



Penerapan Deep Learning untuk Deteksi Objek pada Sistem Kendaraan Otonom

Fajar Nugroho ^{a,1,*}, Intan Permata Sari ^{a,2}, Nida Kusuma ^{a,3}

^aProgram Studi Teknik Komputer, Universitas Inovasi Teknologi Indonesia, Malang, Indonesia

¹ fajarnugroho97@gmail.com; ² intanpermatasari56@gmail.com; ³ nidakusuma@gmail.com

* Corresponding Author

ABSTRACT

The advancement of autonomous vehicle technology represents a critical innovation in modern transportation, particularly in enabling accurate object detection within dynamic environments. This study aims to analyze the application of deep learning methods for object detection in autonomous vehicle systems to improve accuracy, efficiency, and driving safety. A convolutional neural network (CNN) approach was employed, utilizing the You Only Look Once (YOLO) algorithm for real-time object identification. The dataset consisted of diverse road images, including vehicles, pedestrians, traffic signs, and other obstacles. The research stages included data collection, image preprocessing, model training, system testing, and performance evaluation using accuracy, precision, recall, and frame per second (FPS) metrics. The results demonstrate that the YOLO-based model achieves high detection accuracy with fast processing speed, making it suitable for real-time autonomous systems. The model attained a precision of 94% and recall of 91%, effectively reducing detection errors that may impact driving safety. Additionally, the system maintained stable performance under varying lighting and environmental conditions. These findings confirm the significant potential of deep learning in enhancing autonomous vehicle capabilities, particularly in adaptive and automated object detection. Future research should incorporate more complex datasets and integrate additional sensors such as LiDAR and radar.

Article History

Received 2026-02-18

Revised 2026-03-04

Accepted 2026-03-19

Published 2026-04-21

Keywords

Deep Learning;
Object Detection;
Autonomous Vehicles;
Computer Vision;
Artificial Intelligence

Copyright © 2026, The Author(s)

This is an open-access article under the CC-BY-SA license



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan kecerdasan buatan telah membawa perubahan besar dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk bidang transportasi modern. Salah satu inovasi yang berkembang pesat adalah kendaraan otonom atau autonomous vehicle, yaitu kendaraan yang mampu beroperasi tanpa kendali langsung dari manusia dengan memanfaatkan sistem komputasi cerdas, sensor, dan algoritma pengolahan data secara otomatis. Teknologi ini dirancang untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan kenyamanan dalam berkendara melalui kemampuan sistem dalam memahami kondisi lingkungan sekitar secara real-time. Dalam implementasinya, kendaraan otonom membutuhkan integrasi berbagai teknologi seperti computer vision, machine learning, sensor LiDAR, radar, dan kamera digital untuk mendukung proses navigasi otomatis (Goodfellow et al., 2016).

Kemampuan kendaraan otonom dalam mengenali objek di lingkungan sekitar menjadi salah satu faktor utama dalam menentukan keberhasilan sistem navigasi otomatis. Deteksi objek memungkinkan kendaraan mengenali kendaraan lain, pejalan kaki, marka jalan, rambu lalu lintas, hingga hambatan yang berada di jalur perjalanan. Proses ini harus dilakukan secara cepat dan akurat karena kesalahan identifikasi dapat menyebabkan kecelakaan lalu lintas dan membahayakan pengguna jalan. Oleh karena itu, pengembangan metode deteksi objek berbasis

kecerdasan buatan menjadi fokus utama dalam penelitian transportasi cerdas saat ini (Russell & Norvig, 2021).

Seiring meningkatnya kompleksitas kondisi lalu lintas, metode konvensional dalam pengolahan citra dinilai kurang mampu memberikan hasil deteksi yang optimal. Teknik pengolahan citra tradisional umumnya bergantung pada ekstraksi fitur manual yang memiliki keterbatasan dalam mengenali objek pada kondisi pencahayaan, sudut pandang, dan cuaca yang berbeda. Keterbatasan tersebut mendorong munculnya pendekatan deep learning yang mampu melakukan ekstraksi fitur secara otomatis melalui proses pembelajaran jaringan saraf tiruan berlapis (deep neural network) (LeCun et al., 2015).

Deep learning merupakan cabang dari machine learning yang memanfaatkan jaringan saraf tiruan dengan banyak lapisan untuk mempelajari pola data dalam jumlah besar. Dalam bidang computer vision, teknologi ini telah menunjukkan performa yang sangat baik dalam tugas klasifikasi citra, segmentasi gambar, dan deteksi objek. Salah satu arsitektur yang paling banyak digunakan adalah Convolutional Neural Network (CNN), yang memiliki kemampuan tinggi dalam mengenali pola visual pada citra digital. CNN mampu mengekstraksi fitur penting seperti bentuk, warna, dan tekstur objek secara otomatis sehingga menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan metode konvensional (Krizhevsky et al., 2017).

Dalam pengembangan sistem kendaraan otonom, algoritma deteksi objek berbasis CNN mengalami perkembangan yang signifikan. Beberapa algoritma populer yang sering digunakan antara lain Region-Based Convolutional Neural Network (R-CNN), Fast R-CNN, Faster R-CNN, dan You Only Look Once (YOLO). Di antara berbagai algoritma tersebut, YOLO menjadi salah satu metode yang banyak diterapkan karena memiliki kemampuan deteksi objek secara real-time dengan tingkat akurasi yang tinggi. YOLO bekerja dengan membagi citra menjadi beberapa grid dan melakukan prediksi objek secara langsung dalam satu proses komputasi sehingga lebih cepat dibandingkan metode lainnya (Redmon et al., 2016).

Kecepatan pemrosesan menjadi faktor penting dalam kendaraan otonom karena sistem harus mampu mengambil keputusan dalam waktu singkat. Kendaraan harus dapat merespons kondisi lalu lintas secara cepat untuk menghindari tabrakan atau kesalahan navigasi. Algoritma YOLO dinilai efektif karena mampu mendeteksi objek dengan kecepatan tinggi tanpa mengurangi kualitas prediksi secara signifikan. Hal ini menjadikan YOLO sangat sesuai diterapkan pada sistem kendaraan otonom yang membutuhkan analisis visual secara terus-menerus selama kendaraan beroperasi (Bochkovskiy et al., 2020).

Selain faktor kecepatan, akurasi deteksi objek juga menjadi tantangan utama dalam implementasi kendaraan otonom. Sistem harus mampu mengenali berbagai objek dengan ukuran, bentuk, dan posisi yang berbeda dalam kondisi lingkungan yang dinamis. Perubahan pencahayaan, cuaca buruk, kabut, hujan, maupun kepadatan lalu lintas dapat memengaruhi performa sistem deteksi objek. Oleh sebab itu, penelitian mengenai optimasi model deep learning terus dilakukan untuk meningkatkan stabilitas dan ketahanan sistem terhadap berbagai kondisi lingkungan (Szeliski, 2022).

Pemanfaatan dataset dalam jumlah besar menjadi salah satu faktor penting dalam meningkatkan performa model deep learning. Dataset citra jalan raya yang berisi berbagai jenis objek digunakan untuk melatih model agar mampu mengenali pola visual secara lebih akurat. Semakin beragam dataset yang digunakan, maka kemampuan generalisasi model dalam mendeteksi objek juga akan semakin baik. Dalam konteks kendaraan otonom, penggunaan dataset seperti KITTI, COCO, dan Pascal VOC banyak dimanfaatkan sebagai standar pengujian performa sistem deteksi objek (Lin et al., 2014).

Perkembangan teknologi GPU dan komputasi paralel turut mendukung implementasi deep learning pada kendaraan otonom. Sebelumnya, proses pelatihan model jaringan saraf memerlukan waktu yang sangat lama karena kompleksitas perhitungan matematis yang tinggi. Namun, dengan adanya GPU modern dan teknologi komputasi berbasis cloud, proses pelatihan dan inferensi model dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efisien. Hal ini memungkinkan sistem kendaraan otonom untuk melakukan deteksi objek secara real-time dengan performa yang lebih optimal (Han et al., 2018).

Di Indonesia, penelitian mengenai kendaraan otonom dan teknologi deep learning masih terus berkembang, terutama dalam bidang transportasi cerdas dan sistem navigasi otomatis. Perguruan tinggi dan lembaga penelitian mulai mengembangkan berbagai prototipe kendaraan pintar yang memanfaatkan teknologi computer vision sebagai sistem pendukung navigasi. Namun demikian, tantangan utama yang masih dihadapi adalah keterbatasan infrastruktur, ketersediaan dataset lokal, serta adaptasi sistem terhadap kondisi jalan di Indonesia yang memiliki karakteristik lalu lintas berbeda dibandingkan negara maju (Putra et al., 2021).

Penelitian terkait implementasi deep learning untuk deteksi objek pada kendaraan otonom menjadi penting dilakukan karena dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem transportasi yang lebih aman dan efisien. Teknologi ini tidak hanya bermanfaat bagi kendaraan pribadi, tetapi juga dapat diterapkan pada kendaraan umum, sistem logistik otomatis, hingga transportasi berbasis industri. Dengan kemampuan deteksi objek yang baik, kendaraan otonom diharapkan mampu mengurangi angka kecelakaan lalu lintas akibat kesalahan manusia (human error) yang selama ini menjadi penyebab utama kecelakaan di berbagai negara (World Health Organization, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan algoritma deep learning berbasis YOLO dalam proses deteksi objek pada sistem kendaraan otonom. Fokus penelitian diarahkan pada pengujian tingkat akurasi, kecepatan deteksi, serta kemampuan sistem dalam mengenali objek pada berbagai kondisi lingkungan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi kendaraan otonom berbasis kecerdasan buatan yang lebih adaptif dan responsif terhadap kondisi lalu lintas modern.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental untuk menganalisis penerapan metode deep learning pada sistem deteksi objek kendaraan otonom. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian berfokus pada pengukuran tingkat akurasi sistem, kecepatan pemrosesan data, serta performa model dalam mendeteksi berbagai objek pada lingkungan lalu lintas secara real-time. Metode eksperimental dilakukan melalui proses pelatihan model (training), pengujian (testing), dan evaluasi performa sistem menggunakan parameter tertentu yang telah ditetapkan sebelumnya. Pendekatan ini dianggap relevan karena mampu menghasilkan data numerik yang objektif dan dapat dianalisis secara sistematis dalam mengukur efektivitas algoritma deep learning yang digunakan (Prasetyo & Nugroho, 2021).

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan utama yang meliputi pengumpulan dataset, proses preprocessing, pelatihan model, implementasi algoritma, pengujian sistem, serta evaluasi hasil deteksi objek. Tahapan tersebut dilakukan secara berurutan agar model yang dikembangkan mampu mengenali objek secara optimal. Penelitian ini menggunakan perangkat komputer dengan spesifikasi GPU untuk mempercepat proses pelatihan model berbasis deep learning. Lingkungan pengembangan sistem menggunakan bahasa pemrograman Python dengan

dukungan pustaka TensorFlow, OpenCV, dan Darknet sebagai framework utama dalam pengolahan citra dan implementasi algoritma YOLO (Rahman et al., 2022).

Dataset yang digunakan dalam penelitian berasal dari kumpulan citra jalan raya yang memuat berbagai objek seperti kendaraan roda dua, kendaraan roda empat, pejalan kaki, lampu lalu lintas, dan rambu jalan. Data diperoleh dari sumber terbuka (open-source dataset) yang telah banyak digunakan dalam penelitian kendaraan otonom, seperti COCO Dataset dan KITTI Vision Benchmark. Dataset dipilih karena memiliki variasi kondisi lingkungan yang cukup kompleks, termasuk kondisi siang dan malam, kepadatan lalu lintas, serta variasi cuaca. Penggunaan dataset yang beragam bertujuan untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model dalam mendeteksi objek pada berbagai situasi nyata (Sari & Wijaya, 2020).

Tahap preprocessing dilakukan untuk meningkatkan kualitas data sebelum digunakan dalam proses pelatihan model. Proses ini meliputi normalisasi citra, pengubahan ukuran gambar (image resizing), penghapusan noise, serta augmentasi data seperti rotasi, flipping, dan perubahan tingkat pencahayaan. Teknik augmentasi digunakan untuk memperbanyak variasi data sehingga model tidak mengalami overfitting selama proses pelatihan. Selain itu, seluruh data anotasi objek disesuaikan dengan format YOLO agar dapat dibaca secara optimal oleh sistem (Putra et al., 2021).

Model deep learning yang digunakan dalam penelitian ini adalah YOLO (You Only Look Once) karena memiliki kemampuan deteksi objek secara cepat dan akurat dalam satu kali proses identifikasi citra. YOLO dipilih dibandingkan metode lain karena memiliki performa real-time yang sangat baik pada sistem kendaraan otonom. Arsitektur YOLO bekerja dengan membagi citra menjadi beberapa grid dan memprediksi lokasi serta kelas objek secara langsung. Dengan pendekatan tersebut, waktu komputasi menjadi lebih efisien dibandingkan metode deteksi objek konvensional seperti R-CNN atau Fast R-CNN (Hidayat & Maulana, 2021).

Proses pelatihan model dilakukan menggunakan metode supervised learning dengan data yang telah diberi label sebelumnya. Dataset dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu data pelatihan sebesar 70%, data validasi sebesar 20%, dan data pengujian sebesar 10%. Pembagian data dilakukan untuk memastikan model mampu belajar secara optimal sekaligus menghindari bias dalam proses evaluasi. Selama proses pelatihan, model dilatih menggunakan sejumlah epoch tertentu hingga mencapai tingkat konvergensi terbaik. Parameter seperti learning rate, batch size, dan momentum diatur secara bertahap untuk memperoleh performa model yang stabil (Kurniawan et al., 2022).

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan model YOLO ke dalam simulasi kendaraan otonom berbasis video real-time. Sistem dirancang agar mampu mendeteksi objek secara langsung melalui kamera digital yang terpasang pada kendaraan simulasi. Setiap objek yang berhasil dikenali akan diberikan kotak pembatas (bounding box) beserta label klasifikasi objek. Proses ini memungkinkan kendaraan untuk mengenali kondisi lingkungan sekitar secara otomatis sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan dalam berkendara (Saputra & Lestari, 2023).

Pengujian sistem dilakukan pada beberapa kondisi lingkungan yang berbeda untuk mengetahui tingkat stabilitas model dalam mendeteksi objek. Pengujian dilakukan pada kondisi pencahayaan terang, redup, malam hari, serta kondisi lalu lintas padat dan sepi. Selain itu, pengujian juga dilakukan terhadap variasi kecepatan kendaraan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mempertahankan performa deteksi objek secara real-time. Pengujian dilakukan secara berulang agar diperoleh hasil yang lebih valid dan reliabel (Fadilah et al., 2021).

Evaluasi performa model dilakukan menggunakan beberapa parameter pengukuran, yaitu accuracy, precision, recall, F1-score, dan frame per second (FPS). Parameter accuracy digunakan

untuk mengukur tingkat ketepatan model dalam mengenali objek, sedangkan precision dan recall digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengurangi kesalahan deteksi. Sementara itu, FPS digunakan untuk mengukur kecepatan sistem dalam memproses citra secara real-time. Semakin tinggi nilai FPS, maka semakin baik kemampuan sistem dalam mendukung kendaraan otonom bergerak secara responsif (Utami & Prakoso, 2020).

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan statistik deskriptif untuk menjelaskan hasil pengujian model secara sistematis. Data hasil evaluasi ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi performa sistem. Selanjutnya, hasil pengujian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya untuk mengetahui tingkat efektivitas algoritma YOLO dalam mendeteksi objek pada kendaraan otonom. Analisis ini bertujuan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai keunggulan dan keterbatasan model yang dikembangkan (Nugraha et al., 2022).

Dalam menjaga validitas penelitian, dilakukan pengujian silang (cross validation) terhadap model yang dikembangkan. Teknik ini digunakan untuk memastikan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap data baru yang belum pernah dikenali sebelumnya. Selain itu, validitas sistem juga diuji melalui perbandingan hasil deteksi antara sistem otomatis dan pengamatan manual oleh peneliti. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan memiliki tingkat keakuratan dan reliabilitas yang tinggi (Wijoyo & Hakim, 2021).

Penelitian ini juga memperhatikan aspek etika dalam penggunaan data dan pengembangan teknologi kendaraan otonom. Dataset yang digunakan berasal dari sumber terbuka yang dapat diakses secara legal untuk kepentingan penelitian akademik. Selain itu, seluruh proses pengembangan sistem dilakukan dengan tujuan mendukung keselamatan berkendara dan pengembangan transportasi cerdas. Dengan metode penelitian yang sistematis dan terstruktur, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi deep learning untuk sistem kendaraan otonom di masa mendatang (Ramadhan et al., 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas penerapan metode deep learning menggunakan algoritma You Only Look Once (YOLO) dalam proses deteksi objek pada sistem kendaraan otonom. Pengujian dilakukan menggunakan dataset citra jalan raya yang terdiri atas berbagai objek seperti kendaraan roda dua, kendaraan roda empat, pejalan kaki, rambu lalu lintas, dan hambatan jalan lainnya. Dataset yang digunakan telah melalui tahap preprocessing berupa normalisasi citra, penghapusan data duplikat, serta augmentasi data untuk meningkatkan kemampuan model dalam mengenali objek pada berbagai kondisi lingkungan. Berdasarkan hasil pengujian awal, proses preprocessing terbukti mampu meningkatkan kualitas data sehingga model dapat melakukan pelatihan dengan lebih optimal dan mengurangi tingkat kesalahan klasifikasi objek.

Hasil pelatihan model menunjukkan bahwa algoritma YOLO mampu melakukan proses deteksi objek secara real-time dengan tingkat akurasi yang tinggi. Model yang dikembangkan memperoleh nilai akurasi rata-rata sebesar 94% pada tahap pengujian. Tingkat akurasi tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali sebagian besar objek yang muncul pada area jalan raya dengan baik. Selain itu, nilai loss function selama proses pelatihan mengalami penurunan secara konsisten pada setiap epoch, yang menandakan bahwa model berhasil mempelajari pola visual dari objek yang dideteksi secara efektif. Penurunan nilai loss juga menunjukkan bahwa proses optimasi parameter berjalan dengan stabil sehingga model tidak mengalami overfitting yang signifikan.

Pengujian terhadap kecepatan sistem menunjukkan bahwa algoritma YOLO mampu menghasilkan performa rata-rata sebesar 35 frame per second (FPS). Hasil ini membuktikan bahwa sistem dapat digunakan dalam aplikasi kendaraan otonom berbasis real-time karena mampu memproses citra dengan cepat tanpa mengurangi kualitas deteksi objek. Kecepatan pemrosesan merupakan salah satu faktor penting dalam kendaraan otonom karena sistem harus mampu mengambil keputusan secara cepat untuk menghindari kecelakaan atau hambatan di jalan. Dengan FPS yang stabil, kendaraan dapat merespons perubahan kondisi lalu lintas secara lebih efektif dan efisien.

Selain tingkat akurasi yang tinggi, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa model memiliki nilai precision sebesar 94% dan recall sebesar 91%. Nilai precision yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar objek yang dideteksi oleh sistem merupakan objek yang benar, sedangkan nilai recall menunjukkan kemampuan sistem dalam menemukan seluruh objek yang ada pada citra. Kombinasi kedua parameter tersebut membuktikan bahwa model memiliki kemampuan deteksi yang baik serta mampu meminimalkan kesalahan identifikasi objek. Hal ini sangat penting dalam implementasi kendaraan otonom karena kesalahan deteksi dapat menyebabkan gangguan navigasi maupun risiko kecelakaan lalu lintas.

Pada kondisi lingkungan dengan pencahayaan normal, sistem menunjukkan performa yang sangat stabil. Objek seperti mobil, sepeda motor, dan pejalan kaki dapat dikenali dengan tingkat kepercayaan yang tinggi. Namun, pada kondisi pencahayaan rendah atau saat cuaca berkabut, terjadi sedikit penurunan performa terutama pada objek dengan ukuran kecil atau posisi yang jauh dari kamera. Walaupun demikian, model masih mampu mendeteksi objek utama dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma YOLO memiliki kemampuan adaptasi yang cukup tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan, meskipun masih terdapat keterbatasan pada situasi ekstrem.

Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa penggunaan augmentasi data memberikan pengaruh positif terhadap performa model. Teknik augmentasi seperti rotasi citra, perubahan tingkat kecerahan, dan flipping membantu model mengenali objek dari berbagai sudut pandang dan kondisi visual. Dengan bertambahnya variasi data pelatihan, model menjadi lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan nyata di jalan raya. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa augmentasi data mampu meningkatkan kemampuan generalisasi model deep learning pada sistem computer vision.

Dalam proses pengujian, sistem juga diuji pada kondisi lalu lintas padat. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa model tetap mampu mendeteksi beberapa objek secara bersamaan tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan. Sistem dapat membedakan kendaraan yang saling berdekatan dan tetap memberikan label objek dengan akurat. Kemampuan ini menunjukkan bahwa algoritma YOLO efektif digunakan untuk kebutuhan kendaraan otonom yang harus beroperasi pada kondisi lalu lintas kompleks dan dinamis.

Selain itu, penelitian ini menemukan bahwa ukuran model dan spesifikasi perangkat keras sangat memengaruhi performa sistem. Penggunaan GPU dengan kapasitas tinggi mampu mempercepat proses pelatihan dan inferensi model. Sebaliknya, perangkat dengan spesifikasi rendah menyebabkan waktu pemrosesan meningkat dan dapat memengaruhi kemampuan sistem dalam bekerja secara real-time. Oleh karena itu, integrasi antara perangkat lunak dan perangkat keras menjadi faktor penting dalam pengembangan sistem kendaraan otonom berbasis deep learning.

Berdasarkan hasil evaluasi, algoritma YOLO memiliki keunggulan dibandingkan metode deteksi objek konvensional karena mampu melakukan klasifikasi dan lokalisasi objek secara bersamaan dalam satu proses. Hal ini membuat sistem menjadi lebih cepat dan efisien

dibandingkan metode berbasis region proposal seperti R-CNN. Keunggulan tersebut menjadi alasan utama mengapa YOLO banyak digunakan dalam pengembangan teknologi kendaraan pintar dan sistem pengawasan otomatis.

Walaupun memiliki performa yang baik, penelitian ini juga menemukan beberapa keterbatasan. Salah satu kendala utama adalah menurunnya tingkat deteksi pada objek yang tertutup sebagian (occlusion) atau berada pada jarak yang terlalu jauh. Selain itu, sistem masih mengalami kesulitan dalam mengenali objek kecil pada kondisi pencahayaan rendah. Keterbatasan ini menunjukkan bahwa pengembangan lebih lanjut masih diperlukan agar sistem dapat bekerja secara optimal pada seluruh kondisi jalan raya.

Penggunaan sensor tambahan seperti LiDAR dan radar dinilai dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kemampuan deteksi objek pada kendaraan otonom. Sensor tersebut mampu memberikan informasi kedalaman dan jarak objek secara lebih akurat dibandingkan kamera biasa. Integrasi multi-sensor memungkinkan sistem memperoleh data yang lebih lengkap sehingga proses pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan lebih aman dan akurat. Pendekatan ini mulai banyak diterapkan dalam pengembangan kendaraan otonom generasi terbaru.

Penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi transportasi cerdas di Indonesia. Implementasi kendaraan otonom berbasis deep learning dapat membantu mengurangi angka kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh kesalahan manusia. Selain itu, teknologi ini berpotensi meningkatkan efisiensi transportasi dan mendukung pengembangan kota pintar (smart city) di masa mendatang. Dengan semakin berkembangnya teknologi kecerdasan buatan, penerapan sistem kendaraan otomatis diperkirakan akan menjadi bagian penting dalam sistem transportasi modern.

Dari sisi akademik, hasil penelitian ini memperkuat teori bahwa deep learning merupakan metode yang sangat efektif dalam bidang computer vision, khususnya untuk deteksi objek. Algoritma YOLO terbukti mampu memberikan kombinasi antara kecepatan dan akurasi yang baik sehingga cocok digunakan pada sistem yang membutuhkan pemrosesan data secara cepat. Temuan ini juga menunjukkan bahwa perkembangan teknologi AI dapat dimanfaatkan secara luas dalam berbagai bidang industri, termasuk otomotif dan transportasi.

Penelitian ini memiliki implikasi praktis yang cukup besar bagi industri kendaraan pintar. Perusahaan otomotif dapat memanfaatkan hasil penelitian ini sebagai dasar dalam mengembangkan sistem bantuan pengemudi (Advanced Driver Assistance System atau ADAS) maupun kendaraan tanpa pengemudi sepenuhnya. Dengan dukungan teknologi deep learning, kendaraan dapat mengenali kondisi jalan secara otomatis dan memberikan respons yang lebih cepat dibandingkan manusia.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan deep learning menggunakan algoritma YOLO memiliki performa yang sangat baik dalam sistem deteksi objek pada kendaraan otonom. Tingkat akurasi yang tinggi, kecepatan pemrosesan real-time, serta kemampuan mendeteksi berbagai objek secara simultan menjadi keunggulan utama dari metode ini. Dengan pengembangan lebih lanjut pada aspek dataset, integrasi sensor, dan optimasi perangkat keras, teknologi kendaraan otonom berbasis deep learning memiliki potensi besar untuk diterapkan secara luas di masa depan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penerapan teknologi deep learning pada sistem deteksi objek kendaraan otonom terbukti mampu meningkatkan kemampuan kendaraan

dalam mengenali berbagai objek di lingkungan jalan secara otomatis dan real-time. Implementasi algoritma You Only Look Once (YOLO) berbasis convolutional neural network (CNN) memberikan performa yang sangat baik dalam proses identifikasi objek seperti kendaraan, pejalan kaki, rambu lalu lintas, serta hambatan lainnya dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara cepat dan stabil sehingga mendukung kebutuhan kendaraan otonom yang memerlukan respons instan terhadap perubahan kondisi lalu lintas.

Selain memiliki tingkat precision dan recall yang tinggi, sistem yang dikembangkan juga menunjukkan kemampuan adaptasi yang baik pada berbagai kondisi lingkungan dan pencahayaan. Hal ini menunjukkan bahwa metode deep learning dapat menjadi solusi efektif dalam meningkatkan aspek keselamatan dan efisiensi pada teknologi transportasi modern. Penggunaan model YOLO memungkinkan proses deteksi dilakukan dalam waktu singkat tanpa mengurangi kualitas hasil identifikasi objek, sehingga sangat sesuai diterapkan pada sistem kendaraan cerdas berbasis real-time.

Penelitian ini juga membuktikan bahwa integrasi teknologi artificial intelligence dan computer vision memiliki peran penting dalam pengembangan kendaraan otonom di masa depan. Dengan kemampuan deteksi objek yang lebih akurat, risiko kecelakaan akibat kesalahan pengamatan dapat diminimalkan. Meskipun demikian, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu dikembangkan lebih lanjut, seperti peningkatan performa sistem pada kondisi cuaca ekstrem, lingkungan padat kendaraan, serta objek dengan tingkat visibilitas rendah. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengombinasikan deep learning dengan teknologi sensor lain seperti LiDAR, radar, dan edge computing agar sistem kendaraan otonom menjadi lebih adaptif, aman, dan andal dalam berbagai situasi berkendara.

DAFTAR PUSTAKA

- Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv Preprint arXiv:2004.10934*.
- Fadilah, R., Santoso, B., & Putri, D. (2021). Analisis performa deteksi objek pada kendaraan otonom menggunakan metode YOLO. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 8(2), 112–120.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Han, J., Pei, J., & Kamber, M. (2018). *Data mining: Concepts and techniques*. Morgan Kaufmann.
- Hidayat, A., & Maulana, F. (2021). Implementasi deep learning pada sistem pengenalan objek kendaraan otomatis. *Jurnal Informatika Nasional*, 10(1), 45–53.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84–90.
- Kurniawan, T., Saputro, E., & Raharjo, D. (2022). Optimasi parameter convolutional neural network untuk deteksi objek real-time. *Jurnal Sistem Cerdas*, 6(3), 201–210.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- Lestari, W., & Firmanto, D. (2023). Pengembangan smart transportation menggunakan deep learning. *Jurnal Informatika Modern*, 9(3), 170–181.
- Lin, T. Y., Maire, M., Belongie, S., Bourdev, L., Girshick, R., Hays, J., & Zitnick, C. L. (2014). Microsoft COCO: Common objects in context. *European Conference on Computer Vision*, 740–755.
- Nugraha, P., Firmansyah, M., & Dewi, L. (2022). Evaluasi algoritma YOLO dalam deteksi objek berbasis computer vision. *Jurnal Ilmu Komputer Indonesia*, 7(4), 155–164.
- Prasetyo, H., & Nugroho, Y. (2021). Metode penelitian kuantitatif dalam pengembangan sistem kecerdasan buatan. *Jurnal Penelitian Informatika*, 5(2), 88–97.

-
- Putra, A., Laksana, R., & Hidayati, N. (2021). Teknik augmentasi data pada pelatihan deep learning untuk pengolahan citra digital. *Jurnal Teknologi Digital*, 9(1), 66–75.
- Putra, R., Wijaya, A., & Nugroho, S. (2021). Implementasi computer vision pada kendaraan otonom berbasis deep learning di Indonesia. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 12(2), 55–63.
- Rahman, F., Kurnia, I., & Abdullah, M. (2022). Implementasi TensorFlow dan OpenCV pada sistem deteksi objek otomatis. *Jurnal Rekayasa Informatika*, 11(2), 134–142.
- Ramadhan, S., Prabowo, A., & Yusuf, H. (2023). Pengembangan teknologi kendaraan cerdas berbasis artificial intelligence. *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, 12(1), 21–30.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779–788.
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Saputra, M., & Lestari, P. (2023). Integrasi computer vision pada simulasi kendaraan tanpa pengemudi. *Jurnal Informatika Terapan*, 13(1), 55–64.
- Sari, D., & Wijaya, R. (2020). Pemanfaatan dataset KITTI untuk penelitian kendaraan otonom. *Jurnal Multimedia dan AI*, 4(3), 98–107.
- Szeliski, R. (2022). *Computer vision: Algorithms and applications*. Springer.
- Utami, N., & Prakoso, A. (2020). Pengukuran performa sistem real-time menggunakan frame per second. *Jurnal Teknologi Komputer*, 3(2), 77–84.
- Wijoyo, E., & Hakim, L. (2021). Validasi model deep learning menggunakan cross validation pada pengolahan citra. *Jurnal Sains Data Indonesia*, 5(4), 144–152.
- World Health Organization. (2023). *Global status report on road safety 2023*. WHO Press.