

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jalan raya merupakan salah satu elemen vital dalam sistem transportasi yang mendukung mobilitas masyarakat dan distribusi barang. Seiring dengan perkembangan ekonomi dan urbanisasi, kebutuhan akan infrastruktur jalan yang dapat mengakomodasi peningkatan volume kendaraan menjadi semakin mendesak. Di Indonesia, salah satu perkembangan paling signifikan dalam infrastruktur jalan adalah ekspansi jalan tol, yang tidak hanya menghubungkan antar kota besar, tetapi juga meningkatkan efisiensi logistik dan ekonomi secara keseluruhan. Pada tahun 2014, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mengelola sekitar 780 km jalan tol di Indonesia, dan jumlah ini terus berkembang pesat, mencakup lebih dari 2.600 km jalan tol pada tahun 2023 (Parikesit et al., 2024). Salah satu jalur strategis yang terus berkembang adalah jalan tol yang menghubungkan Bandung dan Cirebon, termasuk akses gerbang tol Pamulihan yang menjadi pintu keluar masuk kendaraan dari dan ke jalan tol Trans Jawa. Jalan tol ini memberikan dampak positif terhadap konektivitas antar kota dan mempermudah perjalanan, namun seiring dengan peningkatan volume lalu lintas, muncul tantangan baru terkait dengan manajemen lalu lintas dan keselamatan di sepanjang ruas jalan tersebut.

Peningkatan jumlah kendaraan yang melintas, terutama di wilayah seperti akses Gerbang Tol Pamulihan yang menghubungkan Bandung dengan Cirebon dan juga Akses Narogong, telah memicu sejumlah permasalahan terkait pelanggaran lalu lintas. Salah satu masalah yang paling sering ditemui di sepanjang jalan ini adalah banyaknya pejalan kaki di jalur kendaraan dan juga kendaraan yang berhenti sembarangan di bahu jalan atau bahkan di lampu merah, yang mengakibatkan gangguan arus lalu lintas. Hal ini sering terlihat di sekitar area perempatan jalan menuju gerbang tol, di mana kendaraan, terutama truk dan *bus*, berhenti untuk beristirahat atau menunggu giliran. Praktik parkir sembarangan ini mengurangi kapasitas jalan dan menyebabkan kemacetan yang signifikan, terutama pada jam sibuk. Fenomena ini tidak hanya mengganggu kelancaran arus lalu lintas, tetapi juga meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan, karena pengemudi harus

melakukan manuver yang lebih hati-hati saat melintasi area tersebut (Rifai et al., 2020).

Pelanggaran seperti parkir sembarangan dan berhenti di area yang tidak semestinya menjadi masalah yang terus berkembang, mengingat tingginya volume kendaraan yang melintas di wilayah ini. Di Indonesia, ilegal *parking* menjadi fenomena yang sering dijumpai dalam sistem transportasi, yang dapat menyebabkan gangguan arus lalu lintas, terutama pada jalur-jalur utama yang menghubungkan kota-kota besar (Suliswati, 2021). Tidak hanya mengurangi estetika kota, tetapi juga berpotensi menyebabkan kecelakaan dan kemacetan, akibat dari kendaraan yang parkir sembarangan di bahu jalan (Schiffer et al., 2019). Selain itu, kegiatan parkir ilegal ini juga bisa menurunkan kapasitas jalan yang ada, karena kendaraan yang terparkir di bahu jalan mempersempit ruang gerak lalu lintas. Hal ini terutama berlaku di daerah sekitar gerbang tol, seperti di Jalan Bandung-Cirebon, yang sering mengalami penurunan kecepatan dan bahkan kemacetan akibat adanya kendaraan yang berhenti tidak pada tempatnya (Rao et al., 2017).

Sebagai respons terhadap masalah tersebut, penerapan sistem deteksi otomatis di jalan raya menjadi sangat penting. Teknologi pengawasan video, misalnya, dapat digunakan untuk memantau perilaku lalu lintas dan mendeteksi pelanggaran secara *real-time*. Sistem ini memiliki potensi besar untuk mendukung pengawasan cerdas dengan kemampuan mendeteksi perilaku abnormal dan mengirimkan notifikasi secara otomatis ke pusat kendali (Mabrouk & Zagrouba, 2018). Kamera pengawas memiliki keunggulan dalam hal biaya dan kemudahan instalasi karena tidak memerlukan penggalian atau penambahan alat khusus di badan jalan, seperti halnya sensor tradisional (Minnikhanov et al., 2020). Dengan kemajuan dalam teknologi komputasi dan metode *deep learning*, sistem pengawasan video kini dapat digunakan untuk mendeteksi karakteristik lalu lintas secara otomatis, yang memungkinkan pemantauan statistik dan identifikasi pelanggaran lalu lintas dengan lebih efisien (Chung, 2018). Oleh karena itu, penerapan teknologi deteksi otomatis di jalan raya, terutama di lokasi yang rawan pelanggaran seperti akses Gerbang Tol Pamulihan, menjadi langkah penting dalam meningkatkan keamanan dan efisiensi lalu lintas, serta mengurangi risiko kecelakaan.

Salah satu metode yang telah banyak digunakan dalam pengawasan video untuk mendeteksi pelanggaran lalu lintas adalah model *deep learning* untuk deteksi objek seperti SSD (*Single Shot Multibox Detector*), YOLO (*You Only Look Once*), Faster R-CNN, RetinaNet, Mask R-CNN, dan EfficientDet. Penelitian oleh Redmon & Farhadi (2020) menunjukkan bahwa YOLO memiliki keunggulan dalam kecepatan deteksi dan cocok untuk aplikasi *real-time*, meskipun akurasinya dapat berkurang pada objek yang lebih kecil. Di sisi lain, SSD dikenal dengan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi, menjadikannya pilihan populer untuk deteksi objek dalam video pengawasan di jalan raya (Liu et al., 2019). RetinaNet yang diperkenalkan oleh Lin et al. (2020) menawarkan keunggulan dalam menangani ketidakseimbangan kelas pada *dataset* melalui *loss function*, namun memiliki keterbatasan dalam performa kecepatan dibanding YOLO. Sementara itu, Mask R-CNN tidak hanya mendeteksi objek tetapi juga mampu melakukan segmentasi objek, membuatnya cocok untuk aplikasi yang memerlukan analisis mendalam seperti pengelompokan kendaraan berdasarkan jenisnya (He et al., 2019). Untuk aplikasi di jalan raya, EfficientDet menjadi model yang sering digunakan karena kemampuannya yang efisien dalam menggunakan sumber daya komputasi tanpa mengorbankan akurasi, sebagaimana dibahas oleh Tan & Le (2021).

Penelitian oleh Ruimin Ke et al. (2020) berfokus pada pengembangan sistem pengawasan parkir yang cerdas, efisien, dan andal menggunakan kecerdasan buatan berbasis edge pada perangkat IoT. Sistem ini memanfaatkan algoritma *Single Shot Multibox Detector* (SSD) dengan *Mobilenet backbone network* sebagai detektor utama, yang dirancang khusus untuk perangkat dengan daya komputasi terbatas. Mobilenet dipilih karena struktur ringan yang memungkinkan deteksi lebih cepat dibandingkan *backbone* lainnya, dengan implementasi menggunakan TensorFlow Lite yang dioptimalkan untuk perangkat IoT. Penelitian ini membandingkan kinerja SSD-Mobilenet dengan YOLO-V3 pada Raspberry Pi 3B, menunjukkan bahwa SSD-Mobilenet dapat mencapai kecepatan lebih dari 1 *frame-per-second* (FPS) dan akurasi deteksi lebih tinggi, yaitu 95,6% dalam berbagai kondisi, termasuk siang, malam, hujan, berkabut, serta gangguan visual lainnya. Pengujian dilakukan di STAR Lab dan garasi Angle Lake selama tiga bulan, menghasilkan sistem yang

menunjukkan kolaborasi komponen yang sangat baik dan kinerja deteksi tinggi untuk berbagai skenario pengawasan parkir.

Penelitian oleh Xinggan Peng et al. (2022) berfokus pada pengembangan algoritma deteksi parkir ilegal secara *real-time* di lingkungan perkotaan, dengan tujuan utama mengidentifikasi pelanggaran parkir dan menentukan lokasinya dalam citra. Algoritma yang diusulkan menggunakan model YOLOv3, yang dipilih karena kecepatan deteksi tinggi, yaitu sekitar 0,07 detik per gambar, lebih cepat dibandingkan model lain seperti RetinaNet dan SSD. Penelitian ini menggabungkan data dari kamera depan dan samping kendaraan dengan metode pelatihan campuran untuk meningkatkan akurasi. Hasil pengujian pada data dari area perkotaan di Singapura menunjukkan kinerja deteksi yang signifikan, dengan nilai *F-Score* sebesar 90,66%, *Average Precision* sebesar 90,24%, dan *Average Recall* sebesar 91,09%. Analisis kompleksitas algoritma juga menunjukkan bahwa algoritma ini memiliki jumlah operasi *floating point* (FLOPs) yang lebih kecil dibandingkan model lain, seperti ResNet dan RetinaNet, serta waktu pelatihan dan deteksi yang lebih rendah dari SSD, sambil tetap mempertahankan performa deteksi yang lebih baik. Penelitian ini memberikan solusi efisien untuk mengatasi masalah parkir ilegal di area perkotaan.

Penelitian-penelitian lain juga menunjukkan bahwa model *deep learning* dapat digunakan secara efektif untuk mendeteksi kendaraan dan aktivitas lalu lintas lainnya. Misalnya, Gupta et al. (2021) menggunakan ResNet untuk ekstraksi fitur mendalam pada sistem pengawasan jalan raya, yang memberikan akurasi tinggi dalam klasifikasi jenis kendaraan. Selain itu, kombinasi CNN dengan arsitektur RNN telah digunakan untuk menganalisis pergerakan kendaraan dalam video untuk memahami pola perilaku lalu lintas secara temporal (Sharma et al., 2022). Penelitian oleh Wang et al. (2023) menggunakan Faster R-CNN dalam mendeteksi pelanggaran di jalan tol, dengan hasil yang menunjukkan keunggulan dalam mendeteksi kendaraan yang berhenti di tempat terlarang. Walaupun metode-metode ini sangat menjanjikan, mereka memiliki tantangan, seperti kebutuhan akan *dataset* yang besar dan pemrosesan komputasi yang tinggi untuk mencapai performa optimal

Dari berbagai metode yang ada, SSD menjadi salah satu pilihan terbaik sebagai model *deep learning* yang menawarkan keseimbangan optimal antara akurasi dan efisiensi komputasi, sehingga cocok untuk aplikasi pengawasan lalu lintas *real-time*. Keunggulan SSD terletak pada kemampuannya mendeteksi objek dengan berbagai ukuran, termasuk objek kecil atau yang saling bertumpuk, yang sering menjadi tantangan dalam lingkungan jalan raya yang dinamis. Dengan sifatnya yang efisien dan akurat, SSD menjadi pilihan unggul untuk mendeteksi pelanggaran lalu lintas seperti parkir ilegal atau berhenti sembarangan, serta mendukung sistem pengawasan cerdas untuk meningkatkan keselamatan di jalan raya.

Meskipun metode-metode ini memiliki banyak keunggulan, ada beberapa keterbatasan utama. YOLO, misalnya, cenderung memiliki kesulitan dalam mendeteksi objek yang sangat kecil atau tumpang tindih, terutama dalam lingkungan dengan latar belakang yang rumit (Redmon & Farhadi, 2020). SSD, meskipun efisien, terkadang memiliki performa yang kurang optimal pada *dataset* dengan distribusi ukuran objek yang sangat beragam (Liu et al., 2019). Selain itu, model seperti Mask R-CNN atau RetinaNet sering kali membutuhkan sumber daya komputasi yang tinggi dan waktu inferensi yang lebih lama, sehingga kurang cocok untuk aplikasi *real-time* pada perangkat dengan daya terbatas (He et al., 2019; Lin et al., 2020). Tantangan lain yang dihadapi adalah kebutuhan akan *dataset* berkualitas tinggi yang merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan, termasuk variasi cuaca, pencahayaan, dan posisi kamera, yang dapat memengaruhi performa model secara signifikan (Sharma et al., 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pengawasan lalu lintas berbasis *Deep Learning* secara *real-time* dengan menggunakan metode *Single Shot Multibox Detector* (SSD) dengan membandingkan tiga jenis *backbone* arsitektur, yaitu MobileNetV2, MobileNetV2-FPN Lite, dan ResNet50 V1, dipadukan dengan algoritma pelacakan Deep SORT. Metode ini dirancang untuk mendeteksi dan melacak pelanggaran lalu lintas, seperti kendaraan yang berhenti sembarangan di bahu jalan tol yang dapat membahayakan keselamatan lalu lintas. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan *dataset* dari video CCTV dan *dataset* tambahan dari Roboflow dalam format TFRecord, proses anotasi data, pelatihan model SSD

menggunakan *dataset* custom, serta evaluasi performa model dengan metrik seperti *mean Average Precision* (mAP). Pengujian *real-time* dilakukan dengan video CCTV, di mana Deep SORT digunakan untuk melacak pergerakan objek dan menghitung durasi kendaraan berhenti di jalur kendaraan. Hasil deteksi disimpan dalam csv dan ditampilkan melalui *dashboard* dengan Flask, sehingga memungkinkan pengelolaan lalu lintas yang lebih aman, tertib, dan efisien.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, masalah yang akan diangkat pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana performa model deteksi objek SSD dengan tiga jenis *backbone* dalam mendeteksi pelanggaran di jalan raya berdasarkan video CCTV?
2. Bagaimana pengaruh variasi nilai *threshold confidence* terhadap metrik evaluasi model?
3. *Backbone* SSD mana yang memberikan kinerja deteksi tercepat (FPS tertinggi) dalam deteksi kendaraan berbasis citra video?

C. Pembatasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah di atas, terdapat batasan masalah yang melingkupi penelitian ini di antaranya:

1. Arsitektur deteksi yang digunakan terbatas pada *Single Shot Multibox Detector* (SSD) dengan tiga jenis *backbone*, yaitu MobileNetV2, MobileNetV2-FPN Lite, dan ResNet50V1.
2. Evaluasi dilakukan pada tiga nilai *threshold confidence* tetap, yaitu 0,3, 0,5, dan 0,7, untuk mengamati pengaruhnya terhadap hasil deteksi dan akurasi model.
3. Fokus pelanggaran yang dideteksi terbatas pada kendaraan yang berhenti sembarangan di bahu jalan, bukan pelanggaran lalu lintas lain seperti melanggar lampu merah atau kecepatan.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah mengembangkan sistem deteksi Pelanggaran Kendaraan Parkir Ilegal Berbasis Citra Video menggunakan *Single Shot Multibox Detector* (SSD) dan Deep SORT.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Dapat membantu pengelola jalan raya dalam mengidentifikasi pelanggaran seperti kendaraan berhenti sembarangan di bahu jalan sehingga dapat mencegah potensi kecelakaan lalu lintas.
2. Teknologi pengujian pada video *real-time* ini memungkinkan pemantauan kondisi lalu lintas secara otomatis dan berkelanjutan, mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual yang membutuhkan tenaga kerja besar.
3. Dengan mengevaluasi berbagai model deteksi objek dan pengaruh *threshold confidence*, penelitian ini memberikan landasan teknis bagi pengembangan sistem yang efisien, baik dari segi akurasi maupun kecepatan.