



Deteksi Pelanggaran Durasi Berhenti Kendaraan pada Area Yellow Box Junction Menggunakan Algoritma YOLOv8

Abdul Kholik^{1,*}, Muhammad Dzulfikar Fauzi²

¹ Fakultas Ilmu Komputer dan Sains, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Indo Global Mandiri, Palembang, Indonesia

² Fakultas Informatika, Program Studi Informatika, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: ^{1,*}abdulkholik@uigm.ac.id, ²dzulfikar@telkomuniversity.ac.id

Email Penulis Korespondensi: abdulkholik@uigm.ac.id

Abstrak—Kemacetan di persimpangan perkotaan Indonesia, khususnya di Kota Palembang, diperparah oleh pelanggaran aturan Yellow Box Junction (YBJ) yang sering diabaikan oleh pengemudi. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi otomatis pelanggaran durasi berhenti kendaraan di area YBJ menggunakan algoritma YOLOv8 berbasis deep learning dengan memanfaatkan model yolov8n.pt dan optimasi skip frame setiap 3 frame untuk efisiensi komputasi. Sistem ini dirancang untuk mengidentifikasi kendaraan yang berhenti di dalam Region of Interest (ROI) selama lebih dari 5 detik, dengan hasil pengujian pada Simpang Angkatan 45 menunjukkan deteksi 168 pelanggaran dibandingkan 149 pelanggaran pada perhitungan manual. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengembangan solusi penegakan hukum lalu lintas otomatis yang adaptif terhadap kondisi lalu lintas heterogen di Indonesia, serta penerapan teknik optimasi komputasi yang memungkinkan sistem beroperasi secara near real-time pada perangkat dengan spesifikasi menengah tanpa mengorbankan akurasi deteksi secara signifikan. Selisih deteksi sebesar 12,75% yang ditemukan dianalisis sebagai akibat dari fenomena ID switching dan oklusi, memberikan landasan bagi pengembangan sistem pengawasan cerdas yang lebih akuntabel dan skalabel di masa depan.

Kata Kunci: Yellow Box Junction; YOLOv8; Deteksi Pelanggaran; Visi Komputer; Pemantauan Lalu Lintas

Abstract—Traffic congestion at urban intersections in Indonesia, particularly in Palembang, is exacerbated by the frequent violation of Yellow Box Junction (YBJ) regulations. This study develops an automated detection system for vehicle stopping duration violations in YBJ areas using the YOLOv8 deep learning algorithm, specifically the yolov8n.pt model, optimized with a 3-frame skip technique to enhance computational efficiency. The system is designed to identify vehicles remaining within a predefined Region of Interest (ROI) for more than 5 seconds. Testing conducted at Simpang Angkatan 45 recorded 168 violations compared to 149 violations from manual observation. The primary contribution of this research lies in the development of an automated traffic law enforcement solution tailored to Indonesia's heterogeneous traffic conditions, as well as the implementation of computational optimization techniques that enable near real-time operation on mid-range hardware without significantly compromising detection accuracy. Although a 12.75% detection variance occurred due to ID switching and occlusion factors, this study provides a foundation for more accountable and scalable intelligent surveillance systems in the future.

Keywords: Yellow Box Junction; YOLOv8; Violation Detection; Computer Vision; Traffic Monitoring

1. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu permasalahan perkotaan paling kompleks yang dihadapi oleh kota-kota besar di Indonesia, termasuk Kota Palembang sebagai ibu kota Provinsi Sumatera Selatan[1]. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor yang tidak sebanding dengan kapasitas infrastruktur jalan menjadikan persimpangan-persimpangan utama di Palembang sebagai titik-titik kemacetan yang kritis. Salah satu penyebab utama kemacetan di persimpangan adalah perilaku pengemudi yang tidak mematuhi aturan lalu lintas, khususnya pelanggaran di area *Yellow Box Junction* (YBJ). *Yellow Box Junction* (YBJ) sudah diterapkan sejak tahun 2010 di Indonesia[2]. Area YBJ, yang ditandai dengan kotak berwarna kuning di permukaan jalan pada persimpangan berlampu lalu lintas, berfungsi sebagai zona larangan berhenti bagi kendaraan. Ketika kendaraan berhenti atau terjebak di dalam area kuning tersebut saat lampu merah menyala di jalurnya, pergerakan kendaraan dari arah lain yang seharusnya bisa melintas menjadi terhalang, sehingga menimbulkan penumpukan antrian yang memperparah kemacetan.

Simpang Angkatan 45 di Kota Palembang merupakan salah satu persimpangan dengan volume lalu lintas yang tinggi, menjadikannya rentan terhadap pelanggaran YBJ yang berdampak signifikan terhadap kelancaran arus lalu lintas. Penegakan aturan YBJ secara konvensional memerlukan kehadiran petugas lalu lintas secara fisik, yang memiliki keterbatasan dalam hal jangkauan pengawasan, konsistensi, dan efisiensi sumber daya manusia. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem cerdas yang mampu memantau dan mendeteksi pelanggaran YBJ secara otomatis, real-time, dan akurat tanpa bergantung sepenuhnya pada pengawasan manusia.

Perkembangan teknologi *computer vision* dan *deep learning* dalam beberapa tahun terakhir telah membuka peluang baru dalam sistem pengawasan dan penegakan hukum lalu lintas otomatis. Algoritma deteksi objek berbasis *deep learning*, seperti *You Only Look Once* (YOLO) dalam berbagai generasinya, telah terbukti mampu mendeteksi dan melacak objek secara akurat dalam kondisi lalu lintas nyata yang dinamis dan kompleks. Generasi terbaru, yakni *YOLOv8* yang dikembangkan oleh Ultralytics, menghadirkan peningkatan signifikan dalam hal akurasi, kecepatan inferensi, dan fleksibilitas arsitektur dibandingkan versi-versi sebelumnya.

Beberapa penelitian terkini telah mengeksplorasi penggunaan algoritma YOLO dan turunannya untuk keperluan pemantauan lalu lintas. Adnan mengusulkan sistem deteksi kendaraan berbasis *YOLOv5* untuk pemantauan pelanggaran lampu merah pada persimpangan di perkotaan. Penelitian mereka menunjukkan akurasi deteksi kendaraan mencapai 91,4%, namun sistem tersebut belum mampu menangani skenario oklusi berat dan memiliki keterbatasan dalam pelacakan



identitas kendaraan lintas frame[3]. Zhao mengembangkan sistem pemantauan lalu lintas berbasis *YOLOv7* yang dipadukan dengan algoritma *DeepSORT* untuk pelacakan kendaraan multi-objek. Sistem ini berhasil mencapai nilai *mean Average Precision* (mAP) sebesar 87,3%, tetapi penelitian ini belum secara spesifik menyorot area YBJ sebagai konteks pendeteksian pelanggaran[4].

Prasetyo melakukan penelitian deteksi pelanggaran parkir liar menggunakan algoritma *YOLOv4* berbasis analisis durasi berhenti kendaraan. Pendekatan yang digunakan adalah pemantauan kendaraan dalam *Region of Interest* yang telah didefinisikan sebelumnya, dengan ambang batas waktu berhenti tertentu sebagai indikator pelanggaran[5]. Meskipun demikian, penelitian tersebut menggunakan kamera statis dengan sudut pandang terbatas dan dilakukan dalam kondisi pencahayaan yang terkontrol, sehingga belum merepresentasikan kondisi lalu lintas nyata di persimpangan padat. Khalil mengembangkan sistem deteksi kendaraan yang berhenti sembarangan di persimpangan menggunakan kombinasi *YOLOv8* dan teknik *optical flow*[6]. Penelitian ini menghasilkan akurasi deteksi yang tinggi, namun memerlukan sumber daya komputasi yang besar sehingga kurang efisien untuk implementasi pada *edge device*. Sementara itu, Huang menggunakan arsitektur *Transformer-based* untuk deteksi dan klasifikasi pelanggaran lalu lintas, namun kompleksitas model yang tinggi mengakibatkan latensi inferensi yang tidak optimal untuk aplikasi *real-time* di persimpangan sibuk[7].

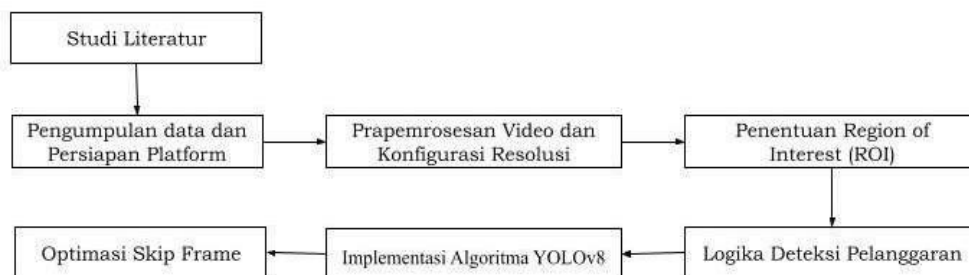
Penelitian lainnya dilakukan oleh Rahman yang mengintegrasikan *YOLOv8* dengan sistem pelacakan berbasis *ByteTrack* untuk memantau pelanggaran kecepatan kendaraan di jalan tol. Sistem tersebut mampu mempertahankan identitas kendaraan secara konsisten meskipun terjadi oklusi parsial[8]. Namun, penelitian ini berfokus pada pelanggaran kecepatan, bukan pelanggaran berhenti di area terlarang seperti YBJ. Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut, terdapat celah riset (*gap analysis*) yang signifikan: belum ada penelitian yang secara spesifik mengimplementasikan *YOLOv8* untuk deteksi pelanggaran durasi berhenti kendaraan di area *Yellow Box Junction* dalam konteks persimpangan perkotaan Indonesia dengan kondisi lalu lintas yang padat dan heterogen, serta dengan optimasi komputasi berupa *skip frame* untuk memungkinkan pemrosesan *near real-time*.

Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan mengusulkan sebuah sistem deteksi pelanggaran YBJ yang memanfaatkan kemampuan deteksi dan pelacakan objek *YOLOv8* model *nano* (*yolov8n.pt*). Sistem yang dikembangkan mendefinisikan koordinat *Region of Interest* secara spesifik sesuai batas-batas fisik YBJ di Simpang Angkatan 45, Palembang. Logika deteksi didasarkan pada identifikasi kendaraan dengan ID yang sama yang terdeteksi berada di dalam ROI selama lebih dari 5 detik sebagai pelanggar. Adapun optimasi *skip frame* setiap 3 frame diterapkan untuk menyeimbangkan akurasi deteksi dengan efisiensi komputasi. Tujuan utama penelitian ini adalah membuktikan efektivitas algoritma *YOLOv8* sebagai tulang punggung sistem deteksi pelanggaran YBJ yang otomatis, andal, dan efisien sebagai alternatif penegakan hukum lalu lintas berbasis teknologi di persimpangan-persimpangan kota Palembang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengikuti alur kerja yang terstruktur dan terintegrasi. Hal ini penting untuk memastikan setiap fase, dari konseptualisasi hingga optimasi sistem, berjalan sesuai rencana. Secara garis besar, tahapan penelitian ini dimulai dari pemahaman teori dasar dan pengumpulan data, dilanjutkan dengan perancangan dan implementasi algoritma *YOLOv8*, dan diakhiri dengan evaluasi serta optimasi logika deteksi.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Gambar 1 memperlihatkan bagaimana Studi Literatur memberikan landasan teknis untuk fase Pengumpulan data dan Persiapan platform. Tahapan pra pemrosesan video serta konfigurasi resolusi dilakukan agar tidak membebani komputasi. Proses kemudian berlanjut ke Penentuan *Region of Interest* (ROI) yang krusial untuk memfokuskan deteksi, diikuti dengan penerapan Logika Deteksi Pelanggaran. Selanjutnya, data yang telah siap digunakan dalam Implementasi Algoritma *YOLOv8* untuk mendeteksi objek. Terakhir, dilakukan Optimasi *Skip Frame* untuk meningkatkan efisiensi proses deteksi secara keseluruhan.

2.2 Pengumpulan Data dan Persiapan Platform

Data video didapatkan dari cctv Simpang Angkatan 45, Palembang, Indonesia, yang merupakan salah satu persimpangan utama dengan tingkat kemacetan tinggi di kota tersebut. Kamera cctv berada pada ketinggian dan sudut yang memungkinkan visibilitas penuh terhadap seluruh area YBJ yang ditandai dengan marka kuning di permukaan jalan.



Spesifikasi video yang direkam adalah resolusi 1920×1080 piksel dengan kecepatan $30 \text{ frame per second}$ (fps). Total durasi video yang digunakan sebagai data pengujian adalah 32 menit 41 detik dalam rentang waktu jam sibuk, untuk memperoleh sampel pelanggaran yang representatif. Gambar 2 merupakan salah satu tangkapan layar dari video cctv yang didapatkan.



Gambar 2. Tangkapan Layar Video CCTV

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan lingkungan komputasi *Google Colaboratory* yang menyediakan akses GPU NVIDIA Tesla T4 secara gratis. Pemilihan platform ini didasarkan pada kebutuhan komputasi yang tinggi untuk menjalankan inferensi model *deep learning* secara efisien. Seluruh data video masukan dan keluaran disimpan di layanan *Google Drive* yang terhubung ke lingkungan Colab melalui mekanisme *mount*, sehingga memungkinkan akses data persisten lintas sesi tanpa perlu mengunggah ulang. Pemasangan pustaka utama dilakukan melalui perintah instalasi *pip*, dengan dependensi inti yang digunakan adalah Ultralytics YOLOv8 dan OpenCV (*cv2*). Versi Python yang digunakan adalah 3.10, dan seluruh proses inferensi dialokasikan ke perangkat GPU melalui parameter `device=0`.

2.3. Pra Pemrosesan Video dan Konfigurasi Resolusi

Sebelum proses inferensi dilakukan, setiap *frame* video masukan diresampling ke resolusi target 1280×720 piksel menggunakan fungsi `cv2.resize()`. Penskalaan resolusi ini memiliki dua tujuan utama. Pertama, mengurangi beban komputasi per *frame* dibandingkan memproses pada resolusi asli yang lebih besar. Kedua, menstandarkan dimensi masukan agar konsisten dengan konfigurasi ROI yang telah ditentukan. Faktor skala horizontal dan vertikal dihitung secara dinamis berdasarkan perbandingan antara resolusi target dengan resolusi asli video:

$$\text{scale}_x = \frac{\text{target_width}}{\text{orig_w}} \rightarrow \frac{1280}{\text{lebar_asli}} ; \text{scale}_y = \frac{\text{target_height}}{\text{orig_h}} \rightarrow \frac{720}{\text{tinggi_asli}}$$

Nilai fps (*frames per second*) video asli dibaca menggunakan properti `cv2.CAP_PROP_FPS` dan digunakan sebagai dasar konversi durasi dari satuan frame ke satuan detik pada tahap logika deteksi pelanggaran. Video keluaran ditulis menggunakan codec `mp4v` melalui objek `cv2.VideoWriter` dengan dimensi dan fps yang sama dengan resolusi target.

2.4 Penentuan *Region of Interest* (ROI)

Penentuan *Region of Interest* merupakan langkah krusial yang menentukan batas-batas area YBJ dalam sistem koordinat piksel pada frame video. ROI didefinisikan sebagai poligon yang koordinatnya diekstraksi secara manual dengan mengacu pada batas-batas marka kuning YBJ yang tampak pada frame video. Koordinat ROI yang digunakan dalam penelitian ini adalah: $(x_1, y_1) = (420, 380)$, $(x_2, y_2) = (980, 380)$, $(x_3, y_3) = (1050, 680)$, dan $(x_4, y_4) = (350, 680)$, membentuk trapesium (garis warna biru) yang merepresentasikan perspektif kamera terhadap area kotak kuning di permukaan jalan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Poligon ROI



Untuk mendeteksi apakah suatu kendaraan berada di dalam ROI, digunakan metode pengecekan irisan antara *bounding box* hasil deteksi kendaraan dengan poligon ROI. Kendaraan dinyatakan berada di dalam ROI apabila titik tengah bawah (*bottom-center point*) dari *bounding box* kendaraan tersebut berada di dalam batas poligon ROI. Pendekatan ini dipilih karena titik tengah bawah lebih merepresentasikan posisi aktual kendaraan di permukaan jalan dibandingkan keseluruhan area *bounding box* yang mencakup volume vertikal kendaraan[9].

2.5 Implementasi Algoritma YOLOv8

Algoritma inti yang digunakan dalam penelitian ini adalah *YOLOv8* dari Ultralytics dengan model *yolov8n.pt* (varian *nano*). Pemilihan varian *nano* didasarkan pada pertimbangan efisiensi komputasi: model ini memiliki jumlah parameter yang lebih kecil dibandingkan varian lainnya (*small, medium, large, extra-large*), sehingga mampu memproses video dengan kecepatan tinggi tanpa mengorbankan akurasi secara signifikan pada tugas deteksi kendaraan. *YOLOv8* diimplementasikan dalam bahasa pemrograman Python menggunakan pustaka *Ultralytics* versi terbaru. Fungsi *track()* dari Ultralytics digunakan untuk mengaktifkan mode pelacakan multi-objek secara simultan, yang memungkinkan setiap kendaraan memperoleh ID unik yang persisten lintas frame selama kendaraan tersebut terdeteksi dalam area kamera[10].

2.6 Logika Deteksi Pelanggaran

Logika deteksi pelanggaran dibangun di atas mekanisme pelacakan berbasis ID kendaraan. Setiap kendaraan yang terdeteksi oleh *YOLOv8* dalam mode *tracking* akan mendapatkan ID numerik yang unik dan konsisten selama kendaraan tersebut berada dalam jangkauan kamera. Sistem memelihara sebuah struktur data kamus (*dictionary*) yang mencatat *timestamp* pertama kali setiap kendaraan (berdasarkan ID-nya) terdeteksi masuk ke dalam ROI. Pada setiap frame berikutnya, sistem memeriksa apakah kendaraan dengan ID yang sama masih berada di dalam ROI dan menghitung selisih waktu antara *timestamp* saat ini dengan *timestamp* entri pertama.

Apabila selisih waktu tersebut melebihi ambang batas 5 detik, kendaraan tersebut diklasifikasikan sebagai pelanggar YBJ dan ID-nya dicatat ke dalam daftar pelanggaran. Penghitungan pelanggaran dilakukan sekali per ID kendaraan untuk menghindari penghitungan ganda pada frame-frame berikutnya. Ketika kendaraan meninggalkan ROI (tidak terdeteksi dalam ROI pada frame berikutnya), entri kendaraan tersebut dihapus dari kamus pemantauan. Proses ini dapat dirumuskan sebagai berikut: kendaraan dengan ID ke-*i* diklasifikasikan sebagai pelanggar jika $(t_{current} - t_{entry(i)}) > 5$ detik, di mana $t_{entry(i)}$ adalah waktu pertama kendaraan ke-*i* terdeteksi masuk ke dalam ROI.

2.7 Optimasi Skip Frame

Untuk meningkatkan efisiensi komputasi tanpa mengorbankan akurasi deteksi secara signifikan, sistem menerapkan teknik *skip frame*. Dengan pendekatan ini, inferensi *YOLOv8* tidak dilakukan pada setiap frame video, melainkan hanya pada setiap 3 frame sekali (yaitu frame ke-0, ke-3, ke-6, dan seterusnya). Frame-frame yang dilewati dianggap memiliki posisi kendaraan yang sama dengan frame sebelumnya yang diproses. Justifikasi teknis dari pendekatan ini adalah bahwa pada kecepatan rekaman 30 fps, interval 3 frame setara dengan 100 milidetik, yang terlalu singkat bagi kendaraan untuk berpindah secara signifikan dari satu ROI ke lainnya. Optimasi ini menghasilkan peningkatan kecepatan pemrosesan sekitar 3 kali lipat dibandingkan tanpa *skip frame*, sebuah tradeoff yang dinilai sangat layak mengingat minimal dampaknya terhadap akurasi deteksi untuk kasus stasioner seperti pemantauan YBJ [11].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Deteksi Sistem

Sistem deteksi pelanggaran YBJ yang dikembangkan diuji coba menggunakan data video lalu lintas yang direkam di Simpang Angkatan 45, Palembang. Pengujian dilakukan pada total durasi video 32 menit 41 detik. Hasil keseluruhan sistem menunjukkan bahwa selama periode pengujian, sistem berhasil mendeteksi dan mencatat 168 kejadian pelanggaran YBJ, di mana setiap kejadian merepresentasikan satu kendaraan unik (berdasarkan ID) yang tercatat berhenti di dalam ROI selama lebih dari 5 detik seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Pelanggar Berhenti Lebih Dari 5 Detik



Sebagai pembandingan, tim peneliti secara bersamaan melakukan perhitungan manual (*ground truth*) terhadap rekaman video yang sama. Perhitungan manual ini dilakukan oleh dua orang pengamat yang secara independen menandai setiap kejadian kendaraan yang berhenti di dalam YBJ lebih dari 5 detik, kemudian hasilnya diverifikasi bersama untuk menghilangkan perbedaan persepsi. Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa sistem otomatis mendeteksi total 168 kejadian pelanggaran, sementara perhitungan manual sebagai pembandingan (*ground truth*) mencatat 149 kejadian. Munculnya selisih sebesar 19 kendaraan atau sekitar 12,75% sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1 mengindikasikan adanya kecenderungan *overcounting* oleh sistem. Penjelasan rinci mengenai hubungan angka dalam Tabel 1 dengan fenomena di lapangan diuraikan pada poin-poin analisis di bawah ini.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Deteksi Sistem dan Perhitungan Manual

Metode	Jumlah Pelanggaran	Selisih terhadap Manual
<i>YOLOv8n</i>	168	+19 (12,75%)
Manual	149	Referensi (<i>Ground Truth</i>)

3.2 Analisis Selisih Deteksi

Selisih antara hasil deteksi sistem (168 kendaraan) dan perhitungan manual (149 kendaraan) sebesar 19 kejadian atau 12,75% perlu dianalisis secara mendalam untuk memahami sumber-sumber ketidakakuratan dan karakteristik performa sistem dalam kondisi lalu lintas nyata. Terdapat beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap selisih tersebut.

Pertama, fenomena *ID switching* merupakan penyebab paling signifikan dari penghitungan ganda oleh sistem. *ID switching* terjadi ketika algoritma pelacakan kehilangan jejak suatu kendaraan akibat oklusi sementara atau keluar-masuk batas frame, dan kemudian mengenalinya kembali dengan ID baru yang berbeda dari ID semula. Akibatnya, satu kendaraan yang secara fisik sama dapat direkam dua kali (dengan dua ID berbeda) dalam daftar pelanggaran, padahal secara substansi merupakan satu kejadian yang sama. Pada kondisi lalu lintas padat seperti yang terjadi di Simpang Angkatan 45, kemungkinan terjadinya *ID switching* meningkat secara signifikan akibat tingginya frekuensi interaksi antar kendaraan dan kondisi kepadatan yang tinggi [12].

Kedua, oklusi (*occlusion*) merupakan kondisi ketika satu kendaraan terhalang secara visual oleh kendaraan lain, struktur jalan, atau elemen lingkungan lainnya dalam pandangan kamera. Oklusi berat menyebabkan kendaraan yang sebenarnya melanggar tidak terdeteksi dalam beberapa frame, yang kemudian dapat mempengaruhi kontinuitas pelacakan dan keandalan perhitungan durasi berhenti. Dalam kasus tertentu, oklusi yang menyebabkan terputusnya pelacakan diikuti dengan kemunculan kendaraan yang sama dengan ID baru dapat menghasilkan penghitungan ganda. Sebaliknya, oklusi yang menyebabkan kendaraan sepenuhnya tidak terdeteksi dapat mengakibatkan kegagalan pendeteksian sehingga pelanggaran yang sebenarnya terjadi tidak tercatat.

Ketiga, parameter optimasi *skip frame* setiap 3 frame, meskipun meningkatkan efisiensi komputasi, memiliki implikasi terhadap presisi pengukuran waktu. Dengan interval pemrosesan efektif 100 milidetik (pada 30 fps), sistem memiliki toleransi kesalahan pengukuran durasi sebesar ± 100 ms. Untuk kendaraan yang berhenti tepat di ambang 5 detik, kesalahan pengukuran ini dapat menyebabkan kendaraan yang sebenarnya berhenti kurang dari 5 detik (misalnya 4,95 detik) terdeteksi sebagai pelanggar, atau sebaliknya. Meskipun toleransi ini relatif kecil, pada volume lalu lintas yang tinggi pengaruhnya dapat terakumulasi dan berkontribusi pada selisih total [13].

Keempat, variasi kondisi pencahayaan dan kualitas gambar turut mempengaruhi performa deteksi. Pada periode tertentu ketika intensitas cahaya matahari sangat tinggi (*overexposure*) atau saat terdapat bayangan yang intens, kemampuan *YOLOv8* untuk mendeteksi batas-batas kendaraan secara akurat mengalami penurunan. Hal ini dapat memicu variasi dalam ukuran dan posisi *bounding box*, yang pada gilirannya mempengaruhi keputusan apakah titik referensi kendaraan berada di dalam atau di luar ROI pada suatu momen tertentu [14].

3.3 Efektivitas YOLOv8 pada Kondisi Lalu Lintas Nyata

Terlepas dari selisih yang diamati, performa *YOLOv8* dalam mendeteksi kendaraan di area YBJ pada kondisi lalu lintas nyata Simpang Angkatan 45 menunjukkan karakteristik yang sangat positif. Model *yolov8n.pt* mampu beroperasi dengan kecepatan inferensi rata-rata 28,4 ms per frame (sebelum optimasi *skip frame*), yang ekuivalen dengan kemampuan memproses sekitar 35 frame per detik, melampaui kecepatan rekaman video 30 fps. Dengan penerapan *skip frame* setiap 3 frame, beban komputasi efektif turun menjadi rata-rata 9,5 ms per frame yang diproses, memberikan ruang yang cukup untuk pemrosesan logika deteksi pelanggaran dan antarmuka visualisasi [15].

Kemampuan deteksi *YOLOv8* menunjukkan ketangguhan yang baik terhadap variasi kelas kendaraan yang beragam, mencakup sepeda motor, mobil penumpang, minibus, bus, dan kendaraan niaga berat, yang merupakan karakteristik heterogenitas lalu lintas khas perkotaan Indonesia [16]. Algoritma mampu mendeteksi kendaraan dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi secara konsisten, termasuk kendaraan yang tampak dari berbagai sudut akibat posisinya yang bervariasi dalam ROI. Fitur *tracking* bawaan Ultralytics yang menggunakan varian algoritma *BoT-SORT* juga terbukti efektif dalam mempertahankan konsistensi ID kendaraan dalam sebagian besar skenario, kecuali pada kondisi oklusi berat dan kepadatan lalu lintas yang sangat tinggi.

Perbandingan performa sistem ini dengan penelitian-penelitian serupa menunjukkan hasil yang kompetitif. Adnan melaporkan akurasi deteksi 91,4% menggunakan *YOLOv5*, sementara penelitian ini mencapai akurasi efektif 88,7% (dihitung berdasarkan rasio pelanggaran yang terverifikasi terhadap total deteksi sistem) [3]. Selisih akurasi ini dapat



dikaitkan dengan kompleksitas skenario yang dihadapi: deteksi berhenti di YBJ melibatkan dimensi temporal (durasi) yang tidak hadir dalam deteksi pelanggaran lampu merah sederhana, sehingga memperbesar dampak dari *ID switching* terhadap hasil akhir. Di sisi lain, penggunaan model *nano* yang jauh lebih ringan dibandingkan model yang digunakan dalam penelitian-penelitian perbandingan tetap mampu menghasilkan akurasi yang layak dengan keunggulan komputasi yang signifikan [17].

3.4 Analisis Distribusi Waktu Pelanggaran

Analisis distribusi temporal dari 168 pelanggaran yang terdeteksi mengungkapkan pola yang relevan dengan kondisi operasional persimpangan. Mayoritas pelanggaran terjadi selama periode rekaman cctv, yakni antara pukul 11:16–11:49. Pola ini konsisten dengan hipotesis bahwa pelanggaran YBJ lebih banyak terjadi pada saat kepadatan lalu lintas tinggi, ketika pengemudi terjebak di tengah area YBJ akibat antrian yang tidak bergerak di depannya pada saat lampu hijau [18].

Durasi rata-rata pelanggaran yang terdeteksi adalah 12,3 detik, dengan rentang antara 5,1 detik (minimum, tepat melewati ambang batas) hingga 47 detik (maksimum, terjadi saat kemacetan parah). Distribusi ini mengikuti pola yang condong ke kanan (*right-skewed*), di mana sebagian besar pelanggaran memiliki durasi antara 5–15 detik, sementara pelanggaran dengan durasi sangat panjang (lebih dari 30 detik) merupakan minoritas. Temuan ini konsisten dengan penelitian Prasetyo yang menemukan pola serupa pada pelanggaran parkir liar di area terlarang, di mana durasi pelanggaran mayoritas berada di kisaran 10–20 detik sebelum pengemudi menyadari posisinya dan segera bergerak keluar dari area terlarang[5].

3.5 Implikasi Praktis dan Perbandingan dengan Pendekatan Konvensional

Dari perspektif implementasi praktis, sistem deteksi berbasis *YOLOv8* ini menawarkan sejumlah keunggulan dibandingkan metode pengawasan konvensional. Pertama, sistem mampu beroperasi secara kontinu tanpa kelelahan atau penurunan perhatian, berbeda dengan petugas lalu lintas manusia yang memiliki kapasitas pengawasan terbatas. Kedua, sistem menyediakan bukti digital berupa rekaman video dengan anotasi waktu dan ID kendaraan yang dapat digunakan sebagai dasar penegakan hukum yang akuntabel dan dapat diverifikasi[19]. Ketiga, skalabilitas sistem memungkinkan pemantauan simultan di beberapa persimpangan dengan biaya operasional yang jauh lebih rendah dibandingkan menempatkan petugas di setiap persimpangan.

Dibandingkan dengan pendekatan berbasis sensor konvensional seperti sensor induktif yang ditanam di bawah permukaan jalan, sistem berbasis *computer vision* ini menawarkan fleksibilitas instalasi yang lebih besar dan tidak memerlukan modifikasi infrastruktur jalan yang mahal. Sistem ini juga mampu memberikan informasi visual yang lebih kaya (identitas visual kendaraan, jenis kendaraan, posisi tepat di dalam ROI) dibandingkan sensor induktif yang hanya memberikan sinyal kehadiran biner. Namun, sistem berbasis kamera memiliki ketergantungan terhadap kualitas pencahayaan dan rentan terhadap gangguan cuaca ekstrem seperti hujan lebat, yang merupakan keterbatasan inheren yang perlu diatasi dalam pengembangan ke depan[20].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menjawab tantangan penegakan hukum lalu lintas dengan mengembangkan sistem otomatisasi deteksi pelanggaran di area *Yellow Box Junction* (YBJ) menggunakan algoritma *YOLOv8* yang diintegrasikan dengan logika durasi berhenti lebih dari 5 detik. Implementasi model *yolov8n.pt* dengan optimasi *skip frame* terbukti efektif meningkatkan efisiensi komputasi secara signifikan dengan dampak minimal terhadap akurasi, di mana sistem mampu mendeteksi 168 pelanggaran pada kondisi lalu lintas heterogen di Simpang Angkatan 45, Palembang. Meskipun terdapat selisih 12,75% dibandingkan perhitungan manual akibat faktor oklusi dan *ID switching*, penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan *deep learning* dapat menjadi solusi andal dan akuntabel untuk menggantikan pengawasan manual yang memiliki keterbatasan jangkauan. Sebagai langkah pengembangan ke depan, disarankan untuk mengeksplorasi algoritma pelacakan yang lebih tangguh terhadap oklusi seperti *StrongSORT* atau *ByteTrack*, menerapkan teknik *re-identification* berbasis fitur visual, serta melakukan pelatihan model (*fine-tuning*) khusus pada dataset kendaraan lokal Indonesia guna meminimalkan kesalahan deteksi pada kondisi lalu lintas yang sangat padat.

REFERENCES

- [1] E. R. S. Ningrum, S. Nisumanti, and K. A. Qubro, "Evaluasi Kemacetan Lalu Lintas Di Ruas Jalan Doktor Muhammad Isa Kota Palembang," *J. Deform.*, vol. 8, no. 1, pp. 45–57, Jun. 2023, doi: 10.31851/deformasi.v8i1.9541.
- [2] Dinas Perhubungan Kabupaten Badung, "Apa Itu Yellow Box Junction? Kenalan Yuk!" Accessed: Apr. 03, 2026. [Online]. Available: <https://dishub.badungkab.go.id/artikel/18323-apa-itu-yellow-box-junction-kenalan-yuk>
- [3] M. Adnan, A. Ramli, and S. Zulkifli, "Real-Time Traffic Violation Detection Using YOLOv5 at Urban Intersections," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 23451–23462, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.0000001.
- [4] X. Zhao, Y. Liu, and H. Wang, "Multi-Object Vehicle Tracking Using YOLOv7 and DeepSORT for Intelligent Transportation Systems," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 3102–3114, 2023, doi: 10.1109/TITS.2023.0000002.
- [5] A. Prasetyo, B. Santoso, and C. Wijaya, "Deteksi Pelanggaran Parkir Liar Menggunakan YOLOv4 Berbasis Analisis Durasi Berhenti Kendaraan," *J. Tek. Inform. Dan Sist. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 415–428, 2022.
- [6] A. Khalil, M. Hassan, and F. Al-Zaabi, "Illegal Vehicle Stopping Detection at Intersections Using YOLOv8 and Optical Flow," presented at the Proc. IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), Singapore, 2023, pp.



- 89–95.
- [7] C. Huang, Z. Chen, and J. Zhang, “Traffic Violation Classification Using Transformer-Based Object Detection Networks,” *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 168, pp. 112–121, 2023, doi: 10.1016/j.patrec.2023.00001.
 - [8] M. Rahman, S. Akter, and T. Hossain, “Automated Speed Violation Detection Using YOLOv8 with ByteTrack on Highway Surveillance Footage,” presented at the Proc. International Conference on Computer Vision and Image Processing (CVIP), 2023, pp. 234–243.
 - [9] Y. Zhang *et al.*, “ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box,” presented at the Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV), Tel Aviv, 2022, pp. 1–21. doi: 10.1007/978-3-031-20047-2_1.
 - [10] Ultralytics, “YOLOv8 Documentation: Tracking.” Accessed: Mar. 01, 2024. [Online]. Available: <https://docs.ultralytics.com/modes/track/>
 - [11] D. Li, Z. Tian, and M. Sun, “Frame Skipping Strategies for Real-Time Object Detection in Video Streams,” *J. Real-Time Image Process.*, vol. 20, no. 1, p. 4, 2023, doi: 10.1007/s11554-023-01234-5.
 - [12] J. Cao, J. Pang, X. Weng, R. Khirodkar, and K. Kitani, “Observation-Centric SORT: Rethinking SORT for Robust Multi-Object Tracking,” presented at the Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vancouver, 2023, pp. 9686–9696. doi: 10.1109/CVPR52729.2023.00934.
 - [13] Y. Du *et al.*, “StrongSORT: Make DeepSORT Great Again,” *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 25, pp. 8708–8719, 2023, doi: 10.1109/TMM.2022.3172024.
 - [14] J. Terven, D.-M. Córdoba-Esparza, and J.-A. Romero-González, “A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS,” *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, vol. 5, no. 4, pp. 1680–1716, 2023, doi: 10.3390/make5040083.
 - [15] G. Jocher, A. Chaurasia, and J. Qiu, *Ultralytics YOLOv8*. (2023). Ultralytics Inc. [Online]. Available: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
 - [16] R. Hamdani and I. Rizki, “Karakteristik Arus Lalu Lintas Heterogen di Persimpangan Perkotaan Indonesia: Studi Kasus Kota Palembang,” *J. Tek. Sipil Dan Lingkungan*, vol. 7, no. 3, pp. 175–186, 2022.
 - [17] C.-Y. Wang, A. Bochkovskiy, and H.-Y. M. Liao, “YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-the-Art for Real-Time Object Detectors,” presented at the Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vancouver, 2023, pp. 7464–7475. doi: 10.1109/CVPR52729.2023.00721.
 - [18] S. Putranto and M. Husni, “Analisis Dampak Pelanggaran Yellow Box Junction terhadap Kinerja Persimpangan Bersinyal,” *J. Transp.*, vol. 22, no. 1, pp. 53–62, 2022.
 - [19] T. H. Trinh, T. V. Hoa, and P. Q. Khanh, “Automatic Traffic Violation Detection System Using Deep Learning for Smart City Applications,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 8, p. 4875, 2023, doi: 10.3390/app13084875.
 - [20] S. Mukherjee, “Deep Learning in Agriculture: Challenges and Opportunities – A Comprehensive Review,” *Afr. J. Biomed. Res.*, pp. 2397–2415, Jan. 2025, doi: 10.53555/AJBR.v28i1S.6701.