

Monitoring Otomatis Kondisi Lalu Lintas untuk Mendeteksi Adanya Kecelakaan dengan Menggunakan YOLOv8

Mohamad Maulana Firdaus Ramadhan¹, Rizqika Mulia Pratama², Ikhwan Al Hakim³, Ayu Purwarianti⁴

¹Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, Kabupaten Cirebon, 45187, email: 19622267@mahasiswa.itb.ac.id

²Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, Kota Bandung, 40133, email: 19622258@mahasiswa.itb.ac.id

³Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, Kota Medan, 20147, email: 19622278@mahasiswa.itb.ac.id

⁴Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, Kota Bandung, 40132, email: ayu@itb.ac.id

Corresponding Author: Mohamad Maulana Firdaus Ramadhan

INTISARI — Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), antara tahun 2016 hingga 2021, tercatat lebih dari 100 ribu kasus kecelakaan kendaraan bermotor di Indonesia setiap tahunnya. Kecelakaan tersebut telah menyebabkan lebih dari 25 ribu korban jiwa dan kerugian materi lebih dari 200 miliar Rupiah. Pendeteksian anomali yang terjadi di lalu lintas secara tepat dan pengambilan tindakan secara sigap sangat penting untuk menyelamatkan korban, mengurangi kerugian ekonomi, dan mengatasi kemacetan lalu lintas. Oleh sebab itu, suatu solusi dibutuhkan untuk mencapai tujuan tersebut. Dalam penelitian ini, penulis mengajukan sebuah ide inovatif yang melibatkan penerapan pembelajaran mesin pada sistem pengawasan lalu lintas. Dalam hal ini, sebuah model pembelajaran mesin dikembangkan untuk mendeteksi kecelakaan berdasarkan anomali yang terjadi pada data video yang diperoleh dari CCTV di lokasi-lokasi lalu lintas. Model ini dilatih menggunakan algoritma YOLOv8 yang telah terbukti efektif dalam mendeteksi objek. Dengan menggunakan data video CCTV yang mencakup berbagai situasi lalu lintas, model ini mampu mengenali pola-pola anomali yang mengindikasikan terjadinya kecelakaan. Ketika sebuah anomali terdeteksi, model akan memberikan sinyal dan menghasilkan laporan secara otomatis kepada pihak berwenang. Dengan adanya laporan ini, pihak berwenang dapat memberikan pertolongan pertama dengan cepat dan efisien, termasuk mengirimkan tim penyelamat ke lokasi kejadian, mengatur lalu lintas, dan memberikan bantuan medis jika diperlukan. Untuk mengevaluasi kinerja model, digunakan metrik *Mean Average Precision at 50*. Hasil menunjukkan bahwa model ini memiliki skor mAP50 sebesar 0.924430.

KATA KUNCI — YOLOv8, computer vision, deteksi objek, kecelakaan lalu lintas

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri yang berkembang secara pesat mendorong kemajuan teknologi otomotif. Tidak dapat dipungkiri bahwa kendaraan, terutama kendaraan bermotor, dibutuhkan oleh Masyarakat Indonesia saat ini. Kendaraan bermotor dapat digunakan untuk berbagai aktivitas seperti bekerja, bersekolah, dan berbelanja di pasar, tidak hanya menggunakan kendaraan pribadi tetapi juga kendaraan umum.

Namun, meskipun kendaraan bermotor memberikan kemudahan dan kenyamanan dalam mobilitas, terdapat risiko kecelakaan lalu lintas yang serius pada penggunaannya.

Kondisi lalu lintas yang semakin padat, infrastruktur yang belum memadai, serta perilaku pengemudi yang kurang disiplin menjadi beberapa faktor yang berkontribusi terhadap meningkatnya angka kecelakaan. Selain itu, kurangnya kesadaran akan pentingnya aturan lalu lintas, penggunaan alat pengaman seperti helm dan sabuk pengaman, serta kurangnya pemahaman tentang bahaya penggunaan alkohol atau narkoba saat berkendara juga turut berperan dalam meningkatnya risiko kecelakaan. Dalam beberapa tahun terakhir, terjadi peningkatan angka kecelakaan di Indonesia.

Menurut data yang dibuat oleh Badan Pusat Statistik (BPS), telah terjadi kecelakaan lalu lintas di Indonesia setiap tahunnya dalam kurun waktu tahun 2016 hingga 2021 yang mencapai jumlah 100 ribu kasus. Angka ini sangat mengkhawatirkan, mengingat dampak yang ditimbulkannya, seperti korban jiwa yang mencapai lebih dari 25 ribu orang dan kerugian materi sekitar 200 miliar rupiah.

Pemanfaatan teknologi informasi harus dimaksimalkan untuk meminimalisir korban jiwa akibat kecelakaan lalu lintas. Maka dari itu, peneliti mengusulkan untuk membuat sebuah

teknologi yang berupa aplikasi pendeteksi kecelakaan lalu lintas. Aplikasi dibuat dengan memanfaatkan teknologi *computer vision* untuk memantau aktivitas lalu lintas. Lalu, informasi dari pemindaian kondisi lalu lintas oleh *computer vision* diekstrak dan digunakan untuk mengukur kecenderungan anomali dengan menggunakan YOLOv8. Ketika anomali terdeteksi, akan dikirim peringatan kecelakaan ke kantor polisi terdekat agar dapat ditindaklanjuti lebih awal tanpa menunggu laporan dari warga seperti menghubungi rumah sakit dan mengarahkan petugas ke lapangan. Dengan pemantauan yang dilakukan secara otomatis dan cepat, diharapkan jumlah korban jiwa dan kerugian akibat kecelakaan dapat dibuat seminimal mungkin.

B. Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat aplikasi berteknologi *computer vision* yang menggunakan model pembelajaran mesin YOLOv8 untuk mendeteksi kecelakaan lalu lintas berdasarkan anomali yang terjadi pada video pengamatan dari CCTV (Closed Circuit Television) lalu lintas. Apabila kecelakaan lalu lintas terdeteksi maka akan terdapat sistem otomatis yang mengirimkan laporan kepada pihak berwenang seperti kepolisian dengan tujuan memberikan tindakan secepat mungkin seperti memanggil petugas dan menghubungi rumah sakit terdekat.

C. Manfaat

Penelitian ini memiliki manfaat diantaranya :

1. Mendeteksi Kecelakaan dengan Cepat: Dengan adanya sistem deteksi kecelakaan secara *real-time*, pihak kepolisian dapat menerima laporan kecelakaan dengan

cepat. Hal ini memungkinkan mereka untuk segera merespon dan mengambil tindakan yang diperlukan seperti mengirim petugas ke lokasi kecelakaan dan mengatur lalu lintas.

2. Peningkatan Respon Medis: Pihak rumah sakit dapat menerima laporan kecelakaan secara *real-time*, sehingga mereka dapat mempersiapkan tim medis dan peralatan yang diperlukan untuk merawat korban kecelakaan dengan lebih efisien. Hal ini dapat meningkatkan kesempatan penyelamatan dan mengurangi risiko kesehatan korban.

D. Batasan Yang Digunakan

Penelitian ini memiliki batasan-batasan yaitu (1) video yang digunakan sebagai sumber dalam penelitian ini diambil dari jalan yang sering dilalui masyarakat dengan kamera yang diletakkan di sekitar perempatan jalan. (2) jumlah data dan sumber daya yang digunakan dalam proses *training* model terbatas.

E. Kajian Serupa

Dari segi implementasi teknologi yang sama, penelitian berjudul "TAD: A Large-Scale Benchmark for Traffic Accidents Detection from Video Surveillance" oleh Yajun Xu, Chuwen Huang, Yibing Nan, Shiguo Lian (2022) membuat *Automatic traffic accidents detection* dengan menggunakan model belajar PyTorch dan dengan menggunakan dataset Traffic accidents dataset (TAD).

F. Kontribusi Penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan pelatihan model menggunakan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi kecelakaan lalu lintas. Penelitian ini memiliki tujuan utama yaitu untuk mengurangi tingkat kerugian yang disebabkan oleh kecelakaan di Indonesia. Dengan adanya aplikasi yang dapat mendeteksi kecelakaan secara otomatis dan sistem pelaporan kecelakaan, komunikasi dengan pihak kepolisian dan tim medis dapat dilakukan dengan lebih cepat dan responsif.

Selain itu, Lokasi-lokasi yang rentan terjadi kecelakaan dapat didata menggunakan hasil dari penelitian ini. Hal ini memberikan kesempatan kepada pihak berwenang untuk meningkatkan keamanan dan melakukan pemantauan langsung terhadap lokasi-lokasi tersebut. Dengan adanya pemantauan yang lebih intensif, diharapkan jumlah kecelakaan dapat dikurangi dan langkah-langkah pencegahan yang lebih efektif dapat diimplementasikan.

II. STUDI LITERATUR

A. Computer vision

Computer vision adalah salah satu subbidang dalam kecerdasan buatan yang berfokus pada pengembangan algoritma dan teknik untuk memberikan kemampuan visual kepada komputer. Hal ini memungkinkan komputer untuk melihat, memahami, dan mengenali objek dan informasi yang terkandung dalam gambar dan video dengan cara yang mirip dengan kemampuan visual manusia.

Beberapa tugas utama dalam computer vision meliputi:

- Klasifikasi Gambar: Proses mengenali dan mengklasifikasikan gambar ke dalam kategori atau kelas yang telah ditentukan sebelumnya. Misalnya, mengklasifikasikan gambar sebagai "kucing" atau "anjing" berdasarkan karakteristik visualnya.

- Deteksi Objek: Tugas ini melibatkan identifikasi dan lokalisasi objek spesifik dalam gambar. Metode deteksi objek digunakan untuk menemukan dan memisahkan objek tertentu dari latar belakang. Misalnya, mengidentifikasi wajah manusia dalam sebuah gambar.

- Pelacakan Objek: Pelacakan objek berfungsi untuk mengikuti pergerakan suatu objek dari waktu ke waktu dalam serangkaian frame video. Tujuannya adalah untuk mempelajari jalur pergerakan objek dan memprediksi posisinya di frame berikutnya. Pelacakan objek dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pemantauan lalu lintas, pengawasan keamanan, dan *augmented reality*.

B. YOLOv8

YOLOv8, yang dirilis pada 10 Januari 2023, adalah versi terbaru dari YOLO (You Only Look Once). YOLO merupakan sebuah algoritma yang menerapkan jaringan saraf (*neural network*) untuk mengolah gambar dengan mempartisipasinya menjadi sejumlah grid. Algoritma ini kemudian memprediksi bounding box dan probabilitas untuk setiap grid tersebut. Arsitektur YOLO menggunakan *Convolutional Neural Network* yang terbuat dari 24 Lapisan Konvolusional (*convolutional layers*) dan 2 lapisan yang terhubung sepenuhnya (*fully connected layers*). *Convolutional layers* berfungsi untuk mengekstraksi fitur dari gambar input, sementara *fully connected layers* digunakan untuk memprediksi probabilitas output dan koordinat.

C. Mean Average Precision (mAP)

Mean Average Precision (mAP) adalah salah satu metrik yang sering digunakan sebagai alat untuk evaluasi model deteksi objek dengan beberapa kelas yang berbeda. Metrik ini menghitung Average Precision (AP) untuk setiap kelas dan kemudian mengambil rata-rata dari semua nilai AP.

Average Precision (AP) mengukur kualitas dari deteksi objek dengan memperhitungkan presisi (*precision*) dan recall untuk setiap kelas. Presisi merupakan rasio objek yang terdeteksi dengan benar terhadap total objek yang diprediksi sebagai objek tersebut. Recall merupakan rasio objek yang terdeteksi dengan benar terhadap total objek yang sebenarnya ada dalam data.

Untuk menghitung AP, terlebih dahulu dibangun Precision-Recall Curve (kurva presisi-recall). Kurva ini menggambarkan perubahan presisi sebagai fungsi dari recall dengan memvariasikan threshold yang digunakan dalam deteksi objek. Nilai AP kemudian dihitung sebagai luas di bawah kurva Precision-Recall. Semakin tinggi nilai AP, semakin baik kualitas deteksi objek yang dihasilkan oleh model.

III. METODE EKSPERIMEN

A. Proses Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian ini, digunakan dataset yang diperoleh dari publikasi Roboflow yang dibuat oleh pengguna dengan nama "class" pada bulan Desember 2022. Dataset ini berisi dua bagian, yaitu data *train* dan *val*. Data train terdiri dari 10.989 gambar yang digunakan untuk melatih model, sedangkan data val terdiri dari 2.220 gambar yang digunakan untuk evaluasi dan validasi model. Pemilihan data ini didasarkan pada pertimbangan bahwa dataset tersebut dapat merepresentasikan berbagai kondisi terjadinya kecelakaan dalam situasi lalu lintas. Sebelum digunakan, data tersebut telah dianotasi dan diaugmentasi oleh penulis penelitian. Selanjutnya, data diekstrak dan disimpan dalam format YOLOv8.



Gambar 1. Contoh data kecelakaan yang telah dianotasi

B. Model Prediksi

Model YOLOv8 digunakan untuk *training* dengan data *train* yang telah diperoleh sebelumnya dan dievaluasi menggunakan data *val*. Model YOLOv8 akan menghasilkan prediksi berupa *bounding box* (kotak pembatas) yang mengelilingi objek yang ada dalam gambar. Setiap *bounding box* juga dilengkapi dengan label kelas yang menunjukkan jenis objek yang terdeteksi, serta tingkat kepercayaan (*confidence score*) yang mengindikasikan sejauh mana model yakin dengan prediksinya.

C. Aplikasi Crash Detection

Aplikasi Crash Detection ini dikembangkan dengan tujuan utama mendeteksi kecelakaan lalu lintas dari video CCTV dan memberikan informasi kepada pihak berwenang agar dapat segera mengambil tindakan yang diperlukan. Aplikasi ini dirancang untuk membaca video CCTV yang merekam situasi lalu lintas, kemudian melakukan prediksi terhadap video tersebut menggunakan model YOLOv8 yang telah dibuat sebelumnya.

Proses prediksi dilakukan dengan mengambil setiap frame video, kemudian mengonversinya menjadi format yang dapat diproses oleh model YOLOv8. Setelah itu, model YOLOv8 akan memprediksi apakah kecelakaan terjadi atau tidak berdasarkan aspek-aspek yang diekstrak dari setiap frame. Jika model memiliki *confidence score* di atas 80%, aplikasi akan mengirim laporan kepada pihak berwenang.

Untuk memberikan laporan setelah mendeteksi adanya kecelakaan, aplikasi akan mengirimkan laporan yang berisi dokumentasi kejadian, lokasi kejadian, koordinat kejadian, waktu kejadian, dan opsi tombol untuk menghubungi ambulan dan/atau pemadam kebakaran.

D. Alur Kerja

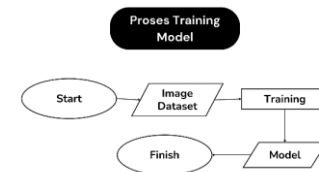
Secara singkat, aplikasi Crash Detection melibatkan tiga tahap utama: pelatihan model, prediksi dan analisis, serta proses pengiriman laporan.

Tahap pertama adalah pelatihan model, di mana model YOLOv8 dilatih menggunakan dataset yang terdiri dari gambar-gambar kecelakaan lalu lintas. Dalam tahap ini, parameter-parameter model disesuaikan dan dioptimalkan agar dapat mempelajari pola-pola penting dalam gambar kecelakaan.

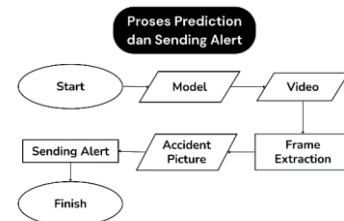
Tahap kedua adalah tahap prediksi dan analisis. Setelah model dilatih, model tersebut digunakan untuk memprediksi setiap frame video yang masuk dalam bentuk gambar per gambar. Dalam proses ini, model akan mengidentifikasi apakah terdapat kecelakaan atau tidak pada setiap gambar. Jika prediksi melebihi batas ambang tertentu (dalam penelitian ini 90%), gambar tersebut dianggap sebagai cuplikan kecelakaan.

Tahap terakhir adalah proses pengiriman laporan kepada pihak berwenang. Cuplikan kecelakaan yang terdeteksi akan dikirimkan sebagai laporan melalui aplikasi. Laporan ini memberikan informasi yang diperlukan kepada pihak

berwenang untuk segera mengambil tindakan yang diperlukan guna mengatasi situasi kecelakaan tersebut.



Gambar 2. Proses Training Model



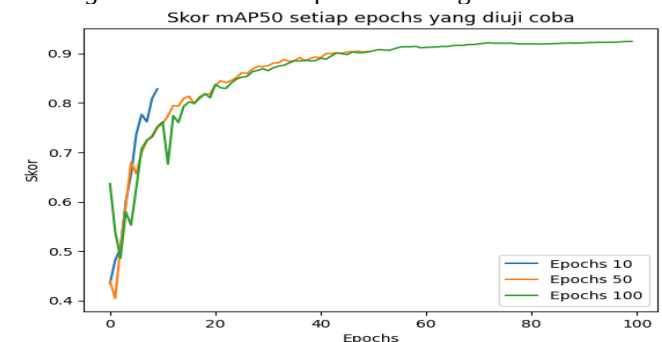
Gambar 3. Proses Prediction dan Sending Alert

IV. HASIL DAN ANALISIS EKSPERIMEN

A. Hasil

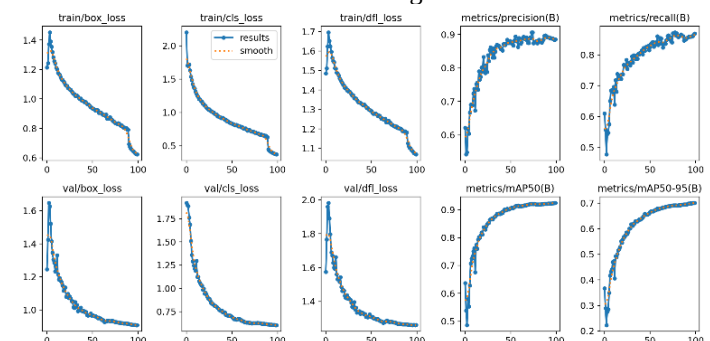
1) Model YOLOv8

Model ini dilatih dan divalidasi menggunakan tiga jumlah epochs yang berbeda, yaitu 10, 50, dan 100. Setelah dilakukan *training* dan *validation* didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 4. Skor mAP tiap epochs yang diuji coba

Dari hasil tersebut, dapat diamati bahwa jumlah epochs memiliki pengaruh signifikan terhadap skor mAP yang diperoleh. Semakin banyak jumlah epochs yang digunakan, skor mAP cenderung meningkat, yang menandakan peningkatan kinerja model dalam melakukan deteksi objek. Dalam kasus ini, model dengan 100 epochs menghasilkan skor mAP terbaik, yaitu 0.924430, menunjukkan nilai akurasi yang lebih tinggi dibanding model lain yang dilatih dengan jumlah epochs yang lebih rendah. Detail hasil model sebagai berikut.



Gambar 5. Grafik hasil dari training model

Dari grafik tersebut, dapat dilihat model terbaik yang didapat yaitu dengan epochs 100 yang dilatih menggunakan data yang ada telah menunjukkan hasil yang baik. Grafik tersebut menunjukkan pula adanya peningkatan performa model seiring dengan meningkatnya jumlah epochs pada proses pelatihan. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak iterasi pelatihan yang dilakukan, model menjadi lebih baik dalam mempelajari pola dan fitur objek, sehingga mampu memberikan prediksi yang lebih akurat. Selain dari grafik tersebut terdapat pula hasil dari gambar yang telah dilakukan *training* dan *validation*.



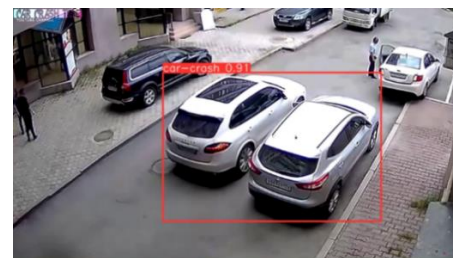
Gambar 6. Gambar hasil prediksi dari training model

Selain grafik hasil *training*, gambar hasil prediksi dari model yang dilatih (Gambar 5) juga menunjukkan performa yang cukup baik. Model dapat mendeteksi dan menandai objek dengan *bounding box* yang tepat, serta memberikan label kelas yang sesuai. Hal ini mengindikasikan bahwa model memiliki pemahaman yang baik tentang karakteristik objek yang ada dalam gambar.

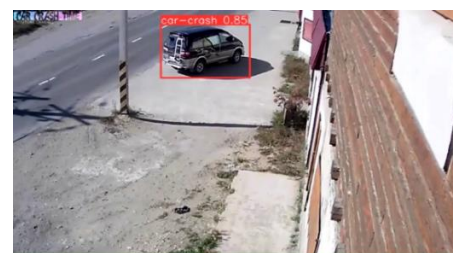
Meskipun model memiliki performa yang cukup baik, namun ketika model tersebut dites dengan menggunakan video yang berasal dari YouTube, model masih memiliki beberapa kesalahan beberapa diantaranya :

1. Model mendeteksi rumah sebagai *car-crash*: Model memperoleh kesalahan dalam mengklasifikasikan objek sebagai *car-crash*, di mana sebenarnya objek tersebut adalah sebuah rumah. Kesalahan semacam ini dapat terjadi ketika objek memiliki fitur yang mirip dengan kelas yang lain, sehingga model dapat mengalami kesulitan dalam membedakannya.
2. Model mendeteksi mobil yang berdekatan sebagai *car-crash*: Model dapat salah mengidentifikasi mobil yang berdekatan sebagai kecelakaan, padahal sebenarnya kedua mobil tersebut hanya berada dalam jarak yang dekat secara spasial. Hal ini menunjukkan bahwa model belum cukup sensitif terhadap perbedaan konteks dan kondisi sekitar objek.

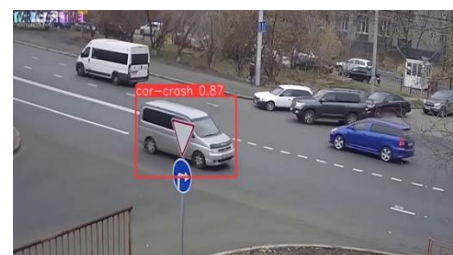
3. Model mendeteksi mobil yang sedang diam sebagai *car-crash*: Model terkadang dapat memprediksi mobil yang sedang diam sebagai kecelakaan. Hal ini menunjukkan bahwa model belum mampu memahami perbedaan antara mobil yang berhenti secara normal dengan kecelakaan yang sebenarnya.
4. Model mendeteksi mobil yang berjalan normal sebagai *car-crash*: Terkadang, model juga dapat memprediksi mobil yang sedang bergerak secara normal sebagai kecelakaan. Kesalahan semacam ini dapat terjadi jika model tidak dapat membedakan gerakan normal dari gerakan yang terkait dengan kecelakaan.
5. Model gagal mendeteksi adanya kecelakaan: Meskipun model memiliki performa yang baik dalam beberapa kasus, terdapat kegagalan dalam mendeteksi adanya kecelakaan pada beberapa frame video. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor seperti kompleksitas latar belakang, pencahayaan yang buruk, atau kecepatan frame yang tinggi.



Gambar 7. Model mendeteksi mobil yang berdekatan sebagai *car-crash*



Gambar 8. Model mendeteksi mobil yang sedang diam sebagai *car-crash*



Gambar 9. Model mendeteksi mobil yang sedang berjalan normal sebagai *car-crash*



Gambar 10. Model mendeteksi rumah sebagai *car-crash*



Gambar 11. Model gagal mendeteksi adanya kecelakaan

2) Aplikasi Crash Detection

Setelah menggunakan sampel video yang berasal dari YouTube untuk percobaan. Aplikasi berhasil mendeteksi beberapa *accident* yang terjadi dan memberikan laporan. Berikut adalah contoh pendeteksian dan pelaporan.



Gambar 12. Contoh laporan video terjadinya kecelakaan lalu lintas

Melalui contoh ini, aplikasi telah berhasil menunjukkan kemampuannya dalam mengambil data berupa video kejadian kecelakaan dalam video pengamatan CCTV lalu lintas dan memberikan laporan secara otomatis kepada pihak berwenang. Selain itu aplikasi juga berhasil mendapatkan lokasi, waktu kejadian dan koordinat kejadian. Keberhasilan aplikasi dalam mendeteksi kecelakaan dan memberikan laporan otomatis merupakan langkah penting dalam mengurangi tingkat kerusakan dan menyelamatkan korban kecelakaan lalu lintas di Indonesia. Dengan adanya sistem ini, penanganan kecelakaan dapat dilakukan dengan kecepatan dan efisiensi yang lebih tinggi, sehingga dapat mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan seperti kerugian ekonomi dan kemacetan lalu lintas.

Penerapan teknologi ini juga memberikan manfaat tambahan dalam pengumpulan data mengenai kecelakaan lalu lintas. Data tersebut dapat digunakan untuk menganalisis pola kecelakaan, mengidentifikasi lokasi-lokasi yang rawan kecelakaan, serta meningkatkan pemahaman tentang faktor penyebab kecelakaan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang masalah ini, pihak berwenang dapat mengambil langkah-langkah pencegahan yang lebih efektif dan mengimplementasikan solusi yang lebih cermat dalam rangka mengurangi jumlah kecelakaan yang terjadi.

B. Evaluasi

Meskipun model YOLOv8 memiliki hasil yang baik saat dilatih dan divalidasi dengan data yang ada, masih terdapat beberapa kesalahan dalam mendeteksi objek pada video yang diambil dari YouTube. Hal ini menunjukkan bahwa model perlu dioptimalkan untuk memberikan hasil yang memiliki akurasi dan konsistensi yang lebih baik lagi dalam mendeteksi kecelakaan. Evaluasi lebih lanjut, *fine-tuning*, dan analisis kesalahan yang lebih mendalam dapat membantu dalam meningkatkan performa model. Selain itu, pengumpulan data yang lebih representatif dan beragam juga dapat menjadi faktor

penting dalam meningkatkan kemampuan model dalam mendeteksi objek dengan lebih baik.

Selain itu perlu diperhatikan pula beberapa hal penting mengenai pengaplikasian aplikasi ini, Pertama, tata letak CCTV yang dipilih harus dipertimbangkan dengan baik, dengan memilih lokasi yang strategis untuk memaksimalkan cakupan pemantauan dan mendapatkan gambar yang jelas. Operator pemantauan juga harus terlatih dan memiliki pemahaman yang baik tentang fungsi aplikasi ini, sehingga mereka dapat secara efektif menganalisis prediksi kecelakaan dan mengambil tindakan yang sesuai. Komunikasi yang efektif antara operator pemantauan dan pihak berwenang, seperti satlantas atau paramedis, juga merupakan hal yang penting untuk memastikan respons cepat dalam situasi darurat.

V. KESIMPULAN

1. Model yang dihasilkan dapat mendeteksi adanya kecelakaan yang terjadi dengan menggunakan algoritma YOLOv8. Setelah dilakukan proses *training* dan *validation* didapat hasil model terbaik yang dilatih yaitu dengan epochs 100 dan skor mAP sebesar 0.924430
2. Data kecelakaan lalu lintas yang terdeteksi oleh model dapat diekstrak dari hasil prediksi. Setiap kali model mendeteksi kecelakaan dalam video lalu lintas, gambar-gambar yang merupakan hasil dari ekstraksi frame akan dihasilkan. Gambar-gambar ini kemudian dapat dikumpulkan dan dikomunikasikan ke pihak yang berwenang melalui Aplikasi Crash Detection. Hal ini memungkinkan pihak berwenang untuk segera mendapatkan informasi tentang kecelakaan yang terjadi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Badan Pusat Statistik," [www.bps.go.id](https://www.bps.go.id/indikator/17/513/1/jumlah-kecelakaan-korban-mati-luka-berat-luka-ringan-dan-kerugian-materi.html). <https://www.bps.go.id/indikator/17/513/1/jumlah-kecelakaan-korban-mati-luka-berat-luka-ringan-dan-kerugian-materi.html>
- [2] IBM, "Computer Vision," IBM, 2019. <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>
- [3] "Bertransportasi yang Selamat Kementerian Perhubungan Republik Indonesia," dephub.go.id. <https://dephub.go.id/post/read/bertransportasi-yang-selamat> (accessed Jun. 21, 2023).
- [4] "car-carshDetection Object Detection Dataset by class," [Roboflow](https://universe.roboflow.com/class-3ru9p/car-shdetection). <https://universe.roboflow.com/class-3ru9p/car-shdetection> (accessed Jul. 09, 2023).
- [5] D. Shah, "Mean Average Precision (mAP) Explained: Everything You Need to Know," www.v7labs.com. <https://www.v7labs.com/blog/mean-average-precision> (accessed Jul. 09, 2023).
- [6] N. K. Nissa, "Cara Kerja Object Detection dengan YOLO (You Only Look Once)," [Pacmann](https://pacmann.io), Mar. 23, 2023. <https://pacmann.io/blog/cara-kerja-object-detection-dengan-yolo#bagaimana-yolo-bekerja> (accessed Jul. 09, 2023).
- [7] Ultralytics, "YOLOv8," docs.ultralytics.com. <https://docs.ultralytics.com/models/yolov8/#overview> (accessed Jul. 09, 2023).
- [8] K. Wilianto, "Evaluation Metrics pada Computer Vision dari Klasifikasi hingga Deteksi Objek," [Data Folks Indonesia](https://medium.com), Oct. 22, 2021. <https://medium.com/data-folks-indonesia/evaluation-metrics-pada-computer-vision-dari-klasifikasi-hingga-deteksi-objek-5049d3fd90d2> (accessed Jul. 09, 2023).
- [9] M. Krishnakumar, "A Gentle Introduction to YOLOv8," [W&B](https://wandb.ai), Apr. 13, 2023. <https://wandb.ai/mukilan/wildlife-yolov8/reports/A-Gentle-Introduction-to-YOLOv8-Vmldzo0MDU5NDA2> (accessed Jul. 09, 2023).
- [10] A. Rahyagara, "Tutorial Deteksi Objek Menggunakan YOLO (You Only Look Once)," [Medium](https://medium.com), Sep. 20, 2018. <https://medium.com/@andikirahyagara/tutorial-yolo-you-only-look-once-for-absolutely-noob-c4d5f3751e1f>