

PENERAPAN SISTEM DETEKSI KENDARAAN BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) UNTUK MENDUKUNG SMART TRAFFIC DI KOTA SUKABUMI

Moch Hamdi Addzikri¹⁾, M. Robi Firmansyah²⁾, M. Gilang Rija A³⁾, Elia Jose Alvaro Rahayaan⁴⁾

^(1, 2, 3, 4)Universitas Nusa Putra Sukabumi, Prodi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Komputer, dan Desain

e-mail: moch.hamdi_ti23@nusaputra.ac.id¹⁾, m.robi_ti23@nusaputra.ac.id²⁾, gilang.rija_ti23@nusaputra.ac.id³⁾, elia.jose_ti23@nusaputra.ac.id⁴⁾

* Korespondensi: e-mail: elia.jose_ti23@nusaputra.ac.id⁴⁾

ABSTRAK

Kemacetan lalu lintas masih menjadi permasalahan utama di wilayah perkotaan, termasuk Kota Sukabumi, yang berdampak pada efisiensi mobilitas dan kenyamanan masyarakat. Sistem pemantauan konvensional berbasis Closed-Circuit Television (CCTV) umumnya masih bersifat pasif dan memerlukan analisis manual, sehingga kurang mampu memberikan informasi lalu lintas secara cepat dan kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem deteksi kendaraan berbasis Artificial Intelligence (AI) menggunakan algoritma You Only Look Once (YOLO) sebagai pendukung Smart Traffic Management System (STMS). Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan data utama berupa video lalu lintas yang diperoleh dari sumber publik (CCTV YouTube). Video diproses menjadi frame citra untuk pelatihan dan pengujian model. Model YOLO dilatih untuk mendeteksi beberapa kelas kendaraan, yaitu mobil, sepeda motor, dan truk. Evaluasi performa dilakukan menggunakan metrik Precision, Recall, mean Average Precision pada IoU 0.5 (mAP50), serta mAP50–95. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mampu mendeteksi kendaraan secara konsisten pada berbagai kondisi lalu lintas dengan nilai precision sebesar 0,89, recall sebesar 0,93, mAP50 sebesar 0,95, dan mAP50–95 sebesar 0,88. Selain menghasilkan visualisasi deteksi kendaraan dalam bentuk bounding box pada video, sistem juga menghasilkan data numerik berupa jumlah kendaraan dan tingkat kepadatan lalu lintas dalam bentuk persentase dan file CSV. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan efektif sebagai alat pemantauan lalu lintas berbasis data dan berpotensi mendukung pengambilan keputusan pada sistem manajemen lalu lintas cerdas.

Kata Kunci: Artificial Intelligence, YOLO, Deteksi Kendaraan, Smart Traffic Management System, Computer Vision.

ABSTRACT

Traffic congestion remains a major issue in urban areas, including Sukabumi City, affecting mobility efficiency and public convenience. Conventional traffic monitoring systems based on Closed-Circuit Television (CCTV) are generally passive and rely on manual analysis, limiting their ability to provide fast and quantitative traffic information. This study aims to develop and evaluate an Artificial Intelligence (AI)-based vehicle detection system using the You Only Look Once (YOLO) algorithm to support a Smart Traffic Management System (STMS). This research employs a quantitative experimental approach using traffic video data obtained from public CCTV sources on YouTube. The videos are processed into image frames for model training and testing. The YOLO model is trained to detect multiple vehicle classes, including cars, motorcycles, and trucks. Model performance is evaluated using Precision, Recall, mean Average Precision at IoU 0.5 (mAP50), and mAP50–95 metrics. Experimental results indicate that the proposed model achieves reliable detection performance under various traffic conditions, with a precision of 0.89, recall of 0.93, mAP50 of 0.95, and mAP50–95 of 0.88. In addition to visual vehicle detection using bounding boxes in video output, the system produces quantitative data such as vehicle counts and traffic density levels expressed as percentages and stored in CSV format. These findings demonstrate that the developed system is effective for video-based traffic monitoring and has strong potential to support data-driven decision making in intelligent traffic management systems.

Keywords: Artificial Intelligence, YOLO, Vehicle Detection, Smart Traffic Management, Computer Vision

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence / AI*) telah membawa perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu bidang yang paling terasa dampaknya adalah sektor transportasi dan pengelolaan lalu lintas [1]. Di era *Smart City*, konsep *Smart Traffic Management System* menjadi kunci dalam menciptakan sistem transportasi yang efisien, aman, dan berkelanjutan. Teknologi berbasis AI, terutama dalam bidang *Computer Vision* dan *Machine Learning*, kini digunakan untuk menganalisis data lalu lintas secara otomatis, mendeteksi kendaraan, serta membantu pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat [2].

Dalam konteks lokal, Kota Sukabumi merupakan wilayah yang sedang berkembang pesat dari sisi ekonomi dan mobilitas masyarakat. Peningkatan aktivitas harian masyarakat, terutama di kawasan Cisaat, Cibadak, dan pusat kota, menyebabkan peningkatan signifikan dalam jumlah kendaraan. Berdasarkan data Dinas Perhubungan Jawa Barat (2023)[3], volume kendaraan di wilayah Sukabumi meningkat sekitar 18% dibandingkan tahun sebelumnya, terutama pada jam sibuk dan akhir pekan. Sayangnya, sistem pemantauan lalu lintas di daerah tersebut masih bersifat manual dan reaktif, bergantung pada petugas lapangan atau pantauan CCTV (Closed-Circuit Television) yang belum terintegrasi dengan sistem analitik berbasis AI. Hal ini menyebabkan proses pengumpulan dan analisis data lalu lintas menjadi lambat, serta kurang efisien dalam memberikan rekomendasi pengaturan lalu lintas.

Masalah tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan akan sistem transportasi cerdas dan kondisi teknologi yang tersedia saat ini di Sukabumi. Identifikasi permasalahan yang muncul dapat dirinci menjadi beberapa poin penting, seperti kurangnya sistem monitoring otomatis, belum adanya analisis berbasis data real-time, serta minimnya penerapan *Artificial Intelligence* dalam mendukung efisiensi pengelolaan lalu lintas. Selain itu, keterbatasan sumber daya manusia dan infrastruktur digital juga menjadi hambatan bagi pemerintah daerah untuk menerapkan sistem lalu lintas adaptif berbasis data.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem deteksi kendaraan berbasis *Artificial Intelligence* sebagai *proof of concept* bagi penerapan *Smart Traffic Management* di wilayah Sukabumi. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi dan menghitung jumlah kendaraan dari data video menggunakan algoritma *Object Detection* seperti YOLO (You Only Look Once) atau SSD (Single Shot MultiBox Detector). Dengan memanfaatkan model berbasis *Deep Learning*, sistem dapat mengenali objek kendaraan dalam berbagai kondisi pencahayaan dan tingkat kepadatan lalu lintas. Data hasil deteksi tersebut dapat digunakan sebagai sumber informasi bagi pihak berwenang dalam merancang kebijakan lalu lintas yang lebih efisien[4].

Penelitian ini memiliki batasan yang jelas agar tetap fokus dan realistis untuk dilakukan pada skala mahasiswa. Fokus utama penelitian ini adalah pada tahap deteksi kendaraan dan analisis hasil deteksi, bukan pada pengembangan sistem lalu lintas secara keseluruhan atau integrasi dengan perangkat keras seperti sensor dan kamera CCTV real-time. Data yang digunakan bersumber dari dataset publik (misalnya COCO/ Common Objects in Context atau KITTI/ Karlsruhe Institute of Technology and Toyota Technological Institute) serta video simulasi lalu lintas di wilayah Sukabumi yang diperoleh dari sumber daring. Dengan pembatasan tersebut, penelitian ini menitikberatkan pada pengujian akurasi model AI dalam mengenali dan menghitung kendaraan, serta mengevaluasi potensinya untuk digunakan sebagai komponen utama dalam sistem *Smart Traffic*[5].

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe sistem deteksi kendaraan berbasis *Artificial Intelligence* yang dapat bekerja secara otomatis dan akurat. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengukur performa algoritma deteksi kendaraan dan menganalisis sejauh mana hasil yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan lalu lintas cerdas di Sukabumi. Secara akademik, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi *Computer Vision* dan *Deep Learning* di bidang transportasi. Sementara secara praktis, hasil

penelitian ini diharapkan dapat membantu instansi pemerintah daerah memperoleh data volume kendaraan secara otomatis dan efisien.

Melalui penerapan AI dalam sistem deteksi kendaraan, penelitian ini ingin membuktikan bahwa teknologi cerdas tidak hanya dapat diterapkan di kota besar, tetapi juga dapat dikembangkan di daerah seperti Sukabumi dengan memanfaatkan sumber daya terbatas. Hal ini sekaligus mendukung visi *Smart*

City yang inklusif dan adaptif terhadap kebutuhan lokal[2]. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjadi langkah awal dalam penerapan *Artificial Intelligence* di bidang transportasi, tetapi juga menjadi bentuk kontribusi nyata mahasiswa teknologi informasi terhadap pembangunan daerah berbasis inovasi digital.

II. KAJIAN TEORI

Perkembangan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) dalam dua dekade terakhir telah merevolusi berbagai bidang, termasuk sektor transportasi dan sistem pengelolaan lalu lintas. AI kini mampu melakukan tugas-tugas kompleks yang sebelumnya hanya dapat dilakukan manusia, seperti pengenalan pola, analisis gambar, hingga pengambilan keputusan otomatis. Salah satu cabang AI yang paling relevan dalam penelitian ini adalah *Computer Vision*, yaitu kemampuan komputer untuk memahami dan menganalisis informasi visual dari dunia nyata.

Dalam konteks penelitian ini, *Computer Vision* digunakan untuk membangun sistem deteksi kendaraan otomatis yang dapat mengidentifikasi dan menghitung jumlah kendaraan dari citra atau video. Teknologi ini berperan penting dalam mendukung penerapan *Smart Traffic Management System* — salah satu elemen utama dari konsep *Smart City*[6]. Sistem seperti ini memungkinkan pemerintah daerah memantau kepadatan lalu lintas secara real-time, mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas, serta memprediksi kemacetan dengan akurasi tinggi[5].

A. Konsep *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, dan *Deep Learning*

Secara umum, *Artificial Intelligence* (AI) didefinisikan sebagai sistem yang dapat melakukan fungsi kognitif manusia, seperti belajar, mengenali pola, dan mengambil keputusan[5]. Di bawah payung AI terdapat dua cabang penting, yaitu:

- Machine Learning (ML) – metode yang memungkinkan sistem komputer belajar dari data dan memperbaiki performanya tanpa pemrograman eksplisit.
- Deep Learning (DL) – bentuk lanjutan dari ML yang menggunakan struktur jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Network*) dengan banyak lapisan untuk mengekstraksi fitur kompleks dari data visual.

Dalam penelitian ini, teknologi yang digunakan masuk dalam ranah *Deep Learning*, karena sistem deteksi kendaraan memerlukan kemampuan tinggi untuk mengenali berbagai bentuk, warna, dan posisi kendaraan dalam citra.

B. Konsep *Computer Vision* dan *Object Detection*

Computer Vision (CV) adalah cabang ilmu yang memungkinkan komputer untuk menafsirkan informasi visual, seperti gambar atau video. Proses utama dalam CV meliputi:

1. Preprocessing gambar – menyiapkan data citra agar sesuai untuk analisis (misalnya, *resizing*, normalisasi warna, dan penghapusan noise).
2. Ekstraksi fitur (Feature Extraction) – mengidentifikasi pola penting dalam gambar, seperti tepi, bentuk, dan tekstur.
3. Klasifikasi atau Deteksi Objek (Object Detection) – menentukan jenis objek dan posisi objek dalam citra.

Beberapa algoritma *Object Detection* populer yang sering digunakan antara lain:

- YOLO (You Only Look Once) – mendeteksi objek secara langsung dalam satu kali pemrosesan gambar, efisien untuk aplikasi real-time.
- SSD (Single Shot Detector) – menggunakan *feature maps* multi-skala untuk mendeteksi objek dengan berbagai ukuran.
- Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network) – menghasilkan deteksi akurat dengan segmentasi wilayah kandidat sebelum klasifikasi, namun memerlukan sumber daya komputasi lebih besar[7].

Dalam penelitian ini, YOLO menjadi pilihan utama karena memiliki keseimbangan ideal antara kecepatan deteksi dan tingkat akurasi, menjadikannya cocok untuk analisis video kendaraan di jalan raya.

C. Smart Traffic Management System (STMS)

Konsep *Smart Traffic* merupakan bagian dari inisiatif *Smart City* yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan transportasi melalui penggunaan teknologi informasi[8], *Smart Traffic Management System (STMS)* mengintegrasikan sensor, kamera, dan algoritma AI untuk memantau arus kendaraan secara real-time[9].

Manfaat utama dari STMS meliputi:

- Pengurangan kemacetan dengan optimasi waktu lampu lalu lintas.
- Deteksi dini kecelakaan atau pelanggaran lalu lintas.
- Penyediaan data statistik lalu lintas untuk perencanaan kebijakan transportasi.

Dengan mengintegrasikan sistem deteksi kendaraan berbasis AI, kota seperti Sukabumi dapat memperoleh data volume kendaraan yang akurat tanpa bergantung pada pengawasan manual petugas di lapangan.

D. Penelitian Terdahulu yang Relevan

Kajian terhadap penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan *Computer Vision* dan AI dalam deteksi kendaraan sudah banyak dilakukan di berbagai daerah. Beberapa penelitian tersebut dapat dirangkum sebagai berikut:

Tabel I Ringkasan Penelitian Terdahulu Terkait Deteksi Kendaraan Berbasis Artificial Intelligence (AI) bersumber dari penulis berdasarkan hasil studi literatur dari jurnal dan prosiding ilmiah terkait.

Peneliti & Tahun	Judul Penelitian / Metode yang Digunakan	Hasil Utama / Relevansi	Sumber / Link
Redmon & Farhadi (2018)	<i>YOLOv3: An Incremental Improvement</i> [10]	Fondasi utama deteksi kendaraan real-time dengan kecepatan dan akurasi tinggi.	arXiv:1804.02767
Xiang et al. (2018)	<i>Vehicle Counting Based on Vehicle Detection and Tracking Using UAV Videos</i> [11]	Sistem <i>vehicle counting</i> berbasis deteksi & tracking; akurat untuk estimasi volume lalu lintas dari video udara.	MDPI Sensors
Bouazizi et al. (2024)	<i>Road Object Detection using SSD-MobileNet Architectures</i> [12]	Arsitektur ringan dan efisien untuk deteksi objek di jalan dengan konsumsi sumber daya minimal.	JRC UMY Journal
Munir et al. (2023)	<i>YOLO Modification for Dense Urban Traffic Detections</i> [13]	Modifikasi YOLO untuk lalu lintas padat; meningkatkan akurasi terhadap kendaraan kecil di area urban.	ITB Repository PDF
Yang et al. (2021)	<i>A Fast Vehicle Counting and Traffic Volume Estimation Method Based on Convolutional Neural Network</i> [14]	Mengusulkan metode berbasis CNN untuk <i>vehicle counting</i> yang cepat dan akurat; relevan dengan analisis volume lalu lintas perkotaan.	IEEE Access
Zhang et al. (2022)	<i>Real-Time Vehicle Detection Based on Improved YOLOv5</i> [15]	Peningkatan arsitektur YOLOv5 meningkatkan mAP dan akurasi deteksi kendaraan pada kondisi lalu lintas padat.	MDPI Sustainability
Kumar et al. (2023)	<i>Fusion of YOLOv5 and DeepSORT for Traffic</i>	Kombinasi deteksi dan tracking efektif untuk pemantauan volume	MDPI Sustainability

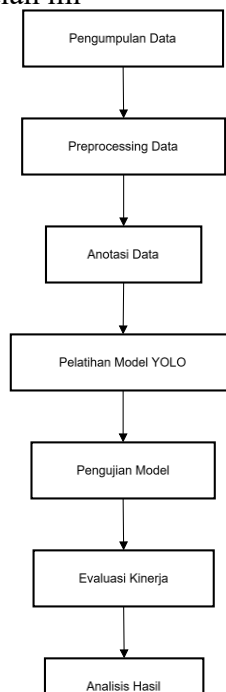


Peneliti & Tahun	Judul Penelitian / Metode yang Digunakan	Hasil Utama / Relevansi	Sumber / Link
	<i>Monitoring</i> [16]	lalu lintas secara berkelanjutan.	
Wang et al. (2022)	<i>Traffic Density Estimation Using YOLO-Based Detection</i> [17]	Output deteksi YOLO dapat dikonversi menjadi indikator kepadatan lalu lintas berbasis numerik.	MDPI Applied Sciences
Pratama et al. (2022)	<i>Penerapan YOLOv5 untuk Deteksi Kendaraan Perkotaan</i> [18]	YOLOv5 terbukti efektif pada lalu lintas perkotaan Indonesia sebagai sistem pemantauan cerdas.	Jurnal RESTI
Mulyana & Rofik (2024)	<i>Deteksi dan Klasifikasi Kendaraan Real-Time Menggunakan YOLOv5</i> [19]	Sistem mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan secara real-time dengan akurasi tinggi.	Jurnal Pendidikan Tambusai
Alqahtani et al. (2024)	<i>Vision-Based Traffic Monitoring Using YOLOv8</i> [20]	YOLOv8 menunjukkan efisiensi dan kecepatan lebih baik dibanding YOLO versi sebelumnya.	MDPI Electronics

III. METODE

Metodologi penelitian berfungsi sebagai kerangka kerja sistematis yang digunakan untuk memastikan bahwa seluruh proses penelitian berjalan terarah, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental[4] di mana sistem deteksi kendaraan berbasis *Artificial Intelligence* (AI) diuji secara objektif untuk mengukur kinerja dan tingkat akurasi dalam mendeteksi kendaraan pada kondisi lalu lintas perkotaan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena hasil penelitian direpresentasikan dalam bentuk data numerik, seperti jumlah kendaraan yang terdeteksi, nilai *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *mean Average Precision* (mAP), yang selanjutnya dianalisis secara statistik. Fokus utama penelitian ini adalah pengembangan dan pengujian sistem deteksi kendaraan berbasis *Computer Vision* menggunakan algoritma You Only Look Once versi 8 (YOLOv8). Algoritma ini dipilih karena kemampuannya dalam melakukan deteksi objek secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi serta efisiensi komputasi yang baik. Hasil deteksi kendaraan yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendukung konsep Smart Traffic Management System (STMS), khususnya dalam konteks pemantauan tingkat kepadatan dan kemacetan lalu lintas di wilayah perkotaan.[12].

Secara umum, alur penelitian ini mengikuti tahapan pengumpulan data, *preprocessing*, anotasi data, pelatihan model, pengujian model, evaluasi kinerja, analisis hasil, serta penarikan kesimpulan dan rekomendasi, sebagaimana ditunjukkan pada diagram alur penelitian (flowchart) yang telah dilampirkan. Berikut adalah diagram alur kami di penelitian ini



Gambar 1 Diagram Alur (Flowchart) Metodologi Penelitian Deteksi Kendaraan
Berbasis YOLO yang dirancang oleh penulis.

A. Lokasi

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data video lalu lintas perkotaan yang diperoleh dari sumber publik. Data utama berupa rekaman video CCTV lalu lintas yang tersedia di platform YouTube dipilih karena memiliki karakteristik visual dan pola pergerakan kendaraan yang merepresentasikan kondisi jalan perkotaan, termasuk variasi kepadatan kendaraan, jenis kendaraan, serta kondisi pencahayaan. Meskipun video tidak seluruhnya direkam langsung di Kota Sukabumi, karakteristik lalu lintas yang diamati dianggap relevan dan representatif untuk mendukung tujuan penelitian.[11].

Selain video CCTV publik, penelitian ini juga memanfaatkan dataset terbuka seperti COCO (Common Objects in Context) dan KITTI (Karlsruhe Institute of Technology and Toyota Technological Institute) sebagai data pendukung. Dataset tersebut digunakan untuk memperkaya variasi objek kendaraan serta meningkatkan kemampuan generalisasi model deteksi kendaraan yang dikembangkan[6].

Secara temporal, penelitian ini direncanakan berlangsung mulai bulan November 2025 hingga waktu yang ditentukan, dengan tahapan yang meliputi pengumpulan data, pra-pemrosesan, anotasi data, pelatihan model, pengujian sistem, serta analisis hasil. Pembagian waktu ini dilakukan agar setiap tahap penelitian dapat dijalankan secara optimal dan terkontrol.

B. Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh data citra dan video yang menampilkan kondisi lalu lintas kendaraan di lingkungan perkotaan dengan karakteristik yang serupa dengan Kota Sukabumi. Populasi tersebut mencakup berbagai jenis kendaraan, seperti mobil, sepeda motor, dan truk, serta kondisi lalu lintas yang bervariasi dari lancar hingga padat[9].

Secara operasional, sampel penelitian berupa frame citra yang diekstraksi dari video CCTV publik dengan interval tertentu. Dari keseluruhan data yang dikumpulkan, dipilih sekitar 5.000 frame sebagai data pelatihan (*training set*) dan 1.000 frame sebagai data pengujian (*testing set*). Jumlah tersebut dianggap cukup untuk melatih dan mengevaluasi performa model YOLOv8 secara efektif pada tingkat penelitian mahasiswa.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui **observasi tidak langsung** dan dokumentasi. Observasi tidak langsung dilakukan dengan menganalisis rekaman video lalu lintas yang telah tersedia, tanpa melakukan pengambilan data langsung di lapangan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengamati pola pergerakan kendaraan, kepadatan lalu lintas, serta variasi kondisi jalan secara efisien. Dokumentasi dilakukan dengan memanfaatkan dataset terbuka yang telah divalidasi secara akademik, seperti COCO dan KITTI, serta dokumentasi video lalu lintas dari sumber publik. Data yang diperoleh kemudian dikonversi ke format yang sesuai untuk kebutuhan pemrosesan AI[10].

Secara umum, sumber data dalam penelitian ini meliputi:

- video CCTV lalu lintas dari platform YouTube sebagai data utama,
- dataset publik COCO dan KITTI sebagai data pendukung,
- data hasil augmentasi untuk meningkatkan variasi sudut pandang, pencahayaan, dan kepadatan lalu lintas.

Seluruh data kemudian dianotasi menggunakan perangkat lunak LabelImg untuk menandai objek kendaraan seperti mobil, sepeda motor, dan truk, sehingga dapat digunakan sebagai *ground truth* dalam proses pelatihan dan evaluasi model.

D. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan utama yang saling berurutan. Tahap pertama adalah pra-pemrosesan data, di mana video lalu lintas dipecah menjadi frame citra. Setiap frame kemudian diubah ke ukuran tetap dan dinormalisasi agar sesuai dengan kebutuhan input model YOLOv8. Pada tahap ini juga dilakukan *data augmentation*, seperti rotasi dan flipping, untuk meningkatkan keragaman data pelatihan[9].

Tahap berikutnya adalah anotasi data, yang dilakukan secara otomatis (*auto-labeling*) menggunakan model YOLO pra-latih. Hasil anotasi ini kemudian ditinjau secara selektif untuk memastikan kualitas label sebelum digunakan dalam proses pelatihan[14].

Selanjutnya, dilakukan pelatihan model deteksi kendaraan menggunakan YOLOv8 dengan memanfaatkan framework PyTorch. Proses pelatihan dilakukan pada lingkungan komputasi yang mendukung GPU untuk mempercepat proses komputasi. Model dilatih menggunakan data pelatihan yang telah disiapkan, kemudian diuji menggunakan data pengujian untuk mengukur performanya.

Formula umum yang digunakan:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} ; Recall = \frac{TP}{TP + FN} ;$$

$$F1 = 2 * \frac{PRECISION * RECALL}{PRECISION + RECALL}$$

di mana TP = *True Positive*, FP = *False Positive*, dan FN = *False Negative*.

Evaluasi model dilakukan dengan menghitung beberapa metrik kinerja, yaitu *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *mean Average Precision* (mAP). Metrik-metrik ini digunakan untuk menilai kemampuan model dalam mendeteksi kendaraan secara akurat dan konsisten. Formula evaluasi yang digunakan mengikuti standar evaluasi pada penelitian deteksi objek.

Hasil evaluasi kemudian dianalisis dengan membandingkan performa model yang diperoleh dengan hasil penelitian terdahulu yang relevan, guna mengetahui sejauh mana peningkatan atau kesesuaian kinerja model yang dikembangkan.

E. Uji Validitas dan Reliabilitas

Uji validitas dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi model terhadap label *ground truth* pada data pengujian. Validitas diukur melalui analisis *confusion matrix* untuk mengetahui jumlah deteksi benar (*true positive*), deteksi salah (*false positive*), dan objek yang tidak terdeteksi (*false negative*).

Uji reliabilitas dilakukan dengan cara menguji model pada subset data yang berbeda untuk memastikan konsistensi hasil deteksi. Model dianggap reliabel apabila perbedaan nilai akurasi antar pengujian relatif kecil dan tidak menunjukkan fluktuasi yang signifikan.

F. Perangkat yang Digunakan

Seluruh eksperimen dilakukan dengan spesifikasi perangkat berikut:

- Hardware: Laptop.
- Software:

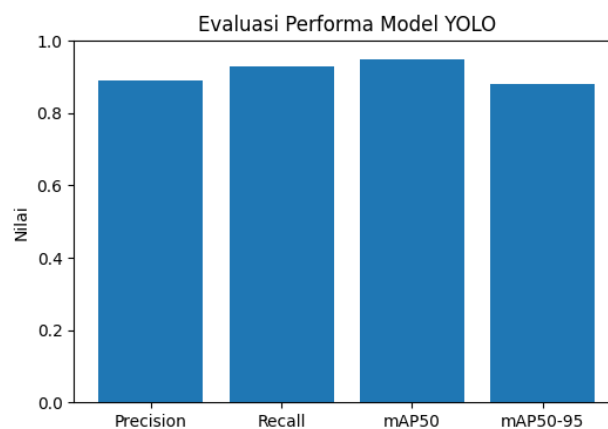
- a. Bahasa pemrograman: Python 3.10
- b. Library utama: PyTorch, OpenCV, NumPy, Pandas, dan Matplotlib
- c. Tool pendukung: LabelImg untuk *data annotation*, Jupyter Notebook untuk eksekusi kode, dan Visual Studio Code sebagai *code editor* utama
- Environment: Sistem operasi Windows 11, Sistem operasi Windows 11 (64-bit) yang dilengkapi *Python virtual environment* untuk menjaga stabilitas dependensi paket.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem deteksi kendaraan berbasis Artificial Intelligence (AI) menggunakan algoritma YOLO serta pembahasan kritis terhadap performa model yang dihasilkan. Pembahasan difokuskan pada evaluasi kinerja model, visualisasi hasil deteksi kendaraan pada video lalu lintas, serta analisis tingkat kepadatan lalu lintas sebagai bentuk implementasi konsep Smart Traffic Management System (STMS).

A. Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model Deteksi Kendaraan

Model deteksi kendaraan dilatih menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental sebagaimana telah dijelaskan pada Bab III. Proses pelatihan dilakukan menggunakan arsitektur YOLO dengan memanfaatkan dataset berbasis video lalu lintas perkotaan. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan metrik standar object detection, yaitu precision, recall, dan mean Average Precision (mAP), yang secara luas digunakan dalam penelitian deteksi objek berbasis deep learning. Berdasarkan hasil evaluasi pada data pengujian, model menghasilkan nilai precision sebesar 0,89 dan recall sebesar 0,93. Nilai precision yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar objek yang terdeteksi oleh sistem merupakan kendaraan yang benar, sementara nilai recall yang tinggi mengindikasikan bahwa mayoritas kendaraan yang ada pada video berhasil terdeteksi oleh model. Selain itu, nilai $mAP@0.5$ mencapai 0,95 dan $mAP@0.5-0.95$ sebesar 0,88, yang menandakan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang baik dan stabil pada berbagai ambang Intersection over Union (IoU).



Gambar II Visualisasi Hasil Evaluasi Performa Model YOLO Berdasarkan Nilai Precision, Recall, dan mAP.

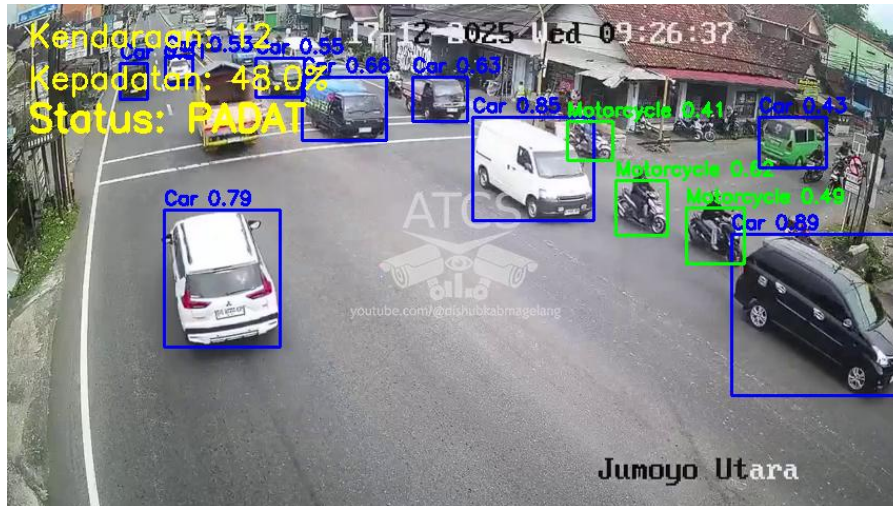
Sumber: Hasil pengolahan sistem oleh penulis menggunakan [Google Colaboratory](#).

Hasil ini sejalan dengan penelitian Redmon dan Farhadi yang menyatakan bahwa algoritma YOLO mampu memberikan performa tinggi pada tugas deteksi objek secara real-time[10], khususnya pada lingkungan dengan kepadatan objek yang tinggi. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Wibowo et al[13], yang menunjukkan bahwa YOLO tetap konsisten dalam mendeteksi kendaraan pada kondisi lalu lintas campuran.

B. Visualisasi Hasil Deteksi Kendaraan pada Video Lalu Lintas

Sebagai bentuk validasi kualitatif, model yang telah dilatih kemudian diimplementasikan pada data video lalu lintas dalam format MP4. Video tersebut diproses secara frame-by-frame, di mana sistem secara otomatis menampilkan bounding box pada setiap kendaraan yang terdeteksi, lengkap dengan label kelas kendaraan seperti mobil dan sepeda motor.

Visualisasi ini memberikan gambaran nyata mengenai kemampuan sistem dalam mendeteksi kendaraan secara real-time. Bounding box yang dihasilkan menunjukkan bahwa model mampu membedakan kendaraan yang bergerak maupun yang berada dalam kondisi berhenti, serta tetap stabil meskipun terdapat variasi pencahayaan dan kepadatan lalu lintas.



Gambar III Visualisasi Hasil Deteksi Kendaraan Menggunakan YOLO pada Video Lalu Lintas Sumber: Hasil eksperimen pada Google Colab oleh Penulis

Hasil visualisasi ini mendukung temuan Penelitian terdahulu[12]. yang menyatakan bahwa pendekatan YOLO sangat efektif digunakan pada sistem pemantauan lalu lintas berbasis video karena kemampuannya dalam melakukan inferensi cepat dan akurat.

C. Analisis Kepadatan Lalu Lintas Berbasis Data Numerik

Selain visualisasi deteksi kendaraan, penelitian ini juga menghasilkan data numerik berupa jumlah kendaraan yang terdeteksi pada setiap frame video. Data tersebut kemudian direkapitulasi dan disimpan dalam bentuk file CSV, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung tingkat kepadatan lalu lintas. Tingkat kepadatan lalu lintas dihitung berdasarkan rasio jumlah kendaraan terdeteksi terhadap kapasitas maksimum jalan pada periode waktu tertentu. Hasil perhitungan kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase untuk memudahkan interpretasi kondisi lalu lintas, seperti lalu lintas lancar, padat, atau sangat padat.

frame	jumlah kendaraan
0	9
1	7
2	8
3	8
4	8
5	8
6	8
7	7
8	7

9	7
10	7

Tabel II Persentase Tingkat Kepadatan Lalu Lintas Berdasarkan Hasil Deteksi Kendaraan. Yang bersumber dari data hasil pengolahan sistem oleh penulis menggunakan Google Colaboratory. Bisa dilihat di [lalulintas.csv](#)

Grafik kepadatan lalu lintas menunjukkan bahwa sistem mampu menangkap dinamika perubahan arus kendaraan secara temporal. Hal ini membuktikan bahwa hasil deteksi kendaraan tidak hanya berhenti pada identifikasi objek, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem manajemen lalu lintas cerdas.

C. Pembahasan Kritis dan Implikasi terhadap Smart Traffic Management System

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem deteksi kendaraan berbasis YOLO memiliki performa yang baik dan layak digunakan sebagai komponen pendukung Smart Traffic Management System. Nilai mAP yang tinggi serta keberhasilan visualisasi deteksi kendaraan secara real-time menjadi indikator bahwa sistem mampu bekerja secara andal pada data video lalu lintas nyata. Dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang menggunakan dataset statis, pendekatan berbasis video yang digunakan dalam penelitian ini memberikan keunggulan dalam merepresentasikan kondisi lalu lintas yang dinamis. Temuan ini memperkuat hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa deteksi kendaraan berbasis video lebih relevan untuk aplikasi pemantauan lalu lintas dibandingkan citra tunggal[11].

Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, antara lain ketergantungan pada kualitas video sumber serta keterbatasan perangkat keras saat pelatihan model. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat difokuskan pada penggunaan data CCTV real-time dan integrasi sistem dengan infrastruktur lalu lintas perkotaan secara langsung. Secara umum, hasil dan pembahasan pada bab ini menunjukkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai, yaitu mengembangkan dan menguji sistem deteksi kendaraan berbasis AI yang mampu memberikan informasi akurat mengenai kondisi lalu lintas dan berpotensi mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lalu lintas perkotaan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem deteksi kendaraan berbasis Artificial Intelligence (AI) menggunakan algoritma YOLO mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan pada video lalu lintas perkotaan secara efektif. Model yang dikembangkan berhasil mengenali beberapa jenis kendaraan utama, seperti mobil, sepeda motor, dan truk, dengan tingkat akurasi yang baik, sehingga layak digunakan sebagai dasar pemantauan lalu lintas secara otomatis. Hasil evaluasi performa model menunjukkan nilai precision, recall, dan mean Average Precision (mAP) yang relatif tinggi. Hal ini menandakan bahwa model tidak hanya mampu mendeteksi kendaraan dengan tingkat kesalahan yang rendah, tetapi juga cukup konsisten dalam mengenali objek kendaraan pada berbagai kondisi lalu lintas, termasuk perbedaan kepadatan dan pencahayaan. Dengan demikian, pendekatan kuantitatif eksperimental yang digunakan dalam penelitian ini terbukti sesuai untuk mengukur kinerja sistem deteksi kendaraan berbasis computer vision. Selain itu, implementasi model pada data video menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan lalu lintas secara visual melalui bounding box serta menghasilkan data numerik berupa jumlah kendaraan dan tingkat kepadatan lalu lintas dalam bentuk persentase. Informasi ini dapat dimanfaatkan sebagai indikator awal kondisi lalu lintas, seperti lancar, padat, atau sangat padat, yang relevan untuk mendukung konsep Smart Traffic Management System (STMS). Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan algoritma YOLO

sebagai inti sistem deteksi kendaraan dapat menjadi solusi yang efisien dan fleksibel dalam mendukung analisis lalu lintas perkotaan, khususnya pada skala pemantauan berbasis video.

B. Saran

Meskipun sistem yang dikembangkan telah menunjukkan hasil yang cukup baik, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data video yang lebih beragam, baik dari segi lokasi, sudut kamera, kondisi cuaca, maupun waktu perekaman, agar kemampuan generalisasi model dapat ditingkatkan. Selain itu, pengembangan sistem dapat diarahkan pada integrasi pelacakan objek (object tracking) sehingga perhitungan volume kendaraan dan kepadatan lalu lintas menjadi lebih akurat dan tidak terjadi penghitungan ganda pada kendaraan yang sama. Integrasi dengan data lalu lintas real-time atau sensor pendukung juga berpotensi meningkatkan keandalan sistem dalam implementasi nyata. Ke depan, sistem ini juga dapat dikembangkan menjadi aplikasi berbasis web atau dashboard visual yang menampilkan kondisi lalu lintas secara real-time, sehingga dapat dimanfaatkan secara langsung oleh pihak terkait, seperti dinas perhubungan atau pengelola lalu lintas. Dengan pengembangan tersebut, sistem deteksi kendaraan berbasis AI diharapkan dapat berkontribusi lebih optimal dalam mendukung pengelolaan lalu lintas perkotaan yang cerdas dan berkelanjutan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] f. ramadhani, a. satria, and s. dewi, "identifikasi kendaraan bermotor pada dashcam mobil menggunakan algoritma yolo," 2024.
- [2] j. manurung, n. azizi, d. anastasya, n. valentino, a. sanjaya, and k. saputra, "jurnal sistem dan teknologi informasi indonesia deteksi kemacetan menggunakan yolov4 dan euclidean distance tracker pada jalan raya traffic detection with yolov4 and euclidean distance tracker on highways," vol. 8, no. 1, pp. 57–63, 2023.
- [3] d. j. p. manajang, a. jacobus, j. t. elektro, u. sam, and r. manado, "implementasi framework tensorflow object detection dalam mengklasifikasi jenis kendaraan bermotor," vol. 15, no. 3, 2020.
- [4] y. k. rohiman, b. kanata, and l. a. s. i. akbar, "bulletin of computer science research deteksi dan klasifikasi kendaraan berbasis algoritma you only look once (yolov7)," vol. 5, no. 3, pp. 268–276, 2025, doi: 10.47065/bulletincsr.v5i3.509.
- [5] f. jupiter, e. s. negara, y. n. kunang, and m. i. herdiansyah, "implementasi algoritma cnn dan yolo untuk mendeteksi jenis kendaraan pada jalan raya," vol. 14, no. 2, pp. 110–117, 2023.
- [6] j. b. informatika, "2) 1,2)," vol. 10, pp. 11–18, 2024.
- [7] l. p. pratama *et al.*, "deteksi kendaraan di lalu lintas menggunakan kalman filter dan yolo v8," vol. 22, no. 2, pp. 192–205, 2025.
- [8] k. denpasar *et al.*, "1* , 2 1," vol. 4, no. 4, pp. 353–358, 2022.
- [9] i. irawanto and a. sunyoto, "peningkatan akurasi deteksi kendaraan menggunakan kombinasi haar cascade classifier dan convolutional neural networks (cnn)," vol. xx, no. xx, pp. 47–57, 2024, doi: 10.33650/jeecom.v4i2.
- [10] j. redmon, "yolov3: an incremental improvement".
- [11] x. xiang, "vehicle counting based on vehicle detection and," pp. 1–17, 2018, doi: 10.3390/s18082560.
- [12] o. bouazizi, c. azroumahli, a. el mourabit, and m. oussouaddi, "road object detection using ssd-mobilenet algorithm : case study for real-time adas applications," vol. 5, no. 2, pp. 551–560, 2024, doi: 10.18196/jrc.v5i2.21145.
- [13] a. r. i. wibowo, b. r. trilaksono, e. g. i. muhammad, i. hidayat, and r. munir, "object detection in dense and mixed traffic for autonomous vehicles with modified yolo," *ieee access*, vol. 11, no. december, pp. 134866–134877, 2023, doi: 10.1109/access.2023.3335826.
- [14] h. y. y. z. y. z. h. m. s. l. x. dai, "a fast vehicle counting and traffic volume estimation method based on convolutional neural network".
- [15] y. zhang, z. guo, j. wu, y. tian, h. tang, and x. guo, "real-time vehicle detection based on improved yolo v5," 2022.



- [16] s. kumar, s. k. singh, s. varshney, s. singh, and p. kumar, “fusion of deep sort and yolov5 for effective vehicle detection and tracking scheme in real-time traffic management sustainable system,” 2023.
- [17] p. setiaji, w. a. triyanto, and m. nurhaliza, “real-time traffic density and anomaly monitoring using yolov8 , opencv and pattern recognition for smart city applications in demak,” vol. 6, no. 4, pp. 1769–1782, 2025.
- [18] s. t. informatika, “implementasi deteksi real time klasifikasi jenis kendaraan di indonesia menggunakan metode yolov5,” vol. 6, pp. 13971–13982, 2022.
- [19] r. artikel, p. a. cahyani, p. b. wintoro, and m. a. muhammad, “sistem perhitungan kendaraan menggunakan algoritma yolov5 dan deepsort vehicle counting system using yolov5 and deepsort algorithms,” vol. 10, no. april, pp. 86–99, 2024.
- [20] j. liu, y. xie, y. zhang, and h. li, “vehicle flow detection and tracking based on an improved yolov8n and bytetrack framework,” 2025.