

Sistem Deteksi Rambu Lalu Lintas Berbasis Computer Vision Untuk Navigasi Miniatur Kendaraan Otonom

Adhitya Dwi Saputra
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
adhityadwisptr@gmail.com

Fiky Y. Suratman
Fakultas Teknik Elektro Telkom
University Bandung, Indonesia
fysuratman@telkomuniversity.ac.id

Arief Suryadi Satyawan
Fakultas Teknik Elektro Telkom
University Bandung, Indonesia
Arie021@brin.go.id

Abstrak — Teknologi kendaraan otonom menuntut sistem persepsi visual yang andal, khususnya untuk mendeteksi rambu lalu lintas secara real-time. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi rambu berbasis algoritma YOLOv8 dan diimplementasikan pada prototipe miniatur kendaraan otonom. Dataset sebanyak 1.232 gambar dikumpulkan secara mandiri dan diperluas menjadi 3.696 gambar melalui augmentasi. Model YOLOv8n dilatih selama 87 epoch menggunakan Visual Studio Code. Hasil pelatihan menunjukkan precision dan recall sebesar 91,3% serta mAP@0.5 sebesar 91,3%. Pengujian dilakukan dalam kondisi terang dan gelap, statis maupun dinamis. Hasil menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi mencapai 90% dalam kondisi terang dan menurun menjadi 48,9% dalam pencahayaan gelap. Sistem juga berhasil menjalankan aksi robotik dengan akurasi 83,3%. Hasil ini menunjukkan sistem dapat mengenali dan merespons rambu lalu lintas secara real-time secara efektif pada skala miniatur.

Kata kunci — sistem deteksi, rambu lalu lintas, yolo, computer vision, kendaraan otonom, traffic sign detection

I. PENDAHULUAN

Kendaraan otonom menjadi salah satu inovasi teknologi paling menarik di abad ke-21 terutama mobil otonom dan tengah berkembang pesat di industri otomotif. Mobil otonom adalah kendaraan yang dapat mengenali lingkungan sekitarnya dan bergerak dengan aman, baik secara mandiri maupun dengan sedikit atau tanpa interaksi dari manusia [1]. Penelitian tentang kendaraan otonom semakin intensif dengan banyak perusahaan seperti Tesla dan Waymo yang mengembangkan teknologi ini [2].

Menurut Kementerian Perhubungan Republik Indonesia pada tahun 2022, kecelakaan lalu lintas di Indonesia diakibatkan 61% faktor manusia seperti ketidakmampuan mengemudi serta karakter pengemudi yang lalai seperti melanggar rambu lalu lintas, 9% faktor kendaraan dan 30% faktor prasarana dan lingkungan [3]. Hal ini menunjukkan pentingnya sistem deteksi rambu lalu lintas yang akurat untuk meningkatkan keselamatan berkendara.

Dalam beberapa tahun terakhir, deteksi rambu lalu lintas telah menjadi topik penelitian yang signifikan di bidang computer vision, dengan tujuan meningkatkan sistem pendukung pengemudi dan keselamatan lalu lintas [4]. Salah

satu metode yang efektif adalah You Only Look Once (YOLO), algoritma deteksi objek berbasis deep learning yang terkenal karena kecepatannya dan keandalannya dalam mendeteksi serta mengenali berbagai objek dalam satu kali inferensi [5].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi rambu lalu lintas berbasis YOLOv8 untuk meningkatkan kemampuan kendaraan otonom dalam mengenali dan merespons rambu lalu lintas dengan akurat, serta mengimplementasikannya pada miniatur kendaraan otonom untuk simulasi dalam skala kecil.

II. KAJIAN TEORI

A. Deteksi Objek

Deteksi objek adalah salah satu tugas dalam bidang computer vision yang bertujuan menentukan keberadaan objek tertentu dalam sebuah citra digital. Proses ini melibatkan pembacaan fitur-fitur dari seluruh objek pada citra input yang kemudian dibandingkan dengan fitur dari model atau template yang digunakan [6].

B. Pengolahan Citra Digital

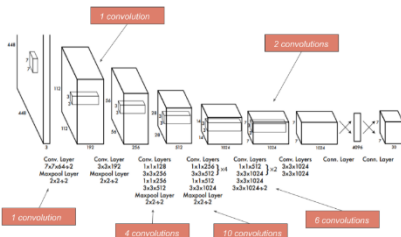
Pengolahan citra digital merupakan teknik pengolahan gambar yang berfungsi meningkatkan kualitas atau mengekstraksi informasi tertentu dari gambar untuk memudahkan tahap analisis lebih lanjut. Metode dalam pengolahan citra dapat menggunakan perhitungan matematis baik pada tingkat piksel maupun geometris [7].

C. Convolutional Neural Network (CNN)

CNN adalah metode deep learning yang paling umum digunakan untuk mengolah data gambar atau video. CNN memiliki arsitektur yang terdiri dari beberapa lapisan tersembunyi meliputi lapisan convolution, pooling, dan fully connected. Setiap lapisan memiliki peran spesifik untuk mengekstrak fitur dan mengolah data [8].

D. You Only Look Once (YOLO)

YOLO merupakan algoritma deteksi objek yang diperkenalkan oleh Joseph Redmon dan Ali Farhadi pada tahun 2015. YOLO memproses seluruh citra dalam satu lintasan maju melalui jaringan saraf konvolusional (CNN), menghasilkan prediksi untuk kotak pembatas objek dan probabilitas kelas dengan cepat [9].

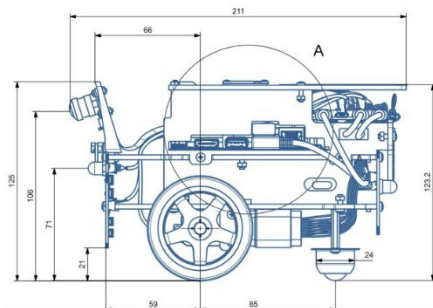


GAMBAR 1
Arsitektur YOLO

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, arsitektur YOLO terdiri dari 24 lapisan konvolusional yang berfungsi untuk mengekstrak fitur dari gambar, diikuti dengan 2 lapisan fully connected untuk prediksi. Metode YOLO membagi gambar menjadi grid sel berukuran $S \times S$, dimana setiap sel bertanggung jawab mendeteksi objek jika pusat objek tersebut berada di dalam sel tersebut.

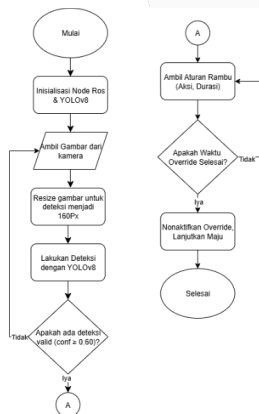
III. METODE

A. Desain Sistem



GAMBAR 2
Desain 3D Duckiebot

Sistem deteksi rambu lalu lintas dirancang menggunakan platform Duckiebot DB21J dengan Jetson Nano sebagai unit pemrosesan utama. Sistem terdiri dari komponen input (kamera IMX219-160 dan push button), proses (Jetson Nano, database, dan battery), serta output (motor DC dan LCD OLED).



GAMBAR 3
Flowchart Sistem Deteksi

Gambar 3 menunjukkan alur kerja sistem yang dimulai dengan inisialisasi node ROS dan model YOLOv8, diikuti dengan pengambilan gambar secara kontinyu, preprocessing, deteksi objek, dan eksekusi aksi sesuai jenis rambu yang terdeteksi. Sistem menggunakan mekanisme override dan cooldown untuk mencegah deteksi berulang.

B. Pengumpulan dan Persiapan Dataset



GAMBAR 4
Miniatur Rambu Lalu Lintas

Dataset terdiri dari 1.232 gambar rambu lalu lintas yang dikumpulkan secara mandiri menggunakan miniatur rambu yang dicetak dan dipasang pada tongkat kayu. Dataset mencakup 8 kelas rambu: rambu berhenti, rambu dilarang masuk, rambu dilarang belok kanan, rambu dilarang belok kiri, rambu penyebrangan, lampu lalu lintas merah, kuning, dan hijau. Pengambilan gambar dilakukan dalam berbagai sudut, jarak, dan kondisi pencahayaan.

C. Konfigurasi Training Model YOLOv8

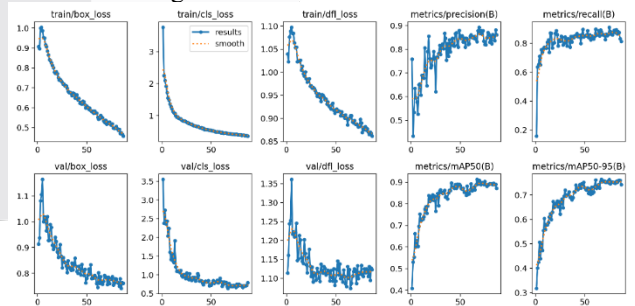
Proses pelatihan menggunakan model YOLOv8n dengan konfigurasi 100 epochs, batch size 16, ukuran gambar 640×640 piksel, optimizer SGD dengan learning rate 0.01. Data augmentation dilakukan dengan 7 teknik transformasi gambar dengan faktor perbanyakkan 3x, sehingga total dataset menjadi 3.696 gambar. Pembagian dataset sebesar 78% training, 13% validation, dan 9% testing.

D. Kalibrasi Sistem

Kalibrasi kamera dilakukan menggunakan metode checkerboard pattern untuk mendapatkan parameter intrinsik dan ekstrinsik kamera. Kalibrasi motor DC dilakukan dengan mengukur pergerakan robot pada lintasan 2 meter untuk menghitung rasio konversi antara perintah kecepatan dengan pergerakan aktual.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Training Model YOLOv8



GAMBAR 5
Evolusi Metrik Training Model YOLOv8

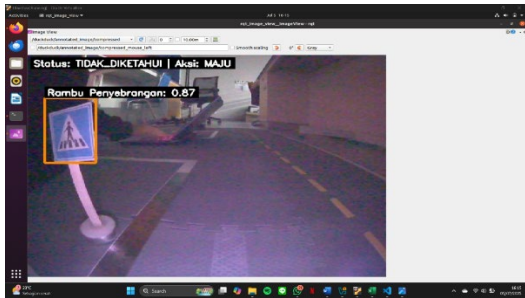
Proses training berlangsung selama 10 jam 7 menit dengan total 87 epoch. Model mencapai performa sangat baik dengan precision 0.913, recall 0.913, mAP@0.5 sebesar 0.913, mAP@0.5:0.95 sebesar 0.758, dan F1-score 0.85. Kurva F1-Confidence menunjukkan threshold optimal pada nilai confidence 0.351.

B. Analisis Deteksi dalam Kondisi Statis

TABEL 1
Hasil Pengujian Deteksi Kondisi Terang

Jenis rambu	Deteksi				
	Jarak 10cm	Jarak 15cm	Jarak 20cm	Jarak 25cm	Jarak 30cm
Rambu Berhenti	100%	100%	100%	100%	20%
Rambu Dilarang Masuk	100%	100%	100%	100%	67%
Rambu Penyebrangan	100%	100%	100%	100%	100%
Rambu Dilarang Belok Kanan	100%	100%	100%	87%	60%
Rambu Dilarang Belok Kiri	100%	100%	100%	100%	100%
Lampu Merah	100%	100%	100%	0%	0%
Lampu Kuning	100%	100%	100%	87%	0%
Lampu Hijau	100%	100%	100%	0%	0%

Pengujian deteksi statis dilakukan dalam dua skenario pencahayaan dengan variasi jarak 10-30 cm. Dalam kondisi terang, semua kelas rambu menunjukkan success rate 100% pada jarak 10-20 cm. Rambu Penyebrangan dan Rambu Dilarang Belok Kiri mempertahankan performa sempurna hingga jarak 30 cm, sedangkan lampu lalu lintas mengalami penurunan drastis pada jarak 25 cm.



GAMBAR 6

Contoh Deteksi Berhasil pada Rambu Berhenti dengan Jarak 15cm Kondisi Gelap

TABEL 2
Hasil Pengujian Deteksi Kondisi Gelap

Jenis rambu	Deteksi				
	Jarak 10cm	Jarak 15cm	Jarak 20cm	Jarak 25cm	Jarak 30cm
Rambu Berhenti	93%	100%	100%	0%	0%
Rambu Dilarang Masuk	100%	100%	87%	0%	0%
Rambu Penyebrangan	100%	100%	40%	0%	0%
Rambu Dilarang Belok Kanan	100%	80%	0%	0%	0%
Rambu Dilarang Belok Kiri	100%	100%	87%	0%	0%
Lampu Merah	93%	73%	0%	0%	0%
Lampu Kuning	100%	73%	0%	0%	0%
Lampu Hijau	0%	0%	0%	0%	0%

Dalam kondisi gelap, performa sistem menurun signifikan. Pada jarak 10 cm, mayoritas rambu masih dapat dideteksi dengan baik kecuali lampu hijau yang tidak terdeteksi sama sekali. Pada jarak 25-30 cm, semua rambu tidak dapat dideteksi dalam kondisi gelap.

C. Analisis Deteksi dalam Kondisi Robot Bergerak

TABEL 3
Analisis Deteksi dalam Kondisi Robot Bergerak

Jenis rambu	Jumlah Pengujian	Deteksi Berhasil	Tingkat Keberhasilan Deteksi	Akurasi	Avg Jarak Deteksi	Min - Max Jarak	Melebihi rambu
Rambu Berhenti	15	13	87%	0.846	14.2 cm	5-31	0
Rambu Dilarang Masuk	15	15	100%	0.913	16.1 cm	5-28	0
Rambu Penyebrangan	15	15	100%	0.899	23.5 cm	14-35	0
Rambu Dilarang Belok Kanan	15	11	73%	0.834	12.6 cm	6-29	0
Rambu Dilarang Belok Kiri	15	12	80%	0.888	13.5 cm	3-34	0
Lampu Merah	15	9	60%	0.780	7.0 cm	3-13	0
Lampu Kuning	15	12	80%	0.805	7.3 cm	1-24	0
Lampu Hijau	15	8	53%	0.760	7.1 cm	2-16	0

Pengujian dinamis menunjukkan Rambu Dilarang Masuk dan Rambu Penyebrangan mencatat detection rate 100% dalam kondisi terang dengan jarak deteksi rata-rata 16.1 cm dan 23.5 cm. Lampu lalu lintas menunjukkan performa lebih rendah dengan jarak deteksi rata-rata hanya 7.0-7.3 cm. Dalam kondisi gelap, performa menurun drastis dengan Lampu Hijau mengalami kegagalan total (0% detection rate). Lampu Kuning menunjukkan ketahanan terbaik dengan 73% detection rate, sementara jarak deteksi rata-rata turun menjadi 0.0-6.3 cm.

D. Pengujian Sistem Terintegrasi

TABEL 4
Hasil Pengujian Sistem Terintegrasi Kondisi Terang

Percobaan ke-	Total Rambu	Rambu Terdeteksi	Akurasi	Rambu yang Terdeteksi
1	6	3	50%	Berhenti, Dilarang Masuk, Belok Kiri
2	6	3	50%	Berhenti, Belok Kiri, Lampu
3	6	4	67%	Penyebrangan, Belok Kiri
4	6	3	50%	Berhenti, Penyebrangan, Belok Kanan
5	6	2	33%	Berhenti, Dilarang Masuk
6	6	2	33%	Dilarang Masuk, Belok Kiri
7	6	3	50%	Dilarang Masuk, Penyebrangan, Belok Kiri
8	6	3	50%	Berhenti, Belok Kanan, Lampu
9	6	2	33%	Berhenti, Belok Kanan
10	6	2	33%	Berhenti, Dilarang Masuk
11	6	4	67%	Berhenti, Penyebrangan, Belok Kiri, Lampu
12	6	2	33%	Penyebrangan, Lampu
13	6	3	50%	Berhenti, Penyebrangan, Belok Kanan
14	6	4	67%	Dilarang Masuk, Penyebrangan, Belok Kiri, Lampu
15	6	4	67%	Berhenti, Dilarang Masuk, Belok Kanan, Lampu
Rata-rata	6	2.9	48.9%	46 rambu tidak terdeteksi

TABEL 5
Hasil Pengujian Sistem Terintegrasi Kondisi Gelap

Percobaan ke-	Total Rambu	Rambu Terdeteksi	Akurasi	Rambu yang Terdeteksi
1	6	3	50%	Berhenti, Dilarang Masuk, Belok Kiri
2	6	3	50%	Berhenti, Belok Kiri, Lampu
3	6	4	67%	Penyebrangan, Belok Kiri
4	6	3	50%	Berhenti, Penyebrangan, Belok Kanan
5	6	2	33%	Berhenti, Dilarang Masuk
6	6	2	33%	Dilarang Masuk, Belok Kiri
7	6	3	50%	Dilarang Masuk, Penyebrangan, Belok Kiri
8	6	3	50%	Berhenti, Belok Kanan, Lampu
9	6	2	33%	Berhenti, Belok Kanan
10	6	2	33%	Berhenti, Dilarang Masuk
11	6	4	67%	Berhenti, Penyebrangan, Belok Kiri, Lampu
12	6	2	33%	Penyebrangan, Lampu
13	6	3	50%	Berhenti, Penyebrangan, Belok Kanan
14	6	4	67%	Dilarang Masuk, Penyebrangan, Belok Kiri, Lampu
15	6	4	67%	Berhenti, Dilarang Masuk, Belok Kanan, Lampu
Rata-rata	6	2.9	48.9%	46 rambu tidak terdeteksi

Pengujian sistem terintegrasi pada track dengan 6 jenis rambu menunjukkan overall detection rate 90% dalam kondisi terang dan 48.9% dalam kondisi gelap.

Sistem berhasil mengintegrasikan deteksi dengan logika pengendalian, memungkinkan robot berhenti, berbelok, atau melanjutkan pergerakan sesuai jenis rambu yang terdeteksi. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan performa sangat baik dalam kondisi pencahayaan optimal, tetapi masih menghadapi tantangan besar dalam kondisi gelap, khususnya dalam mendeteksi objek dengan fitur visual yang kompleks atau kurang kontras.

E. Analisis Biaya

Total biaya pembuatan miniatur kendaraan otonom sebesar Rp 7.854.000, terdiri dari biaya material (Rp 4.954.000), tenaga kerja (Rp 2.450.000), dan overhead (Rp 450.000), menjadikannya prototipe low-cost dengan fitur canggih.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem deteksi rambu lalu lintas berbasis YOLOv8 untuk navigasi kendaraan otonom miniatur. Model YOLOv8n mencapai mAP@0.5 sebesar 91.3% dan F1-score 0.85. Sistem menunjukkan performa stabil untuk rambu fisik hingga jarak 30 cm dalam kondisi terang, namun mengalami penurunan signifikan

dalam kondisi gelap. Pengujian terintegrasi mencapai detection rate 90% dalam kondisi terang dan 48.9% dalam kondisi gelap. Sistem berhasil mengintegrasikan deteksi dengan logika pengendalian robot untuk respons otomatis terhadap rambu yang terdeteksi. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan peningkatan sistem pencahayaan dan penggunaan perangkat keras berperforma lebih tinggi untuk meningkatkan akurasi deteksi dalam berbagai kondisi lingkungan.

REFERENSI

- [1] R. M. R. Ridwansyah and Z. Abidin, "Sistem kontrol pada self driving car (mobil tanpa kemudi) buatan perusahaan Google yang didukung oleh GPS," Aug. 2019.
- [2] E. R. S. A. Putra B, "Pengaturan kemudi kendaraan otonom four wheel steer dan four wheel drive (4WS4WD) menggunakan model predictive control," vol. 10, 2021.
- [3] Biro Komunikasi dan Informasi Publik, "Tekan angka kecelakaan lalu lintas, Kemenhub ajak masyarakat beralih ke transportasi umum dan utamakan keselamatan berkendara," 2022.
- [4] R. C., I. F. Rahmah, and R. A. Asmara, "Deteksi dan pengenalan rambu Lalu lintas di Indonesia menggunakan RGBN dan Gabor," vol. 3, 2017.
- [5] D. N. Alfarizi, R. A. Pangestu, D. Aditya, M. A. Setiawan, and P. Rosyani, "Penggunaan metode YOLO pada deteksi objek: Sebuah tinjauan literatur sistematis," Jurnal Artificial Intelligent dan Sistem Penunjang Keputusan, vol. 1, Jul. 2023.
- [6] T. A. Dompeipen and S. R. U. A. Sompie, "Penerapan computer vision untuk pendeteksian dan penghitung jumlah manusia," vol. 15, Dec. 2020.
- [7] J. Jumadi and D. Sartika, "Pengolahan citra digital untuk identifikasi objek menggunakan metode hierarchical agglomerative clustering," vol. 10, 2021.
- [8] Husnan, C. Fatichah, and R. Dikairono, "Deteksi objek menggunakan metode YOLO dan implementasinya pada robot bawah air," vol. 12, 2023.
- [9] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, Jun. 2016, pp. 779–788.