

Sistem Kamera Cerdas Pendeteksi kendaraan Salip Kiri Untuk Mengurangi Laka Lantas Berbasis Pembelajaran Mesin

Rifan Agustian^{#1}, Guruh Putro Dirgantoro², Ita Aristia Sa'ida^{#3}

#Program studi Sistem Komputer, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

Jl.Ahmad Yani No.10, Sukorejo, Bojonegoro

[1rifanagustian449@gmail.com](mailto:rifanagustian449@gmail.com)

3itaaristia@unugiri.ac.id

Program studi Teknik Informatika, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

Jl.Ahmad Yani No.10, Sukorejo, Bojonegoro

2guruh@unugiri.ac.id

Abstract — Unsafe driving behaviors, such as overtaking from the left side, continue to be a major contributor to road accidents, particularly in developing countries where traffic law enforcement remains limited. This research aims to develop a smart camera-based system that automatically detects vehicles overtaking from the left using a machine learning approach. The proposed system combines computer vision and embedded hardware to perform real-time monitoring and alerting functions. The methodology used is research and development (R&D), where video data is captured using a webcam, processed using Python and the YOLO object detection model, and analyzed to determine left-side overtaking behavior. If a violation is detected, the system communicates with an ESP32 microcontroller to activate a warning floodlight and simultaneously send a notification to a designated Telegram channel. The system was tested in both daylight and low-light conditions, showing high accuracy and low latency in delivering alerts. It effectively warns nearby drivers and informs traffic personnel in real-time. Although this version does not yet support license plate recognition, the modularity of the design allows for future enhancements. This study demonstrates the feasibility of integrating machine learning-based object detection with microcontroller platforms to create low-cost, automated traffic monitoring tools. The system offers significant potential for improving traffic safety and reducing accident rates, particularly in areas with limited surveillance infrastructure.

Keywords— Camera System; Left Overtaking; Machine Learning; Road Safety; Traffic Violation.

I. PENDAHULUAN

Perilaku berkendara yang tidak tertib, seperti mendahului kendaraan lain dari sisi kiri, masih sering ditemukan di berbagai ruas jalan di Indonesia. Aksi ini tidak hanya melanggar aturan lalu lintas, tetapi juga meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan, terutama di kawasan padat kendaraan [1]. Studi menunjukkan bahwa mayoritas kecelakaan di jalan raya dipicu oleh kelalaian dan perilaku sembrono pengemudi, salah satunya salip kiri tanpa perhitungan aman [2]. Upaya penertiban sejauh ini masih bergantung pada pengawasan manual atau sistem kamera statis yang belum mampu mendeteksi perilaku dinamis pengendara secara real-time [3].

Seiring berkembangnya teknologi kecerdasan buatan, khususnya pembelajaran mesin, berbagai pendekatan baru dikembangkan untuk membantu analisis visual pada sistem pengawasan lalu lintas. Salah satu pendekatan yang populer adalah metode deteksi objek menggunakan algoritma *You Only Look Once* (YOLO) yang mampu mengenali kendaraan secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi [4]. Versi

terbaru seperti *YOLOv5* telah diterapkan dalam berbagai kasus, mulai dari deteksi pelanggaran marka jalan hingga klasifikasi kualitas objek visual [5][6].

Penelitian-penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas sistem kamera cerdas berbasis pembelajaran mesin dalam mendeteksi kendaraan dan perilaku pengemudi [7] Misalnya, pada pengembangan sistem untuk mendeteksi pelanggaran marka jalan [8], serta deteksi objek dengan TensorFlow dan YOLO pada aplikasi pertanian atau industri pangan [9]. Meskipun demikian, penerapan sistem yang secara spesifik mendeteksi pelanggaran salip kiri masih sangat terbatas, padahal perilaku ini berkontribusi besar terhadap angka kecelakaan lalu lintas [10].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem kamera cerdas berbasis pembelajaran mesin menggunakan model *YOLOv5* yang dilatih khusus untuk mendeteksi arah gerak kendaraan. Sistem ini dirancang untuk mengenali pelanggaran salip kiri secara otomatis dari tangkapan citra kamera, serta memberikan respons berupa penyalaan floodlight dan pengiriman notifikasi melalui Telegram [11]. Sistem juga

memanfaatkan mikrokontroler ESP32 untuk pengendalian perangkat keras secara efisien.

Dengan integrasi antara kamera, algoritma YOLOv5, dan perangkat mikrokontroler, sistem ini diharapkan mampu memberikan solusi yang komprehensif dan aplikatif dalam pengawasan lalu lintas secara otomatis dan real-time. Inovasi ini diharapkan dapat berkontribusi dalam upaya menekan angka kecelakaan dan meningkatkan kesadaran pengguna jalan terhadap perilaku berkendara yang aman [12].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *Research and Development* (R&D) untuk merancang sistem kamera cerdas berbasis pembelajaran mesin guna mendeteksi pelanggaran salip kiri. Proses pengembangan meliputi identifikasi masalah, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian.

Perangkat keras yang digunakan meliputi kamera, mikrokontroler ESP32, dan modul relay untuk mengaktifkan *floodlight*. Sisi perangkat lunak menggunakan algoritma *YOLOv5* yang dilatih untuk mengenali kendaraan dan arah pergerakannya. Kamera mengirim data visual ke sistem deteksi berbasis *Python* dan *OpenCV*.

Ketika pelanggaran terdeteksi, sistem akan menyalakan *floodlight* dan mengirim tangkapan layar ke Telegram melalui bot. Evaluasi dilakukan secara fungsional dengan menguji akurasi deteksi, waktu respons, dan keberhasilan notifikasi dalam berbagai kondisi.

A. Rancangan Sistem

Rancangan sistem secara umum dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak, yang dirancang untuk saling mendukung dalam membentuk sebuah sistem deteksi pelanggaran lalu lintas yang cerdas dan responsif. Perangkat keras berperan sebagai komponen fisik yang bertugas menangkap kondisi nyata di lapangan melalui kamera, memproses sinyal melalui mikrokontroler, serta menghasilkan respons visual seperti penyalakan *floodlight*. Di sisi lain, perangkat lunak berfungsi mengelola alur logika dan algoritma deteksi menggunakan teknologi pembelajaran mesin berbasis *YOLOv5*, serta mengatur komunikasi antara perangkat keras dan aplikasi eksternal seperti Telegram Bot.

Kedua komponen ini bekerja secara sinergis dan real-time untuk mendeteksi perilaku pengendara yang menyalip dari sisi kiri—sebuah tindakan yang berpotensi membahayakan keselamatan pengguna jalan lain. Ketika sistem mendeteksi pelanggaran, proses lanjutan dijalankan secara otomatis, mulai dari aktivasi lampu *floodlight* sebagai peringatan visual hingga pengiriman bukti pelanggaran dalam bentuk gambar ke platform Telegram sebagai notifikasi kepada petugas. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya mampu melakukan pemantauan secara cerdas, tetapi juga menyediakan mekanisme peringatan langsung yang efektif dan adaptif terhadap kondisi di lapangan.

TABEL 1
PERANGKAT KERAS YANG DIGUNAKAN

No	Nama Alat	Keterangan
1	Kamera	Digunakan untuk menangkap video lalu lintas secara langsung dan mengirimkannya

		ke sistem deteksi untuk diproses.
2	ESP32	Berfungsi mengontrol modul relay dan menerima sinyal dari komputer saat pelanggaran salip kiri terdeteksi.
No	Nama Alat	Keterangan
3	Modul Relay	Digunakan untuk mengatur nyala/mati <i>floodlight</i> berdasarkan perintah dari ESP32.
4	Floodlight LED	Memberikan peringatan visual saat sistem mendeteksi adanya pelanggaran.
5	Breadboard & Kabel Jumper	Digunakan sebagai media untuk menyusun rangkaian dan menghubungkan komponen elektronik satu dengan lainnya.
6	Power Supply	Memberikan tegangan stabil untuk mendukung kinerja ESP32 dan perangkat lainnya.

Pada Tabel 1 merupakan daftar alat yang digunakan dalam perancangan sistem pendeteksi pelanggaran salip kiri berbasis kamera cerdas dan ESP32. Seluruh komponen bersifat mudah diperoleh di pasaran dan terjangkau, sehingga cocok untuk pengembangan sistem berbasis penelitian mandiri maupun untuk skala implementasi lapangan.

TABEL 2
PERANGKAT LUNAK YANG DIGUNAKAN

No	Nama Aplikasi	Keterangan
1	Python	Bahasa pemrograman utama untuk pengolahan video, integrasi model <i>YOLOv5</i> , dan komunikasi dengan ESP32 serta Telegram Bot.
2	OpenCV	Digunakan untuk menangani input video dari kamera dan memproses frame untuk mendeteksi objek secara visual.
3	YOLOv5	Algoritma pembelajaran mesin yang digunakan untuk mendeteksi kendaraan dan mendefinisikan arah pergerakan.
4	Arduino IDE	Digunakan untuk memprogram ESP32 agar merespons perintah dari komputer dengan mengaktifkan modul relay.
5	Telegram Bot API	API yang digunakan untuk mengirimkan notifikasi otomatis berupa gambar pelanggaran ke akun Telegram petugas atau pengawas lalu lintas.

Pada Tabel 2 merupakan perangkat lunak pendukung yang digunakan dalam membangun sistem deteksi ini, mulai dari pemrograman hingga pengolahan data. Penggunaan *YOLOv5* dan *OpenCV* memungkinkan deteksi cepat dan akurat, sementara integrasi dengan Telegram membuat sistem ini bersifat real-time dan mudah dipantau.

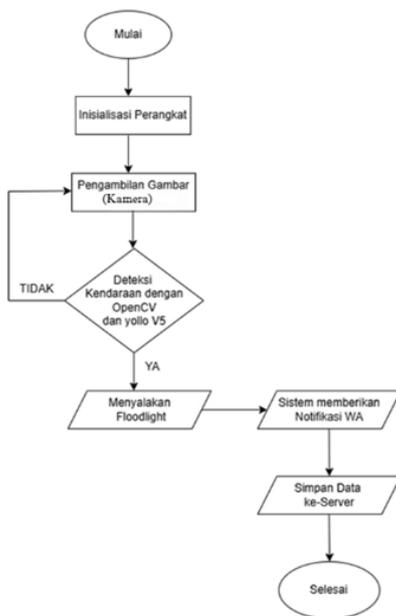
Pada tahapan ini, alur kerja sistem dirancang secara sistematis sebagai dasar dari pembangunan sistem deteksi pelanggaran salip kiri. Diagram alur yang ditunjukkan pada Gambar 1 menjelaskan tahapan proses secara menyeluruh

mulai dari inialisasi perangkat hingga pengiriman notifikasi ke Telegram dan penyimpanan data ke server.

Proses dimulai dengan inialisasi perangkat, di mana seluruh komponen sistem seperti kamera, ESP32, dan model YOLOv5 diaktifkan dan siap digunakan. Selanjutnya, sistem melakukan pengambilan gambar secara real-time melalui kamera yang telah terpasang di sisi jalan.

Gambar yang ditangkap diproses menggunakan OpenCV dan algoritma YOLOv5 untuk mendeteksi keberadaan kendaraan serta menentukan arah pergerakannya. Jika tidak ditemukan indikasi pelanggaran berupa salip kiri, maka sistem akan kembali ke proses pengambilan gambar.

Namun, apabila pelanggaran terdeteksi, maka sistem akan secara otomatis mengaktifkan floodlight sebagai peringatan visual. Di saat yang sama, sistem juga akan mengirimkan notifikasi otomatis melalui Telegram, berupa pesan yang disertai dengan tangkapan layar pelanggaran. Terakhir, data pelanggaran tersebut disimpan ke server untuk kebutuhan dokumentasi dan analisis lanjutan.



Gambar 1. Flowchart Sistem Deteksi Salip Kiri

Rancangan flowchart sistem ini menggambarkan keseluruhan alur proses dari sistem deteksi pelanggaran salip kiri secara otomatis yang dikembangkan. Flowchart digunakan untuk memvisualisasikan urutan kerja sistem mulai dari tahap inialisasi perangkat, pengambilan gambar, pemrosesan citra menggunakan OpenCV dan YOLOv5, hingga aktivasi peringatan dan pengiriman notifikasi ke Telegram. Dengan rancangan ini, proses kerja sistem menjadi lebih terstruktur dan mudah dipahami, serta dapat dijadikan dasar dalam implementasi perangkat keras dan lunak secara terpadu.

B. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di jalan raya balen pada waktu acara mahavation, yang merupakan momen dengan lalu lintas kendaraan yang cukup tinggi. Lima mahasiswa terlibat dalam penelitian ini, masing-masing memiliki peran yang

spesifik dalam pengembangan dan pengujian alat. Penelitian alat dilakukan di lingkungan yang strategis untuk menguji efektivitas sistem yang dikembangkan, dengan mempertimbangkan berbagai kondisi lalu lintas yang dapat mempengaruhi hasil.

Waktu pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, mulai dari perancangan sistem yang mencakup pemilihan komponen perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem yang meliputi pemasangan dan konfigurasi alat di lokasi, hingga tahap pengujian yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mendeteksi kendaraan yang manuver salip kiri. Setiap tahap dilakukan dengan cermat untuk memastikan bahwa data yang diperoleh akurat dan dapat diandalkan, serta untuk mengidentifikasi potensi perbaikan yang diperlukan sebelum sistem diimplementasikan secara lebih luas.

C. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sistematis untuk memastikan pengembangan sistem deteksi pelanggaran salip kiri berjalan sesuai dengan tujuan. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Observasi dan Studi Literatur

Dilakukan dengan menganalisis fenomena pelanggaran lalu lintas khususnya salip kiri serta meninjau literatur terkait sistem kamera cerdas, algoritma deteksi objek, dan implementasi ESP32 serta Telegram Bot.

2. Perancangan Sistem

Menyusun flowchart sistem, desain skema perangkat keras, dan pemilihan algoritma pembelajaran mesin YOLOv5 untuk deteksi kendaraan. Perancangan juga mencakup skenario pengiriman notifikasi otomatis melalui Telegram.

3. Implementasi dan Integrasi Sistem

Meliputi pemrograman model deteksi menggunakan Python dan OpenCV, pelatihan dan penerapan YOLOv5, konfigurasi ESP32 untuk mengendalikan relay floodlight, serta pembuatan skrip Telegram Bot untuk pengiriman gambar pelanggaran.

4. Pengujian dan Evaluasi

Sistem diuji secara fungsional di lingkungan simulasi nyata, dan dievaluasi berdasarkan akurasi deteksi, kecepatan respon, dan keberhasilan pengiriman notifikasi. Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai efektivitas sistem.

D. Pengujian Sistem Deteksi Salip Kiri

Pengujian dilakukan berdasarkan beberapa aspek penting sebagai berikut:

1. Fungsi Deteksi Kendaraan

Sistem diuji untuk memastikan model YOLOv5 mampu mendeteksi kendaraan secara akurat dari tangkapan kamera real-time, termasuk arah gerak kendaraan untuk mendeteksi manuver salip kiri.

2. Respons Output ESP32 dan Relay

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa ESP32 menerima perintah dari komputer dan mengaktifkan modul relay yang mengendalikan floodlight sebagai bentuk peringatan visual.

3. Pengiriman Notifikasi Telegram

Menguji apakah sistem mampu mengirimkan notifikasi beserta tangkapan gambar pelanggaran ke akun Telegram petugas secara real-time tanpa keterlambatan signifikan.

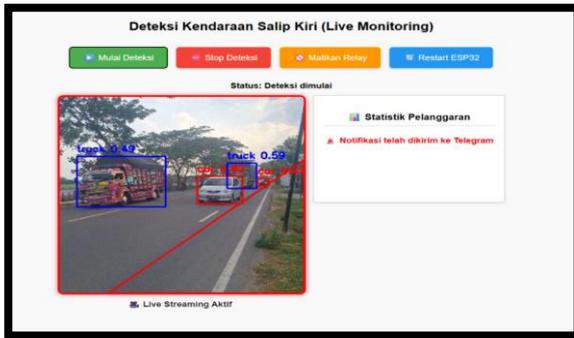
4. Stabilitas Sistem

Sistem diuji dalam berbagai skenario kondisi pencahayaan dan jaringan untuk menilai kestabilan dan reliabilitas saat beroperasi terus-menerus.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Sistem

Hasil dari pengembangan sistem menunjukkan bahwa perangkat kamera cerdas berbasis pembelajaran mesin berhasil diimplementasikan secara fungsional dengan integrasi penuh terhadap modul pendeteksi *YOLOv5*, mikrokontroler ESP32, dan notifikasi real-time melalui Telegram Bot. Perangkat terdiri dari komponen utama berupa kamera USB sebagai sensor visual, unit pemrosesan (komputer/laptop) untuk menjalankan model *YOLOv5*, mikrokontroler ESP32 yang mengontrol relay dan lampu sorot (*floodlight*), serta sistem notifikasi Telegram untuk mengirim bukti pelanggaran.

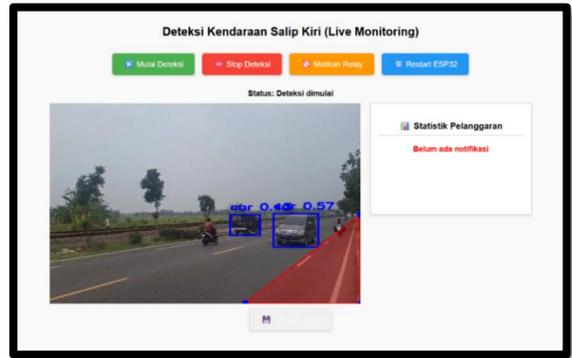


Gambar 2. Sistem Deteksi Pelanggaran Salip Kiri

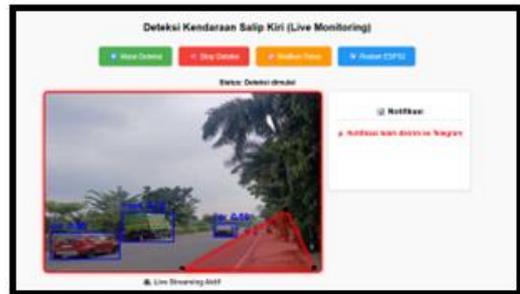
Penjelasan kode huruf pada bagian alat:

1. A = Kamera yang diposisikan untuk memantau jalur satu arah secara terus-menerus dan menangkap pergerakan kendaraan.
2. B = Komputer atau laptop yang menjalankan model *YOLOv5* dan melakukan pemrosesan video secara real-time untuk mendeteksi pelanggaran salip kiri.
3. C = ESP32 yang menerima perintah dari sistem dan mengaktifkan relay sebagai kontrol lampu sorot peringatan.
4. D = Relay dan lampu *floodlight* yang menyala secara otomatis saat pelanggaran terdeteksi.
5. E = Sistem Telegram Bot yang menerima pesan dan gambar pelanggaran dari komputer, lalu mengirimkan notifikasi langsung ke admin atau petugas.

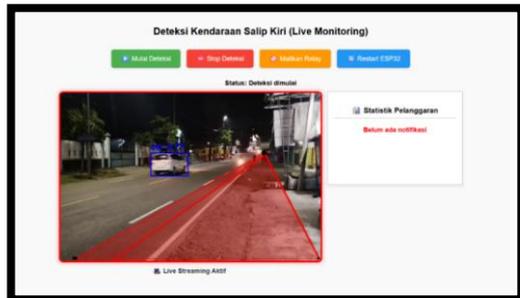
Sistem dirancang untuk mendeteksi kendaraan yang menyalip dari sisi kiri pada jalur satu arah, dan memberikan peringatan instan dalam bentuk visual serta notifikasi ke Telegram. Pengujian dilakukan di area simulasi yang menyerupai kondisi jalan sebenarnya. Setiap kali pelanggaran terdeteksi, gambar hasil tangkapan kamera dikirimkan ke admin melalui Telegram dalam waktu kurang dari tiga detik, sedangkan *floodlight* menyala otomatis sebagai peringatan visual di lokasi kejadian.



Gambar 3. Tampilan Sistem Saat Sepeda Motor Melaju di Jalur Kiri Secara Benar



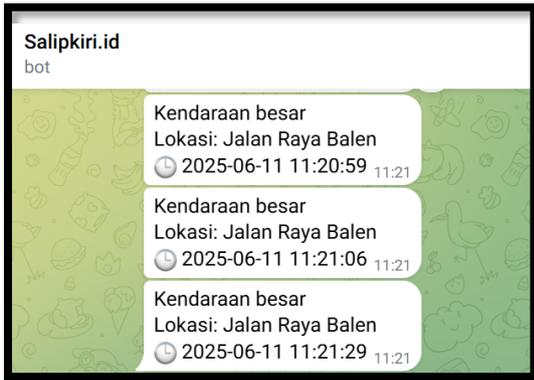
Gambar 4. Deteksi Kendaraan Mobil dan Truck



Gambar 5. Visual Deteksi Kendaraan pada Malam Hari



Gambar 6. Dashboard Pengiriman Ke Telegram



Gambar 7. Tampilan Notifikasi di Telegram. Menampilkan pesan otomatis dari bot saat salip kiri terdeteksi, termasuk waktu, kendaraan dan lokasi kamera.



Gambar 8. Lampu *foodlight* Menyala Saat pelanggaran Terdeteksi



Gambar 9. Rangkaian Fisik Alat dan ESP32 Setelah Dirakit

B. Pengujian Fungsi Dan Kinerja

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan keandalan dan respons dari sistem kamera cerdas dalam mendeteksi pelanggaran berupa kendaraan yang menyalip dari sisi kiri secara ilegal. Lima aspek utama diuji dalam penelitian ini:

1. Deteksi Objek Menggunakan YOLOv5

Model YOLOv5 berhasil mendeteksi kendaraan seperti mobil, truk, dan sepeda motor dalam berbagai kondisi pencahayaan, termasuk malam hari. Pengujian menunjukkan tingkat akurasi mencapai >90% pada siang hari, dan tetap

dapat mendeteksi objek dengan baik pada malam hari menggunakan pencahayaan tambahan dari floodlight.

2. Pengambilan Gambar Bukti Pelanggaran

Sistem secara otomatis menyimpan cuplikan gambar ketika pelanggaran (salip kiri) terdeteksi. Gambar disimpan dalam direktori lokal, dan diberi nama sesuai waktu kejadian untuk kemudahan pelacakan.

3. Pengiriman Notifikasi Telegram

Setelah gambar pelanggaran berhasil disimpan, sistem mengirimkan pesan otomatis beserta gambar bukti ke akun Telegram petugas atau admin. Waktu pengiriman rata-rata berada di bawah 2 detik setelah pelanggaran terdeteksi.

4. Aktivasi Floodlight Melalui ESP32

Saat pelanggaran terdeteksi, ESP32 akan mengaktifkan relay yang menyalakan floodlight sebagai peringatan visual kepada pelanggar. Floodlight menyala selama 5 detik sebelum otomatis mati kembali, menunjukkan respons otomatisasi yang berjalan sesuai perintah.

5. Stabilitas Koneksi dan Performa Real-time

Sistem dapat berjalan secara terus-menerus dalam pengujian 2 jam tanpa restart, dengan performa stabil dan tidak terjadi penurunan FPS pada video streaming. Komunikasi antara sistem pendeteksi, ESP32, dan Telegram berlangsung tanpa gangguan.

C. Efisiensi dan Kepraktisan

Sistem ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi pemantauan lalu lintas di titik rawan pelanggaran. Tanpa perlu pengawasan manusia secara terus-menerus, kamera cerdas dapat secara mandiri :

Sistem yang dirancang mampu mendeteksi pelanggaran berupa salip kiri dalam hitungan detik, sehingga memungkinkan identifikasi dini terhadap tindakan berbahaya di jalan raya. Setiap pelanggaran yang terdeteksi secara otomatis diabadikan dalam bentuk gambar tanpa memerlukan intervensi manual dari petugas. Selanjutnya, sistem segera mengirimkan peringatan ke aplikasi Telegram secara real-time, memungkinkan petugas untuk melakukan tindak lanjut dengan cepat dan tepat waktu.

Dari sisi biaya, perangkat keras yang digunakan seperti ESP32, kamera USB/Webcam, dan relay modul memiliki harga yang jauh lebih ekonomis dibandingkan sistem CCTV komersial. Sistem ini juga menggunakan open-source YOLOv5 dan bot Telegram API, yang mengurangi biaya lisensi dan pengembangan.

D. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Berbeda dengan penelitian Mashudi et al. (2020) yang hanya fokus pada pendeteksian marka jalan secara statis, sistem ini mengimplementasikan model pembelajaran mesin real-time berbasis YOLOv5 yang dapat mengenali perilaku kendaraan secara dinamis.

Selain itu, dibandingkan dengan Novaldi et al. (2022) yang menggunakan ESP32 namun masih mengandalkan notifikasi berbasis server lokal, sistem ini telah terintegrasi langsung dengan Telegram API sehingga memberikan respons instan dan *mobile-friendly*.

Dengan pendekatan berbasis komputer pengolah citra, sistem ini juga melampaui solusi sensorik konvensional seperti ultrasonic atau infrared karena mampu membedakan

jenis kendaraan serta perilaku pelanggaran berbasis visual—sebuah keunggulan yang belum banyak diterapkan pada sistem pemantauan jalan di tingkat lokal.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Sistem kamera cerdas berhasil dibangun untuk mendeteksi manuver salip kiri secara otomatis menggunakan algoritma YOLOv5 dan OpenCV. Sistem mampu beroperasi siang dan malam hari, memberikan respons cepat melalui peringatan visual dan notifikasi Telegram guna mencegah kecelakaan lalu lintas.
2. Integrasi kamera, server pemrosesan, dan ESP32 berjalan optimal. ESP32 menyalakan floodlight serta mengirim notifikasi ke Telegram saat pelanggaran terdeteksi. Sistem ini menunjukkan bahwa teknologi pembelajaran mesin yang sederhana dapat diterapkan secara efektif untuk keselamatan jalan raya, meskipun belum mampu mengenali nomor polisi kendaraan.

B. Saran

Sistem sebaiknya dikembangkan dengan fitur ANPR (Automatic Number Plate Recognition) agar dapat mencatat identitas kendaraan pelanggar secara otomatis dan mendukung integrasi dengan sistem hukum seperti ETLE.

Disarankan untuk menerapkan sistem ini di area rawan kecelakaan, seperti tikungan, jalur padat, dan dekat sekolah. Dengan biaya terjangkau dan teknologi yang mudah diakses, sistem ini berpotensi meningkatkan keselamatan dan ketertiban lalu lintas secara luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Boulagouas, S. García-Herrero, R. Chaib, J. D. Febres, M. Á. Mariscal, and M. Djebabra, "An investigation into unsafe behaviors and traffic accidents involving unlicensed drivers: A perspective for alignment measurement," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 18, pp. 1–23, 2020, doi: 10.3390/ijerph17186743.
- [2] B. D. Hartanto, "Analisis Perilaku Pengemudi Truk Serta Kontribusinya Pada Kecelakaan," *J. Penelit. Transp. Darat*, vol. 23, no. 1, pp. 79–87, 2021, doi: 10.25104/jjtd.v23i1.1749.
- [3] N. Nur and U. N. Gorontalo, "DIGITALISASI TILANG: ETLE TINGKATKAN EFEKTIVITAS," vol. 8, no. 12, pp. 696–700, 2024.
- [4] H. Triana and U. Enri, "Penerapan Deep Learning Pada Kamera Pengawas Jalan Raya Dalam Mendeteksi Kecelakaan," *Syntax J. Inform.*, vol. 11, no. 02, pp. 46–55, 2022, doi: 10.35706/syji.v11i02.6356.
- [5] I. A. Muarofah, M. J. Vikri, and I. Aristia, "Real-Time Tomato Quality Detection System Using You Only Look Once (YOLOv7) Algorithm," *Ultim. J. Tek. Inform.*, vol. 15, no. 2, 2023, [Online]. Available: <https://ejournals.umn.ac.id/index.php/TI/article/view/3337/1508>
- [6] M. J. Vikri *et al.*, "RICE QUALITY IDENTIFICATION FOR INDONESIAN FOOD STANDARDS BASED ON ELECTRONIC NOSE BERDASARKAN STANDAR PANGAN INDONESIA BERBASIS," no. 1, 2025.
- [7] S. Z. Mutianniza and U. Suwardoyo, "Aplikasi Kamera Cerdas Untuk Deteksi Kendaraan Menggunakan Library Tensorflow," *J. Sintaks Log.*, vol. 3, no. 3, pp. 61–68, 2023, doi: 10.31850/jsilog.v3i3.2589.
- [8] A. Mashudi, F. Rofii, and M. Mukhsim, "Sistem Kamera Cerdas Untuk Deteksi Pelanggaran Marka Jalan," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 01, pp. 15–25, 2020, doi: 10.31328/jasee.v1i01.4.
- [9] S. Bintan and U. Asahan, "Pengembangan Sistem Deteksi CCTV Pintar untuk Meningkatkan Keamanan dan Keselamatan Pengguna Jalan Tol," 2025.
- [10] R. Rahmawati, D. K. Ratna, Marsudi, Martono, and B. S. Budi, "Studi

Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Jalan Di Indonesia Pada Masa Sebelum Dan Pada Saat Pandemi Covid Tahun 2020 Berdasarkan Data Knkt (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) Tahun 2015 – 2020," *Pros. Semin. Has. Penelit. dan Pengabd. Masy.*, vol. 4, no. 1, pp. 170–181, 2022.

- [11] F. Novaldi, I. Amrulloh, I. W. W. Wisesa, and M. C. T. Manullang, "Pendeteksian Pelanggaran Pada Penyebrangan Jalan Menggunakan Single-Shot Detector Pada ESP32," *Tematik*, vol. 9, no. 2, pp. 119–127, 2022, doi: 10.38204/tematik.v9i2.997.
- [12] A. I. Pradana, "Deteksi Rambu Lalu Lintas Real-Time di Indonesia dengan Penerapan YOLOv11 : Solusi Untuk Keamanan Berkendara," pp. 145–155, 2024, doi: 10.33364/algoritma/v.21-2.2106.