*, serta *freeze backbone* yang sama agar perbandingan dilakukan secara objektif. Variasi hanya diterapkan pada nilai *learning rate* dan *optimizer*, yaitu SGD dan AdamW. Model terbaik dipilih berdasarkan performa evaluasi selama proses pelatihan.

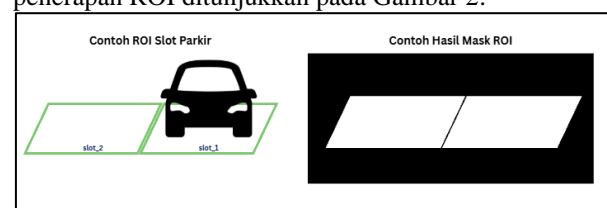
E. Evaluasi Model

Evaluasi dilakukan untuk mengukur kemampuan model dalam mendeteksi kendaraan pada area parkir. Model terbaik hasil pelatihan diuji menggunakan data uji yang tidak terlibat dalam proses training. Hasil prediksi model dibandingkan dengan ground truth *bounding box* untuk memperoleh metrik evaluasi deteksi objek, yaitu *precision, recall, mAP@50* dan *mAP@50-95*. Nilai metrik tersebut digunakan untuk menentukan tingkat akurasi model dalam mendeteksi kendaraan sebagai dasar penentuan status ketersediaan slot parkir.

F. Penentuan Status Slot Parkir

Penentuan status ketersediaan slot parkir dilakukan setelah model YOLO11 berhasil mendeteksi objek kendaraan pada citra video. Tahap ini bertujuan untuk menentukan apakah setiap slot parkir berada dalam kondisi kosong atau terisi berdasarkan posisi kendaraan terhadap area slot parkir yang telah ditentukan. Pendekatan ROI memungkinkan sistem untuk fokus pada bagian gambar yang penting, sehingga meningkatkan akurasi deteksi dan efisiensi proses dibanding menggunakan fitur global seluruh citra [13].

Setiap slot parkir didefinisikan menggunakan pendekatan ROI berbentuk poligon yang dikonversi menjadi citra biner (*mask biner*), yaitu citra dengan nilai piksel 1 pada area ROI dan 0 pada area di luar ROI, yang berfungsi untuk membatasi area pemrosesan citra [14]. *Mask biner* tersebut digunakan untuk membatasi area pemrosesan citra serta merepresentasikan batas slot parkir pada citra kamera. ROI dibuat secara manual sesuai dengan posisi fisik slot parkir pada lokasi penelitian sehingga analisis hanya dilakukan pada area yang relevan. Contoh penerapan ROI ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Ilustrasi ROI menggunakan *mask biner*

Hasil deteksi kendaraan dari model YOLO11 berupa *bounding box* kemudian dibandingkan dengan ROI masing-masing slot parkir menggunakan metode IoU. Nilai IoU digunakan untuk mengukur tingkat tumpang tindih antara area kendaraan dan area slot parkir. Perhitungan IoU dinyatakan pada Persamaan 1 [15].

$$IoU = \frac{Area\ intersection}{Area\ union} \tag{1}$$

Status slot parkir ditentukan berdasarkan aturan keputusan berikut:

- a) Jika nilai $IoU \geq IoU\ threshold$, maka slot parkir diklasifikasikan sebagai terisi.
- b) Jika nilai $IoU < IoU\ threshold$, maka slot parkir diklasifikasikan sebagai kosong.

G. Penentuan Nilai Threhsold

Penentuan nilai *threshold* dilakukan untuk memperoleh konfigurasi parameter yang optimal dalam sistem deteksi ketersediaan slot parkir. Dua parameter utama yang diuji yaitu *confidence threshold* dan *IoU threshold*. *Confidence threshold* digunakan oleh model YOLO11 untuk memvalidasi hasil deteksi kendaraan berdasarkan tingkat keyakinan prediksi model. Nilai ini menentukan apakah suatu objek hasil deteksi dianggap valid atau diabaikan oleh sistem. Sementara itu, *IoU threshold* digunakan pada tahap penentuan status slot parkir untuk menentukan apakah kendaraan yang terdeteksi berada di dalam area ROI suatu slot parkir.

Pengujian *threshold* dilakukan menggunakan video area parkir yang memiliki variasi posisi kendaraan sehingga dapat merepresentasikan kondisi parkir nyata. Skenario pengujian *threshold* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Skenario pengujian *threshold*

Skenario	Confidence threshold	IoU threshold slot parkir
I	0,9	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9
II	0,8	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9
III	0,7	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9
IV	0,6	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9
V	0,5	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9
VI	0,4	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9
VII	0,3	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9
VIII	0,2	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9
IX	0,1	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9

Nilai *confidence threshold* diuji pada rentang 0,1 hingga 0,9, sedangkan *IoU threshold* slot parkir juga diuji pada rentang 0,1 hingga 0,9 dengan interval 0,1. Setiap nilai *confidence threshold* dikombinasikan dengan seluruh nilai *IoU threshold* sehingga menghasilkan 81 skenario pengujian parameter.

H. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu pengujian *threshold*, pengujian berdasarkan variasi kondisi lingkungan, dan pengujian fungsional sistem.

1. Pengujian *threshold*
 Pengujian *threshold* bertujuan untuk menentukan kombinasi parameter optimal dalam menentukan status slot parkir. Parameter yang diuji meliputi *confidence threshold* pada model YOLO11n dan *IoU threshold* antara *bounding box* kendaraan dan ROI slot parkir. Pengujian dilakukan menggunakan beberapa video area parkir dengan variasi posisi kendaraan dan tingkat kepadatan parkir. Setiap frame video diproses untuk mendeteksi kendaraan, kemudian dilakukan perhitungan nilai IoU pada masing-masing slot parkir.
2. Pengujian berdasarkan variasi kondisi lingkungan
 Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis ketahanan sistem terhadap perubahan kondisi operasional di lingkungan nyata. Variasi kondisi yang diuji meliputi perbedaan waktu pengambilan video (pagi, siang, dan sore), kondisi cuaca (cerah dan hujan), serta variasi sudut pengambilan kamera (*camera angle*). Pengujian dilakukan menggunakan input video rekaman maupun kamera *real-time* dengan parameter *threshold* terbaik hasil pengujian sebelumnya. Kinerja sistem dievaluasi menggunakan nilai *True Positive* (TP), *True Negative* (TN), *False Positive* (FP), dan *False Negative* (FN) yang selanjutnya digunakan untuk menghitung akurasi sistem.
3. Pengujian fungsional sistem (*black box testing*)
 Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode *black box testing* untuk memastikan seluruh fitur sistem berjalan sesuai dengan fungsi yang dirancang. Pengujian difokuskan pada kesesuaian antara input dan output sistem tanpa meninjau struktur internal program. Skenario pengujian meliputi, inisialisasi slot parkir, pengoperasian tombol mulai dan berhenti deteksi, pemuatan video maupun kamera *real-time*, serta penampilan hasil deteksi status slot parkir secara *real-time* pada dashboard sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pelatihan Model

Evaluasi performa model dilakukan berdasarkan nilai mAP@50. Hasil pelatihan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai mAP@50 pada setiap *random split*

Skenario	Split 1	Split 2	Split 3
I	0,963	0,977	0,967
II	0,967	0,974	0,971
III	0,961	0,975	0,945
IV	0,955	0,972	0,927
V	0,928	0,943	0,761
VI	0,965	0,977	0,961
VII	0,963	0,975	0,97
VIII	0,981	0,975	0,967

Berdasarkan Tabel 3, hasil pelatihan menunjukkan bahwa Skenario VIII menghasilkan rata-rata nilai mAP@50 tertinggi sebesar 0,974, dengan nilai pada Split

1, Split 2, dan Split 3 masing-masing sebesar 0,981, 0,975, dan 0,967. Hasil tersebut menunjukkan performa deteksi yang tinggi dan konsisten pada berbagai pembagian data.

Kombinasi *optimizer* AdamW dengan *learning rate* kecil mampu menghasilkan proses pelatihan yang lebih stabil. Mekanisme *adaptive learning rate* pada AdamW membantu model melakukan pembaruan bobot secara lebih terkontrol sehingga proses konvergensi berlangsung konsisten tanpa penurunan performa antar split.

Performa terbaik dari kelompok *optimizer* SGD diperoleh pada Skenario II dengan rata-rata mAP@50 sebesar 0,971, sementara beberapa skenario lain menunjukkan variasi performa yang lebih besar antar split. Penurunan performa paling terlihat pada Skenario V dengan nilai mAP@50 yang lebih rendah, yang mengindikasikan kombinasi *hyperparameter* kurang optimal selama proses pelatihan.

Perbandingan antara *optimizer* SGD dan AdamW menunjukkan bahwa kedua *optimizer* mampu menghasilkan performa deteksi yang tinggi. Namun demikian, efektivitas *learning rate* sangat bergantung pada karakteristik *optimizer* yang digunakan. *Optimizer* SGD cenderung optimal pada *learning rate* menengah, sedangkan AdamW tetap stabil dan mampu mencapai konvergensi optimal pada *learning rate* yang lebih kecil.

Berdasarkan keseluruhan hasil tersebut, Skenario VIII dipilih sebagai model terbaik karena memiliki nilai mAP@50 tertinggi sekaligus menunjukkan konsistensi performa pada seluruh *random split*, sehingga digunakan pada tahap evaluasi dan pengujian sistem.

B. Hasil Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan untuk mengukur kinerja model terbaik, yaitu Skenario VI yang menggunakan *optimizer* AdamW dengan *learning rate* 0,0001 dalam mendeteksi objek kendaraan berupa mobil dan motor pada data uji. Evaluasi performa dilakukan menggunakan metrik *precision*, *recall*, mAP@50, dan mAP@50-95. Hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil evaluasi model terbaik pada data uji

Kelas	Precision	Recall	mAP@50	mAP@50-95
mobil	0,971	0,965	0,986	0,856
motor	0,93	0,921	0,966	0,676

Berdasarkan Tabel 4, model menunjukkan performa deteksi yang sangat baik pada kedua kelas kendaraan. Performa pada kelas mobil, model memperoleh nilai *precision* sebesar 0,971 dan *recall* sebesar 0,965. Nilai *precision* yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi mobil yang dihasilkan model merupakan deteksi yang benar, sedangkan nilai *recall* yang tinggi menunjukkan kemampuan model dalam menemukan hampir seluruh objek mobil pada citra. Nilai mAP@50 sebesar 0,986 mengindikasikan akurasi deteksi yang sangat tinggi, sementara mAP@50-95 sebesar 0,856 menunjukkan bahwa model tetap mampu mempertahankan kualitas deteksi pada berbagai tingkat IoU yang lebih ketat.

Performa pada kelas motor, performa model juga mengalami peningkatan yang signifikan. Model memperoleh *precision* sebesar 0,93 dan *recall* sebesar

0,921, yang menunjukkan keseimbangan antara kemampuan mendeteksi objek motor dan meminimalkan kesalahan prediksi. Nilai mAP@50 sebesar 0,966 menandakan bahwa sebagian besar objek motor berhasil dikenali dengan baik oleh model. Sementara itu, nilai mAP@50-95 sebesar 0,676 menunjukkan bahwa meskipun performa sudah baik, deteksi motor masih lebih menantang dibandingkan mobil, terutama pada evaluasi IoU yang lebih tinggi.

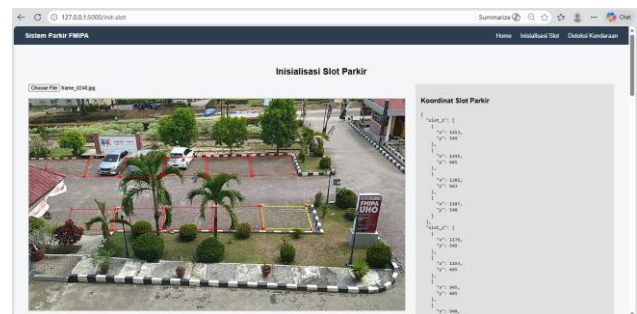
Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa model YOLO11n mampu melakukan deteksi kendaraan secara efektif dan memiliki kemampuan generalisasi yang baik pada data uji, sehingga layak digunakan pada tahap implementasi sistem deteksi ketersediaan slot parkir

C. Hasil Implementasi Sistem

Implementasi dilakukan pada setiap tahapan sistem, mulai dari proses inialisasi area parkir hingga visualisasi hasil deteksi pada sistem berbasis *website*.

1. Inialisasi ROI

Tahap inialisasi ROI dilakukan untuk menentukan batas setiap slot parkir yang akan diamati oleh sistem.

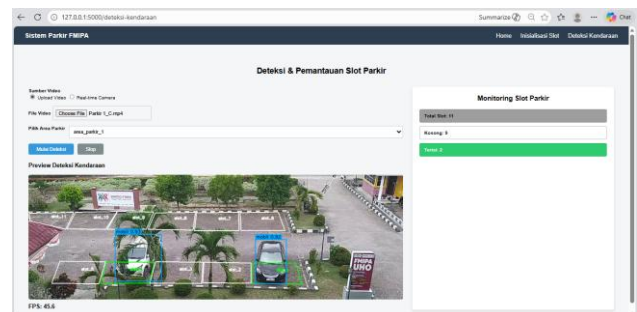


Gambar 3. Halaman inialisasi ROI

Berdasarkan Gambar 3, menunjukkan setiap poligon mewakili satu slot parkir yang menjadi acuan dalam menentukan status ketersediaan parkir. Setiap slot memiliki nilai koordinat yang akan digunakan untuk penentuan status slot parkir.

2. Halaman deteksi ketersediaan parkir

Halaman ini menampilkan hasil proses deteksi ketersediaan parkir yang dilakukan oleh sistem



Gambar 4. Halaman deteksi ketersediaan parkir

Berdasarkan Gambar 4, sistem mampu menampilkan status slot parkir pada setiap frame video. Slot yang memiliki kendaraan di dalam ROI ditandai sebagai terisi, sedangkan slot kosong ditampilkan dengan indikator berbeda. Nilai *confidence* yang disertakan pada *bounding*

box memberikan informasi tambahan mengenai tingkat keyakinan model terhadap setiap deteksi kendaraan.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem dapat menggabungkan mekanisme deteksi objek YOLO11n dengan perhitungan IoU untuk menentukan status slot parkir secara otomatis. Visualisasi ini membantu memverifikasi bahwa setiap slot dipantau secara *real-time*, memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dan akurat untuk manajemen parkir.

D. Hasil Pengujian Sistem

Bagian ini menjelaskan hasil pengujian sistem yang bertujuan untuk mengevaluasi performa deteksi slot parkir.

1. Pengujian *threshold* IoU slot parkir dan *confidence threshold*

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mencapai akurasi maksimum sebesar 100% pada rentang *confidence threshold* 0,1 – 0,8 dan *IoU threshold* 0,1 – 0,2. Kombinasi ini mampu mengidentifikasi status slot parkir tanpa menghasilkan kesalahan klasifikasi. FN meningkat secara signifikan ketika *IoU threshold* dinaikkan di atas 0,3. Kondisi ini terjadi karena kendaraan yang berada di dekat batas slot atau menempati area antar slot tidak memenuhi batas *overlap* minimum yang ditetapkan sistem. Akibatnya, slot parkir yang sebenarnya terisi diklasifikasikan sebagai kosong.

Sebaliknya, *IoU threshold* rendah membuat sistem lebih permisif dalam menentukan status terisi. Kendaraan yang hanya menempati sebagian area slot tetap dianggap memenuhi kriteria *overlap* sehingga sensitivitas sistem meningkat.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa perubahan *confidence threshold* pada rentang 0,1 hingga 0,8 tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap akurasi sistem. Namun pada *confidence threshold* tinggi (0,9), sistem menjadi terlalu selektif sehingga jumlah FN meningkat dan akurasi menurun.

Secara umum, hubungan antara *IoU threshold* dan akurasi menunjukkan kecenderungan berbanding terbalik. Semakin tinggi nilai *IoU threshold*, semakin ketat kriteria deteksi sehingga jumlah FN meningkat dan akurasi menurun.

2. Pengujian berdasarkan variasi kondisi lingkungan

- a. Pengujian berdasarkan kondisi waktu
Pengujian dilakukan pada area parkir yang sama untuk memastikan bahwa perubahan performa sistem hanya dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang relatif stabil pada berbagai kondisi waktu tanpa adanya penurunan signifikan dalam kemampuan deteksi maupun penentuan status slot parkir.
- b. Pengujian pada variasi sudut kamera
Pengujian dilakukan dengan variasi sudut kamera untuk mengevaluasi pengaruh perspektif terhadap kemampuan sistem dalam menentukan status slot parkir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan sudut kamera memberikan pengaruh signifikan terhadap performa sistem. Sudut kamera yang terlalu miring menyebabkan distorsi perspektif sehingga nilai *overlap* antara *bounding*

box kendaraan dan ROI slot parkir menjadi lebih kecil.



(a)



(b)

Gambar 5. Perbandingan hasil deteksi berdasarkan variasi kamera: (a) sudut kamera miring menyebabkan kegagalan deteksi, (b) sudut kamera ideal menghasilkan deteksi yang lebih akurat

Berdasarkan Gambar 5(a), beberapa kendaraan yang secara visual berada di dalam slot parkir tidak terdeteksi sebagai slot terisi. Kondisi ini terjadi karena sudut kamera miring menyebabkan bentuk kendaraan dan area slot parkir mengalami distorsi perspektif sehingga nilai IoU menjadi lebih kecil dari batas minimum yang ditentukan sistem. Akibatnya, jumlah FN meningkat karena slot parkir yang sebenarnya terisi diklasifikasikan sebagai kosong. Sebaliknya, pada Gambar 5(b), sudut kamera yang lebih tegak lurus terhadap area parkir menghasilkan tampilan objek yang lebih proporsional antara kendaraan dan ROI slot parkir. *Overlap* yang dihasilkan menjadi lebih stabil sehingga sistem mampu menentukan status slot parkir dengan lebih akurat. Temuan ini menunjukkan bahwa posisi dan sudut pemasangan kamera merupakan faktor penting dalam implementasi sistem parkir berbasis visi komputer pada lingkungan operasional nyata.

c. Pengujian pada kondisi cuaca

Hasil pengujian menunjukkan bahwa model tetap mampu mendeteksi kendaraan dengan baik pada kondisi hujan, serupa dengan performa pada kondisi normal. Penurunan performa pada beberapa kondisi lebih dipengaruhi oleh variasi sudut kamera dibandingkan gangguan visual akibat cuaca. Sistem tetap mampu menentukan status ketersediaan parkir dengan baik, namun akurasi sangat bergantung pada sudut kamera yang digunakan. Sudut kamera yang ideal menghasilkan performa deteksi yang lebih tinggi dan stabil.

3. Pengujian *black box*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur sistem, termasuk inisialisasi slot parkir, deteksi ketersediaan slot, serta deteksi anomali dan pelanggaran, berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Sistem mampu memproses input pengguna dan menampilkan output yang benar tanpa ditemukannya kesalahan fungsional, menandakan bahwa implementasi sistem stabil dan siap digunakan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem deteksi ketersediaan slot parkir berbasis algoritma YOLO11 berhasil diimplementasikan untuk mendeteksi kendaraan secara *real-time* pada area parkir FMIPA Universitas Halu Oleo. Status slot parkir berhasil ditentukan menggunakan perhitungan IoU antara *bounding box* kendaraan dan ROI setiap slot parkir, sehingga sistem mampu membedakan kondisi slot kosong dan terisi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi nilai IoU *threshold* memiliki pengaruh lebih besar terhadap akurasi sistem dibandingkan *confidence threshold*. Sistem mencapai performa optimal pada rentang *confidence threshold* 0,1–0,8 dan IoU *threshold* 0,1–0,2. Secara keseluruhan, sistem mampu memberikan informasi ketersediaan parkir secara otomatis dan *real-time*, meskipun kinerjanya masih dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti sudut pandang dan posisi kamera.

Pengembangan penelitian selanjutnya disarankan sistem dapat dikembangkan menjadi aplikasi berbasis *mobile*. Selain itu, integrasi dengan teknologi lain seperti sensor IoT atau sistem manajemen parkir terpusat dapat dilakukan untuk meningkatkan keakuratan serta mendukung implementasi sistem pada skala yang lebih luas.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. Wangi, Lenggogeni, dan W. Hadi, "Car Parking Needs Analysis at Campus a Jakarta State University in The Construction Period," *Journal of Green Science and Technology*, vol. 8, no. 1, hlm. 1–10, 2024.
- [2] G. N. Sivalingam, "Parking Availability: How predictive and responsive data work together to provide drivers with the best possible parking experience," Parkopedia. Diakses: 14 Oktober 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://business.parkopedia.com/blog/parking-availability-how-predictive-and-responsive-data-work-together-to-provide-drivers-with-the-best-possible-parking-experience>
- [3] BPS, "Statistik Transportasi Darat 2023," 2023.
- [4] A. Prayitno, B. S. Putra, dan I. Arrela, "Perancangan Sistem Informasi Parkir di Universitas Dinamika Bangsa Berbasis Web," *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Komputer (JAKAKOM)*, vol. 3, no. 2, hlm. 667–674, 2023.
- [5] R. F. Putri, W. A. Triyanto, dan P. Setiaji, "Implementation of YOLOv5 for Automatic Parking Lot Detection and Monitoring System," *Jurnal Sistem Informasi & Manajemen*, vol. 12, no. 3, hlm. 106–113, 2025.
- [6] C.-Y. Wang, A. Bochkovskiy, dan H.-Y. M. Liao, "YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for *real-time* object detectors," *ArXiv*, hlm. 1–15, Jul 2022.
- [7] R. Khanam dan M. Hussain, "YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements," hlm. 1–9, Okt 2024.
- [8] F. M. Talaat, S. Mohamed, R. Ezzat, dan S. Ghorab, "Real-time Smart Parking System Using YOLO11 and OpenCV," *Neural Comput. Appl.*, hlm. 1–14, 2025.
- [9] A. Sharma, V. Kumar, dan L. Longchamps, "Comparative performance of YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11 and Faster R-CNN models for detection of multiple weed species," *Smart Agriculture Technology*, 2024.
- [10] G. P. C. P. da Luz, G. M. Sato, L. F. G. Gonzalez, dan J. F. Borin, "Smart Parking with Pixel-Wise ROI Selection for Vehicle Detection Using YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, and YOLOv11," Des 2024.
- [11] J. Han, M. Kamber, dan J. Pei, *Data Mining: Concepts and Technique*, 3rd ed. Waltham, MA: Morgan Kaufmann, 2012.
- [12] Ultralytics, "YOLO11 Documentation," Ultralytics. [Daring]. Tersedia pada: <https://docs.ultralytics.com/>.
- [13] M. Md Jan, N. Zainal, dan S. Jamaludin, "Region of interest-based image retrieval techniques: a review," *IAES International Journal*

of Artificial Intelligence (IJ-AI), vol. 9, no. 3, hlm. 520–528, Sep 2020, doi: 10.11591/ijai.v9.i3.pp520-528.

- [14] Mathlab, "ROI-Based Processing," Mathworks. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.mathworks.com/help/images/roi-based-processing.html>?
- [15] V. Lakshmanan, M. Görner, dan R. Gillard, *Practical Machine Learning for Computer Vision: End-to-End Machine Learning for Images*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2021.