

Implementasi Deteksi Real Time Klasifikasi Jenis Kendaraan Di Indonesia Menggunakan Metode YOLOV5

Dadang Iskandar Mulyana¹, M Ainur Rofik²

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, STIKOM CKI Cengkareng Jakarta
e-mail: mavhin2012@gmail.com¹, rofik.coboy@gmail.com²

Abstrak

Negara Indonesia mempunyai kepadatan penduduk yang sangat padat, terutama di kota-kota besar yang dimana jalan selalu dipadati oleh berbagai jenis kendaraan. Pada jam sibuk banyaknya kendaraan yang membuat kemacetan di jalan. Oleh karena itu dibutuhkan pembangunan pelebaran jalan untuk menampung kendaraan yang dipadati oleh berbagai jenis kendaraan yang melintas. Agar pembangunan pelebaran jalan yang tepat pada lokasi yang sering terjadinya kepadatan, maka dibutuhkan sistem pendeteksian jenis-jenis kendaraan yang melintas di jalan raya. Meningkatnya pada macam-macam penelitian tentang pengolahan citra digital diantaranya tentang pendeteksian objek, untuk klasifikasi deteksi jenis kendaraan di jalan raya. Pada penelitian ini penulis membuat sistem pendeteksian objek memakai metode YOLOV5 untuk mendeteksi jenis kendaraan di jalan raya. Penulis menggunakan dataset sebesar 1332 gambar dengan kelas bajaj, becak, bus, mobil, mobil molen, mobil pik'up, sepeda, sepeda motor, dan truk. Pada hasil penelitian menggunakan metode YOLOV5 yang dapat mengenali objek secara konsisten dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi dan memiliki nilai akurasi 90%.

Kata kunci: *Pengolahan Citra Digital, Deteksi Jenis Kendaraan , YOLOV5*

Abstract

Indonesia has a very dense population density, especially in big cities where the roads are always crowded with various types of vehicles. During peak hours, there are many vehicles that cause traffic jams. Therefore, it is necessary to build road widening to accommodate vehicles that are crowded by various types of passing vehicles. In order to develop proper road widening in locations where congestion often occurs, a system for detecting the types of vehicles that pass on the highway is needed. The increase in various kinds of research on digital image processing, including on object detection, for classification of detection of types of vehicles on the highway. In this study, the author makes an object detection system using the YOLOV5 method to detect the type of vehicle on the highway. The author uses a dataset of 1332 images with classes of bajaj, rickshaw, bus, car, molen car, pickup truck, bicycle, motorcycle, and truck. In the results of the study using the YOLOV5 method which can recognize objects consistently with a fairly high level of accuracy and has an accuracy value of 90%.

Keywords : *Digital Image Processing, Vehicle Type Detection, YOLOV5*

PENDAHULUAN

Di Indonesia, khususnya di kota-kota besar, tingkat pertumbuhan kendaraan sangat tinggi karena masyarakat lebih memilih menggunakan mobil dan motor pribadi daripada angkutan umum. Namun pertumbuhan kendaraan yang tinggi tidak dibarengi dengan pembangunan jalan yang memadai, sehingga banyak kendaraan dan jalan yang rusak menyebabkan kemacetan lalu lintas yang merugikan masyarakat. Oleh karena itu, perlu dibangun atau diperlebar jalan guna mengurangi kemacetan yang terjadi.

Seiring dengan berkembangnya penelitian tentang kecerdasan buatan salah satunya tentang pendeteksian objek, teknologi ini dapat membantu kita mengenali objek pada sebuah gambar. Pendeteksian objek adalah salah satu diantara bidang-bidang pada computer vision. Computer vision merupakan suatu ilmu yang mempelajari tentang seperti apa komputer dapat menganalisis dan melihat pada objek didalam gambar (Haryono et al. 2019).

Pendeteksian objek (*Object detection*) bermanfaat untuk mengenali dan mendeteksi objek pada sebuah gambar berdasarkan dari warna, bentuk, dan dari dataset yang dikumpulkan (Lin et al. 2020). Ada beberapa macam untuk membuat aplikasi pendeteksian objek, salah satunya adalah memakai metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dan metode *You Only Look Once* (YOLO) (You et al. 2019). Sistem pendeteksi metode YOLO terbukti lebih cepat dan akurat untuk mendeteksi objek pada gambar atau citra sehingga paling sesuai jika diterapkan untuk *real-time* pendeteksian objek pada video (Dasgupta, Bandyopadhyay, and Chatterji 2019).

Dalam *real-time* pendeteksian objek kecepatan sangat penting dalam pendeteksian objek dikarenakan berbeda pada sebuah gambar, pada suatu video dapat mengolah lebih dari 24 frame per second (FPS) atau 24 frame per detik. Jika proses pendeteksian objek terlalu lama maka video yang dihasilkan kurang baik, akan mengalami delay pada setiap frame sehingga video menjadi patah-patah (Ding et al. 2019)

Dengan menggunakan pendeteksian objek metode YOLO pada suatu sistem dapat membantu mengklasifikasi setiap jenis kendaraan yang melintas pada jalan raya secara *real-time* pada rekaman video (Khan, Nagori, and Naik 2020) . Jenis kendaraan yang melintas akan terdeteksi otomatis berdasarkan nilai hasil tingkat akurasi dan klasifikasi.

Pada pengamatan mengenai jenis kendaraan, penulis mengidentifikasi masalah

1. mendeteksi objek jenis-jenis kendaraan
2. menggunakan yolov5

Pada uraian diatas, peneliti dapat merumuskan permasalahannya adalah :

1. Bagaimana membuat sistem pendeteksian objek jenis-jenis kendaraan?
2. Bagaimana mendeteksi kendaraan menggunakan metode yolov5?

Tujuan dari penelitian ini yaitu dapat membuat sebuah sistem yang dapat mendeteksi jenis-jenis kendaraan di jalan raya menggunakan metode YOLOV5.

Menurut (Khan, Nagori, and Naik 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Helmet and Number Plate detection of Motorcyclists using Deep Learning and Advanced

Machine Vision Techniques “ Sistem pendeteksian ini menggunakan kerangka kerja deep learning YOLOV3 yang terdiri dari Convolutional Neural Networks yang dilatih pada Common Objects in Context (COCO) dan dikombinasikan dengan visi komputer dan menghasilkan akurasi sebesar 81%.

Menurut (Ivašić and Pobar 2019) dalam penelitiannya yang berjudul “ Human Detection in Thermal Imaging Using YOLO “ Hasil deteksi dibandingkan dengan kebenaran dasar sehingga untuk deteksi dihitung sebagai positif sejati, skor persimpangan atas penyatuan (IoU) kotak pembatas deteksi dan kotak pembatas kebenaran tanah yang sesuai harus setidaknya 50%.

Menurut (Al-Qudah and Suen 2019) dalam penelitiannya yang berjudul “ Enhancing YOLO Deep Networks for the Detection of License Plates in Complex Scenes ” Dalam karya ini kami mengusulkan solusi baru untuk meningkatkan jaringan YOLO yang sepenuhnya konvolusi dengan melatih dan menguji beberapa model dengan nilai hyperparameter yang berbeda. Dengan menggunakan metodologi ini, kami mencapai rasio recall 98,38.

Menurut (Asmara et al. 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “ Prediction of Traffic Density Using YOLO Object Detection and Implemented in Raspberry Pi 3b + and Intel NCS 2 “ Hasil penelitian sepenuhnya akurat karena nilai MAPE berada pada kisaran 7% hingga 14%. Dengan kata lain, tingkat akurasi pendeteksian mencapai rata-rata 81%.

Menurut (Benjelloun et al. 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “ The comparison between two methods of object detection: Fast Yolo model and Delaunay Triangulation “ Hasil penelitian pendeteksian memperoleh nilai presisi untuk model pertama 76,13%, dan untuk pendekatan kedua 50%. Jaringan saraf mengalami penyesuaian berlebihan jika kumpulan data terlalu kecil, yang berarti bahwa saya memiliki kinerja yang sangat baik dengan set pelatihan tetapi sangat kinerja yang buruk dengan set tes. Jadi sebagai perspektif, untuk meningkatkan presisi model Fast Yolo, kami berpikir untuk memperkaya basis pelatihan dan mengekstraksi karakteristik lain untuk meningkatkan model pada tingkat deteksi objek.

Menurut (Bin Zuraimi and Kamaru Zaman 2021) dalam penelitiannya yang berjudul “ Vehicle Detection and Tracking using YOLO and DeepSORT “ model terbaik antara model YOLO adalah Yolov4 yang telah mencapai hasil mutakhir dengan 82,08% AP50 menggunakan kumpulan data khusus dengan kecepatan waktu nyata sekitar 14 FPS aktif GTX 1660ti.

Menurut (Caballo and Aliac 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “ YOLO-based Tricycle Detection from Traffic Video “ Pelatihan model dilakukan pada citra becak, diekstraksi dari video lalu lintas aktual dari persimpangan terpilih dan kinerja model diukur dengan menggunakan presisi rata-rata sebesar 37,91%.

Menurut (Espinosa, Velastin, and Branch 2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Detection of Motorcycles in Urban Traffic Using Video Analysis: A Review“ Menjelaskan ukuran kinerja yang umumnya digunakan, kumpulan data yang tersedia untuk umum (memperkenalkan Kumpulan Data Sepeda Motor Perkotaan dengan hasil evaluasi kuantitatif sebesar 10% untuk berbagai detektor), membahas tantangan ke

depan dan menyajikan serangkaian kesimpulan dengan pekerjaan masa depan yang diusulkan di area yang berkembang.

Menurut (Hsu, Huang, and Han 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Collision Analysis to Motor Dashcam Videos With YOLO and Mask R-CNN for Auto Insurance” YOLO diterapkan untuk mendeteksi secara cepat jika terjadi kecelakaan. Masker R-CNN diterapkan untuk memeriksa apakah terjadi tabrakan dan objek mana yang ditabrak oleh pengendara sepeda motor.

Menurut (Jana, Biswas, and Mohana 2018) dalam penelitiannya yang berjudul “YOLO based Detection and Classification of Objects in video records” YOLO (You Only Look Once) berbasis deteksi dan pendekatan klasifikasi (YOLOv2) untuk meningkatkan komputasi dan kecepatan pemrosesan dan pada saat yang sama mengidentifikasi objek dalam rekaman video secara efisien.

Menurut (Ju, Luo, and Wang 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “An improved YOLO V3 for small vehicles detection in aerial images” Hasil eksperimen pada dataset VEDAI mendapat peningkatan dengan menggunakan YOLO V3 dengan mencapai nilai 70,3%.

Menurut (Li et al. 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “YOLO-ACN: Focusing on Small Target and Occluded Object Detection” hasil eksperimen kuantitatif menunjukkan bahwa dibandingkan dengan model canggih lainnya, YOLO-ACN yang diusulkan memiliki akurasi dan kecepatan tinggi dalam mendeteksi target kecil dan objek yang terhalang. YOLO-ACN mencapai mAP50 (presisi rata-rata rata-rata) 53,8% dan AP (presisi rata-rata untuk objek) sebesar 18,2% pada kecepatan waktu nyata 22 ms pada dataset MS COCO, dan mAP untuk satu kelas pada dataset KAIST bahkan mencapai lebih dari 80% pada NVIDIA Tesla K40.

Menurut (Kavitha and Nivetha 2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Pothole and Object Detection for an Autonomous Vehicle Using YOLO” Mendeteksi lubang di jalan India membantu kendaraan otonom untuk bergerak dengan mulus tanpa terkena lubang. Pada bagian dua dari metode yolo diimplementasikan pada Raspberry pi4 papan komputer tertanam yang populer mengeksplorasi kesesuaian untuk objek yang sedang berjalan.

Menurut (Ruifang, Tianyi, and Feng 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Lightweight face detection network improved based on YOLO target detection algorithm” Hasil percobaan menunjukkan bahwa model jaringan yang dirancang dalam makalah ini memaksimalkan kecepatan deteksi sambil memastikan bahwa akurasi deteksi adalah kurang lebih tidak berubah. Dibandingkan dengan YOLOV3 tradisional struktur jaringan, efisiensi deteksi sangat meningkat, dan sangat cocok untuk sistem deteksi wajah waktu nyata yang memiliki persyaratan tinggi untuk kecepatan deteksi.

Menurut (Tao, Hu, and Ouyang 2019) dalam penelitiannya yang berjudul “Research and Implementation of License Plate Location Based on Improved YOLO Algorithm” Dalam data tentang kendaraan bayonet kampus, dibandingkan dengan Single Shot MultiBox Detector (SSD) dan YOLOv2, algoritma YOLO yang ditingkatkan memiliki lokasi yang lebih baik akurasi dan waktu lokasi yang lebih sedikit. Mean Average Precision (mAP) dari DetNet59 yang ditingkatkan telah mencapai 99,79% dan

presisi (prec) sudah mencapai 99,97%. Untuk gambar berwarna dengan lebar 680 piksel, dan tinggi 480 piksel, waktu lokasi pelat nomor sekitar 47 milidetik (ms).

Menurut (Van et al. 2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Things in the air: tagging wearable IoT information on drone videos” Evaluasi eksperimental kami menunjukkan tingkat pengenalan 99,5% untuk berbagai jalur berjalan kaki, dan 98,6% ketika sudut kamera drone berada dalam 37°. Sejauh pengetahuan kami, ini adalah karya pertama yang mengintegrasikan video dari kamera drone dan data IoT dari sensor inersia.

Menurut (Wang, Wang, and Liu 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “X-YOLO: A deep learning based toolset with multiple optimization strategies for contraband detection” Untuk mengatasi masalah bahwa Intersection over Union (IoU) tidak dapat menangani dua objek yang tidak tumpang tindih, kami menerapkan Generalized Intersection over Union (GIoU) sebagai kotak pembatas kerugian. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa X-YOLO mencapai mAP hingga 96,02% dan mengingat hingga 98,55%, melampaui Faster RCNN, SSD, YOLOv1, YOLOv2, Tiny-YOLO, YOLOv3, YOLOv3-tiny, YOLOv3- spp dan YOLOv3 dengan beberapa strategi optimasi .

Menurut (Xie et al. 2020) dalam penelitiannya yang berjudul “FACE DETECTION IN VR GAMES” YOLOv5 efektif dan efisien dalam deteksi target tunggal setelah eksperimen. Deteksi wajah adalah pekerjaan awal dalam game VR, karena langkah pertama untuk menemukan wajah tentang pengalaman game VR melalui ekspresi wajah pengguna. Oklusi wajah manusia oleh helm VR menyebabkan hilangnya berbagai fitur wajah. Dalam skenario ini, sangat sulit bagi model tradisional untuk secara akurat menemukan wajah manusia.

METODE

Peneliti menggunakan Google Colab dan menerapkan metode YOLOV5. YOLO merupakan jaringan untuk mendeteksi objek sedangkan YOLOV5 adalah metode versi terbaru yang dikembangkan metode YOLO (Tan et al. 2021). Tugas pendeteksian objek untuk menentukan tempat pada sebuah gambar atau citra pada objek yang hadir dan mengklasifikasikan jenis objeknya. Jadi sederhananya ada sebuah gambar atau citra menjadi inputan, kemudian buat vektor kotak pembatas dan prediksi klas dalam outputnya (Wei, He, and Lu 2020).

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan dataset private yang dikumpulkan secara pribadi. Untuk mempersiapkan dataset dalam proses training peneliti memakai data yang didownload dari internet dan dari vidio yang diambil sendiri dan dalamnya terdapat gambar berbagai jenis kendaraan. Dataset yang dikumpulkan oleh peneliti sebanyak 1332 citra kendaraan yang terdiri dari data train 666 citra dan data val 666.

Tabel 1 Klas Dataset

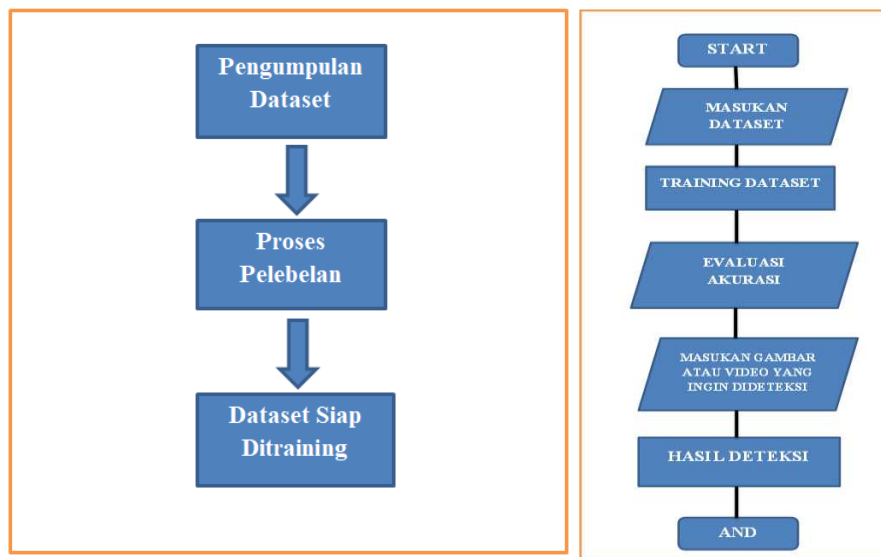
Klas	Train	Val	Definisi klas
------	-------	-----	---------------

Bajaj	70	70	Gambar berupa kendaraan bajaj
Becak	70	70	Gambar berupa kendaraan becak
Bus	70	70	Gambar berupa kendaraan bus
Mobil	80	80	Gambar berupa kendaraan mobil
Mobil molen	70	70	Gambar berupa kendaraan mobil molen
Mobil pik'up	70	70	Gambar berupa kendaraan mobil pik'up
sepedah	72	72	Gambar berupa kendaraan sepeda
Sepedah motor	82	82	Gambar berupa kendaraan sepeda motor
Truk	70	70	Gambar berupa kendaraan truk

Pengumpulan Dataset adalah proses pengumpulan citra berupa gambar atau image yang didapatkan dari google image dan video yang diambil di jalan raya.

Proses Pelebelan adalah tahap pada semua gambar pada dataset yang dikasih lebel agar dapat memuat nama gambar. Untuk pelebelan dilakukan dengan cara membuat nama klas dan bounding box dan pada setiap objek gambar. Kemudian lakukan perubahan ukuran gambar untuk meningkatkan akurasi metode YOLOV5 dalam pendeteksian.

Dataset siap ditraining merupakan dataset yang sudah melalui tahap sebelumnya dan sudah diberi lebel pada setiap citra. Dataset ini sudah siap digunakan pada google colab dan menggunakan metode YOLOV5. Dibawah ini adalah gambar proses pembuatan dataset:



Gambar 1 Kerangka Uji

Keterangan kerangka uji:

Masukan Dataset merupakan tahap untuk memasukan kumpulan citra jenis kendaraan yang diupload pada google colab. Tahap ini adalah tahap yang penting dikarenakan dataset harus benar-benar sedetail mungkin agar pendeteksian objek bisa stabil dan tinggi tingkat akurasi. Dataset yang digunakan adalah dataset jenis kendaraan yang sudah diberi label pada setiap gambarnya.

Setelah dataset yang dibuat untuk training terpenuhi. Langkah berikutnya yaitu mentraining data memakai sistem google colab. Training data dilakukan menggunakan google colab karena google colab memberikan GPU 12 GB dengan bantuan nvidia sehingga dapat membuat tahap training data bisa dilakukan dengan cepat.

Sesudah training data selesai, langkah selanjutnya yaitu pendeteksian objek dari banyaknya jarak dan sudut yang ditentukan. Setelah objek benar maka tahap selanjutnya melihat dan mencocokkan hasilnya. Jika, objek yang ada sudah terdeteksi sama jenis kendaraan yang ditraining maka proses training berhasil.

Tahap evaluasi akurasi merupakan tahap untuk melihat nilai akurasi hasil training pada dataset. Tahap ini pula mempunyai peranan yang penting dalam mendeteksi objek karena agar pendeteksian objek yang stabil harus mempunyai nilai akurasi yang tinggi. Untuk itu nilai akurasi pada pendeteksian objek perlu dievaluasi agar pendeteksian objek lebih stabil nilai akurasi pada sebuah gambar maupun video.

Tahap memasukan gambar atau video merupakan tahap memasukan sebuah gambar atau video yang akan diuji pendeteksian objek pada sebuah gambar atau video yang ingin dideteksi. Gambar yang digunakan dalam tahap ini adalah gambar jenis-jenis kendaraan di jalan raya maupun video yang diambil di jalan raya.

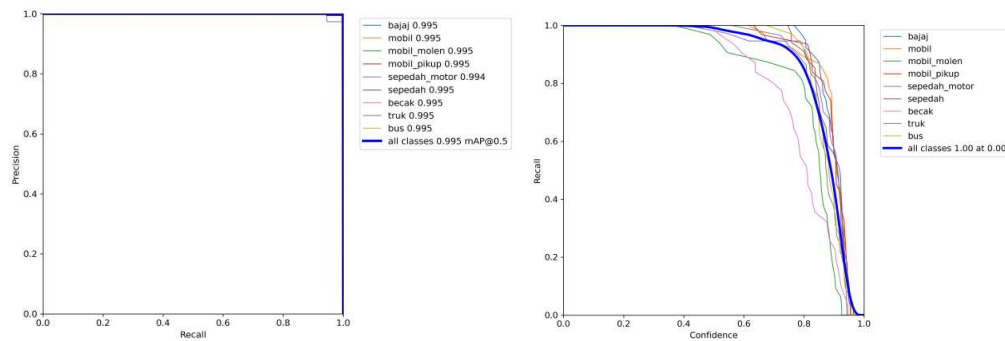
Hasil deteksi merupakan tahap dari hasil sebuah gambar atau video yang sudah diuji pendeteksian objek pada metode YOLOV5. Didalam hasil sebuah gambar atau video sudah terdeteksi sebuah objek jenis kendaraan dan terdapat nilai akurasi. Tahap ini tidak akan dapat terjadi bila dalam tahap kerangka uji salah satunya tidak dijalankan.

Untuk menentukan nilai akurasi dalam penelitian ini penulis menggunakan persamaan dibawah ini:

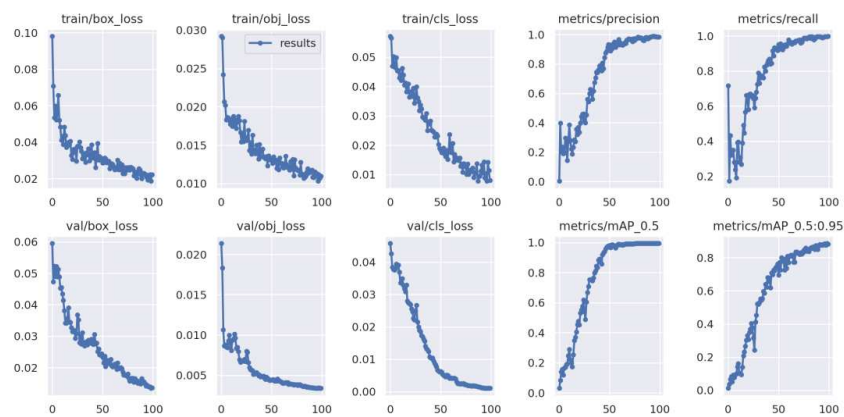
$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Prediksi Benar}}{\text{Jumlah Data}} \text{ Atau Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

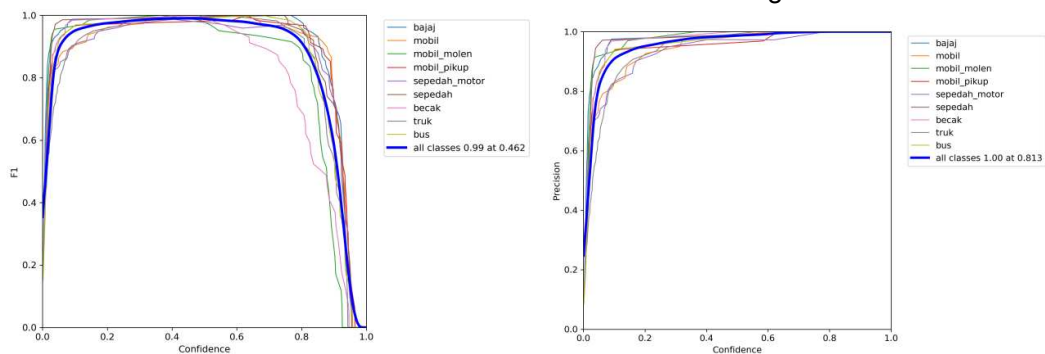
Hasil training pada penelitian pendeteksian jenis kendaraan di jalan raya mendapatkan nilai yang cukup tinggi nilainya, nilai precision mendapatkan rata-rata nilai 0.995 terhadap nilai recall. Nilai puncak rata-rata recall mendapatkan nilai 1,00 pada nilai confidence 0,00. Dibawah ini adalah nilai recall:



Gambar 2 Nilai Recall

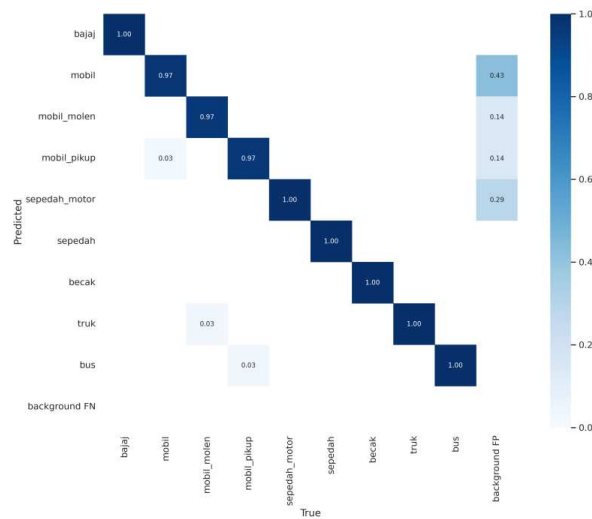


Gambar 3 Hasil Evaluasi Data Training



Gambar 4 Kurva nilai F1 dan precision terhadap nilai confidence

Pada gambar 4 diatas nilai F1 mendapatkan nilai puncak rata-rata 0,99 terhadap nilai confidence 0,462. Nilai precision mendapatkan nilai rata-rata 1,00 pada nilai confidence 0,813.



Gambar 5 Matrix Confusion

Untuk menghitung nilai akurasi dari matrix Confusion memakai persamaan dibawah ini:

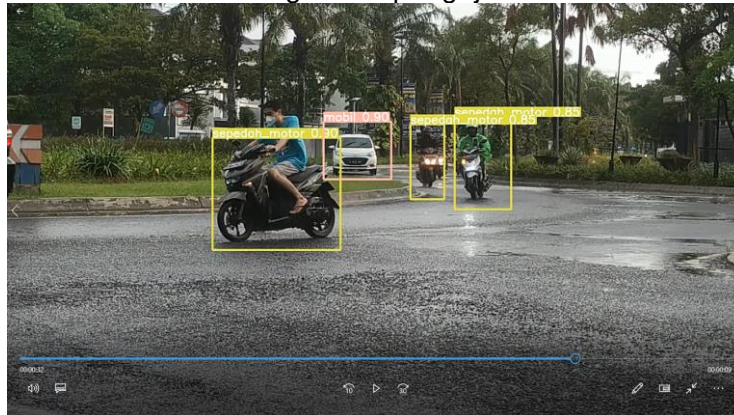
$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TN}} \\
 &= \frac{(1,00 + 0,97 + 0,97 + 0,97 + 1,00 + 1,00 + 1,00 + 1,00 + 1,00) + (0,003 + 0,003 + 0,003)}{(1,00 + 0,97 + 0,97 + 0,97 + 1,00 + 1,00 + 1,00 + 1,00 + 1,00) + (0,43 + 0,14 + 0,14 + 0,29) + (0) + (0,003 + 0,003 + 0,003)} \\
 &= \frac{8,91 + 0,009}{8,91 + 1,00 + 0 + 0,009} = 0,900 \text{ atau } 90\%
 \end{aligned}$$

Jadi pada penelitian pendeteksian jenis kendaraan ini mendapatkan nilai akurasi yang cukup tinggi yaitu nilai akurasinya adalah 0,900 atau 90%. Pendeteksian jenis kendaraan menggunakan metode YOLOV5 berjalan dengan lancar dan nilai akurasinya pun cukup tinggi. Dibawah ini adalah gambar pendeteksian jenis kendaraan:



Gambar 6 Pendeteksian Jenis Kendaraan

Pada pengujian pendeteksian vidio yang diambil juga mendapatkan nilai akurasi yang cukup tinggi juga dan didalam vidio pendeteksian jenis kendaraan dapat mendeteksi secara stabil. Berikut ini gambar pengujian deteksi vidio:



Gambar 7 Pengujian Deteksi Vidio Studi Kasus Pada Lokasi Citra 6

SIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan nilai akurasi saat pengujian mendapatkan nilai yang cukup baik yaitu sebesar 90% pada pendeteksian jenis kendaraan. Nilai akurasi dipengaruhi pada berbagai macam hal diantaranya kualitas vidio, kualitas dataset, dan pengambilan gambar diberbagai sudut. Model dataset dikumpulkan sebanyak mungkin dan bermacam-macam sudut maka semakin besar juga nilai akurasi yang dihasilkan. Hitungan area pada gambar juga mempengaruhi nilai akurasi, dikarenakan saat objek saling bertumpuk objek yang dibelakangnya tidak akan terdeteksi. Penulis menyarankan agar mendapat nilai akurasi dan convidence yang tertinggi maka sebaiknya menggunakan vidio yang mempunyai gambar yang jelas, dataset gambar yang jelas dan mempunyai banyak sudut pandang.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qudah, Rabiah, and Ching Y. Suen. 2019. "Enhancing Yolo Deep Networks for the Detection of License Plates in Complex Scenes." *ACM International Conference Proceeding Series*.
- Asmara, Rosa Andrie, Bimo Syahputro, Dodit Supriyanto, and Anik Nur Handayani. 2020. "Prediction of Traffic Density Using Yolo Object Detection and Implemented in Raspberry Pi 3b + and Intel Ncs 2." *4th International Conference on Vocational Education and Training, ICOVET 2020*: 391–95.
- Benjelloun, Fadwa et al. 2020. "The Comparison between Two Methods of Object Detection: Fast Yolo Model and Delaunay Triangulation." *2020 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision, ISCV 2020*.
- Caballo, Amie Rosarie, and Chris Jordan Aliac. 2020. "YOLO-Based Tricycle Detection from Traffic Video." *ACM International Conference Proceeding Series*: 12–16.
- Dasgupta, Madhuchhanda, Oishila Bandyopadhyay, and Sanjay Chatterji. 2019.

- “Automated Helmet Detection for Multiple Motorcycle Riders Using CNN.” *2019 IEEE Conference on Information and Communication Technology, CICT 2019*: 1–4.
- Ding, Caiwen et al. 2019. “REQ-YOLO: A Resource-Aware, Efficient Quantization Framework for Object Detection on FPGAs.” *FPGA 2019 - Proceedings of the 2019 ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays*: 33–42.
- Espinosa, Jorge E., Sergio A. Velastin, and John W. Branch. 2021. “Detection of Motorcycles in Urban Traffic Using Video Analysis: A Review.” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 22(10): 6115–30.
- Haryono, Asep, Sahid Bismantoko, Gilang Mantara Putra, and Tri Widodo. 2019. “Accuracy in Object Detection Based on Image Processing at the Implementation of Motorbike Parking on the Street.” *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Applied Engineering, ICAE 2019*: 0–4.
- Hsu, Hao Hsuan, Nen Fu Huang, and Chuan Hsiang Han. 2020. “Collision Analysis to Motor Dashcam Videos with YOLO and Mask R-CNN for Auto Insurance.” *Proceedings of International Conference on Intelligent Engineering and Management, ICIEM 2020*: 311–15.
- Ivašić, Marina, and Miran Pobar. 2019. “Human Detection in Thermal Imaging Using YOLO.” : 20–24.
- Jana, Arka Prava, Abhiraj Biswas, and Mohana. 2018. “YOLO Based Detection and Classification of Objects in Video Records.” *2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, RTEICT 2018 - Proceedings*: 2448–52.
- Ju, Moran, Haibo Luo, and Zhongbo Wang. 2020. “An Improved YOLO V3 for Small Vehicles Detection in Aerial Images.” *ACM International Conference Proceeding Series*.
- Kavitha, R., and S. Nivetha. 2021. “Pothole and Object Detection for an Autonomous Vehicle Using YOLO.” *Proceedings - 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2021 (Iciccs)*: 1585–89.
- Khan, Fahad A., Nitin Nagori, and Ameya Naik. 2020. “Helmet and Number Plate Detection of Motorcyclists Using Deep Learning and Advanced Machine Vision Techniques.” *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2020*: 714–17.
- Li, Yongjun et al. 2020. “YOLO-ACN: Focusing on Small Target and Occluded Object Detection.” *IEEE Access* 8.
- Lin, Hanhe, Jeremiah D. Deng, Deike Albers, and Felix Wilhelm Siebert. 2020. “Helmet Use Detection of Tracked Motorcycles Using CNN-Based Multi-Task Learning.” *IEEE Access* 8(3): 162073–84.
- Ruifang, Zhang, Ji Tianyi, and Dong Feng. 2020. “Lightweight Face Detection Network Improved Based on YOLO Target Detection Algorithm.” *ACM International Conference Proceeding Series*: 415–20.
- Tan, Shilei, Gonglin Lu, Ziqiang Jiang, and Li Huang. 2021. “Improved YOLOv5 Network

- Model and Application in Safety Helmet Detection.” *ISR 2021 - 2021 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics*: 330–33.
- Tao, Jianmin, Weiping Hu, and Jiabin Ouyang. 2019. “Research and Implementation of License Plate Location Based on Improved YOLO Algorithm.” *ACM International Conference Proceeding Series*.
- Van, Lan-Da et al. 2021. “Things in the Air: Tagging Wearable IoT Information on Drone Videos.” *Discover Internet of Things* 1(1). <https://doi.org/10.1007/s43926-021-00005-8>.
- Wang, Haoyue, Wei Wang, and Yao Liu. 2020. “X-YOLO: A Deep Learning Based Toolset with Multiple Optimization Strategies for Contraband Detection.” *ACM International Conference Proceeding Series*: 127–32.
- Wei, Runchen, Ning He, and Ke Lu. 2020. “YOLO-Mini-Tiger: Amur Tiger Detection.” *ICMR 2020 - Proceedings of the 2020 International Conference on Multimedia Retrieval*: 517–24.
- Xie, Tianhua et al. 2020. “FACE DETECTION in VR GAMES.” *ACM International Conference Proceeding Series* (2): 7–10.
- You, Lei et al. 2019. “Small Traffic Sign Detection and Recognition in High-Resolution Images.” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 11518 LNCS: 37–53.
- Bin Zuraimi, Muhammad Azhad, and Fadhlan Hafizhelmi Kamaru Zaman. 2021. “Vehicle Detection and Tracking Using YOLO and DeepSORT.” *ISCAIE 2021 - IEEE 11th Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics*: 23–29.