

Intelligent Driver System Based on Convolutional Neural Network for Detecting Unsafe Driving Conditions

Intelligent Driver System Berbasis Convolutional Neural Network untuk Deteksi Kondisi Tidak Aman Berkendara

Prawira Aditama Putra¹⁾, Yunianita Rahmawati²⁾, Rohman Dijaya³⁾, Sumarno⁴⁾,

¹⁾Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

³⁾Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁴⁾Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: yunianita@umsida.ac.id

Abstract. This research addresses the high rate of traffic accidents caused by unsafe driving conditions, such as drowsiness, phone use, and smoking. The objective was to design and develop an intelligent system capable of detecting these unsafe conditions in real-time. The system was developed using a Convolutional Neural Network (CNN) and the You Only Look Once (YOLO) algorithm, specifically comparing versions 5, 8, and 11. A public dataset from Roboflow, containing 7,711 images across seven categories of driver behavior, was used for training the models. The models were trained for up to 200 epochs on the Kaggle platform. Results showed that YOLOv11 achieved the highest performance, with an mAP50 score of 0.8166. The implemented prototype successfully detected unsafe behaviors in real-time and triggered an alarm system. The research concludes that the YOLOv11-based system is effective, though future improvements are needed to enhance detection accuracy for diverse driver appearances, such as those wearing a hijab.

Keywords - Driver Detection System; Unsafe Conditions; Convolutional Neural Network; YOLO

Abstrak. Penelitian ini dilatarbelakangi tingginya angka kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh kondisi berkendara tidak aman, seperti mengantuk, penggunaan telepon genggam, dan merokok. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengembangkan sebuah sistem cerdas yang mampu mendeteksi berbagai kondisi tidak aman tersebut secara real-time. Sistem dikembangkan menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) dengan algoritma You Only Look Once (YOLO), dengan membandingkan versi 5, 8, dan 11. Dataset publik dari Roboflow yang terdiri dari 7.711 gambar dengan tujuh kategori perilaku pengemudi digunakan untuk melatih model. Proses pelatihan model dilakukan hingga 200 epoch di platform Kaggle. Hasil penelitian menunjukkan bahwa YOLOv11 memberikan performa terbaik dengan skor mAP50 sebesar 0,8166. Prototip yang diimplementasikan berhasil mendeteksi perilaku tidak aman secara real-time dan mengaktifkan sistem alarm. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem berbasis YOLOv11 efektif, namun pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan akurasi deteksi pada pengemudi dengan penampilan yang beragam, seperti pengguna hijab.

Kata Kunci - Sistem Deteksi Pengemudi; Kondisi Tidak Aman; Convolutional Neural Network; YOLO

I. PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas menjadi salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia, dengan faktor pengemudi menjadi penyebab utama. Kondisi tidak aman seperti mengantuk, kelelahan, penggunaan telepon genggam, dan merokok saat berkendara secara signifikan mengurangi konsentrasi dan waktu reaksi pengemudi, yang dapat berakibat fatal. Hal ini menjadi perhatian serius, terutama bagi perusahaan yang menargetkan *zero accident* dalam operasional bisnisnya [1], [2], [3].

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital, khususnya CNN, telah menunjukkan potensi besar dalam berbagai bidang, termasuk deteksi keselamatan kerja dan kesehatan [4], [5], [6]. Beberapa penelitian terdahulu telah memanfaatkan CNN dengan model YOLO untuk mendeteksi rasa kantuk (*drowsiness*) pada pengemudi dengan tingkat akurasi yang tinggi, mencapai 95% hingga 99.5%. Penelitian lain juga mengintegrasikan deteksi kantuk dengan sensor tambahan seperti sensor alkohol dan detak jantung untuk memperluas cakupan deteksi bahaya [1], [7], [8].

Namun, dari penelitian yang ada, ditemukan celah bahwa penilaian kondisi tidak aman seringkali hanya berfokus pada variabel mengantuk. Padahal, terdapat keadaan lain yang juga berbahaya seperti manguap, distraksi, dan

merokok yang umum terjadi. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan model YOLO hingga versi 8. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan merancang dan mengembangkan sebuah *Intelligent Driver System* yang mampu mendeteksi lebih banyak variabel kondisi tidak aman, yaitu *awake*, *drowsy*, *smoking*, *phone*, *distracted*, *yawn*, dan *head-drop*. Sistem ini akan dikembangkan menggunakan model YOLO terbaru, yaitu YOLOv11, untuk mendapatkan performa deteksi yang lebih cepat dan akurat dibandingkan versi sebelumnya. Sistem ini adalah sistem peringatan berbasis inputan citra digital pengemudi mobil yang didapat dari camera atau Webcam lalu diproses deteksi menggunakan model YOLO yang sudah dilatih menggunakan gambar kondisi-kondisi tidak aman sebelumnya, apabila terdeteksi maka alarm akan menyala.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan Model Yolo yang dibuat dari algoritma CNN (*Convolutional Neural Networks*). Model Yolo tersebut akan di *Training* menggunakan Dataset yang berisikan foto-foto kondisi tidak aman berkendara dan dilabeli sesuai kondisinya. Hasil dari *Train* tersebut akan digunakan untuk deteksi cepat menggunakan perangkat webcam pada uji coba penerapan saat mengendarai mobil, diharapkan dari hasil memiliki nilai presisi yang tinggi dan dapat mendeteksi secara cepat.

1. Dataset



Gambar 1. Preview Dataset [9]

Gambar 1 adalah preview dari Dataset yang akan digunakan. Model dilatih menggunakan dataset publik *open-source* dari Roboflow.com bernama "*Drowsiness Computer Vision Project*" [9]. Dataset ini terdiri dari 7.711 gambar yang telah dianotasi dengan tujuh label kondisi: *awake*, *drowsy*, *smoking*, *phone*, *distracted*, *yawn*, dan *head-drop*. Gambar-gambar dalam dataset ini diambil dari berbagai sudut dan kondisi pencahayaan (siang dan malam) kegiatan pengemudi mobil laki-laki maupun perempuan untuk meningkatkan akurasi model. Selain foto kegiatan mengemudi dari berbagai sisi, Dataset juga berisi gambar berbagai macam benda seperti *smartphone* ataupun rokok untuk tambahan deteksi agar lebih lengkap.

Sebelum pelatihan, semua gambar diubah ukurannya menjadi 640x640 piksel untuk memudahkan proses Training, gambar yang diambil dari Roboflow merupakan gambar yang sudah mempunyai file notasi, sehingga pada saat *Training*, Dataset tinggal di importkan tanpa melakukan pengeditan notasi, seperti pada Gambar 1, review notasi bisa dilihat di Gambar 1, dimana dari gambar utuh, terdapat batasan berupa segi empat yang tampak menyala, sebagai tanda bahwa area tersebut merupakan area notasi gambar yang dilabeli.

2. Pelatihan Model

Algoritma utama yang digunakan adalah YOLO, sebuah sistem deteksi objek *real-time* berbasis CNN yang dikenal karena kecepatan dan akurasi yang tinggi [10]. Penelitian ini membandingkan tiga versi YOLO: v5, v8, dan v11. Pelatihan model dilakukan di platform Kaggle dengan konfigurasi sebagai berikut:

Tabel 1. Konfigurasi Pelatihan Model

Konfigurasi Pelatihan Model	Keterangan
Epoch	200
Resolusi Gambar	640 x 640
GPU	Nvidia P100
Versi Yolo	5, 8 dan 11
Platform	Kaggle
Jumlah Gambar Train	7.710
Jumlah Gambar Test	571

Kinerja setiap model dievaluasi menggunakan metrik standar seperti *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *mean Average Precision* (mAP).

Recall adalah satuan rasio dari jumlah total contoh positif yang diklasifikasikan dengan benar dibagi dengan jumlah total contoh positif. *Recall* yang tinggi menunjukkan bahwa kelas dikenali dengan benar (FN Sedikit). Berikut persamaan dari recall :

$$Recall = TP / TP + FN \quad (1)$$

Skor presisi didapatkan dengan membagi jumlah total contoh positif yang akan diklasifikasikan dengan benar, dengan jumlah total contoh positif yang akan diprediksi, seperti berikut :

$$Presisi = TP / TP + FP \quad (2)$$

Dimana *True Positive* (TP) merupakan nilai aktual bernilai positif dan diprediksi positif juga, sedangkan *True Negatif* (TN) merupakan nilai aktual bernilai negatif dan diprediksi negatif juga. *False Positif* (FP) merupakan nilai aktual bernilai negatif tetapi diprediksi positif, sedangkan *False Negatif* (FN) merupakan nilai aktual bernilai positif tetapi diprediksi negatif.

Kondisi dimana *Recall* tinggi dan *Presisi* rendah artinya sebagian besar contoh positif dikenali dengan benar (FN rendah) tetapi ada banyak positif palsu (FP tinggi). Sedangkan kondisi *Recall* rendah dan *Presisi* tinggi artinya kehilangan banyak contoh positif (FN tinggi) dengan nilai positif palsu yang sedikit (FP Rendah). *F1 score* merupakan perbandingan rata-rata presisi dan recall yang dibobotkan sesuai dengan persamaan 3.

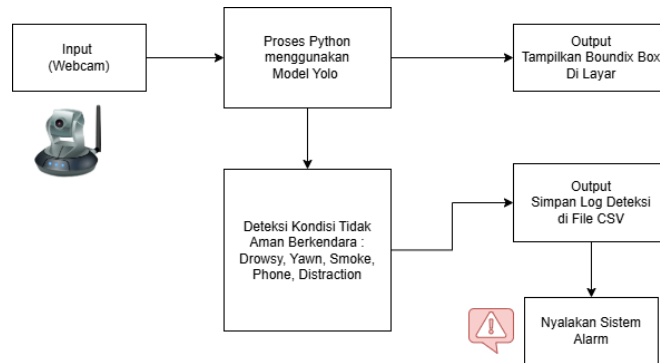
$$F1 \text{ score} = 2 \times (Recall \times precision) / (Recall + precision) \quad (3)$$

Intersection over Union (IoU) merupakan metrik evaluasi untuk mengukur keakuratan detektor objek pada dataset tertentu. IoU dapat digunakan dengan ketentuan memiliki ground-truth bounding box pada *Dataset* objek dan juga prediksi *bounding box* pada *Dataset* objek. IoU merupakan perbandingan antara *ground-truth bounding box* dengan *predicted bounding box* pada Model.

mean Average Precision (mAP) merupakan nilai rata-rata dari *Average Precision* (AP) yang membentuk metrik evaluasi untuk mengukur kinerja dari sebuah deteksi objek.

3. Desain Sistem Deteksi

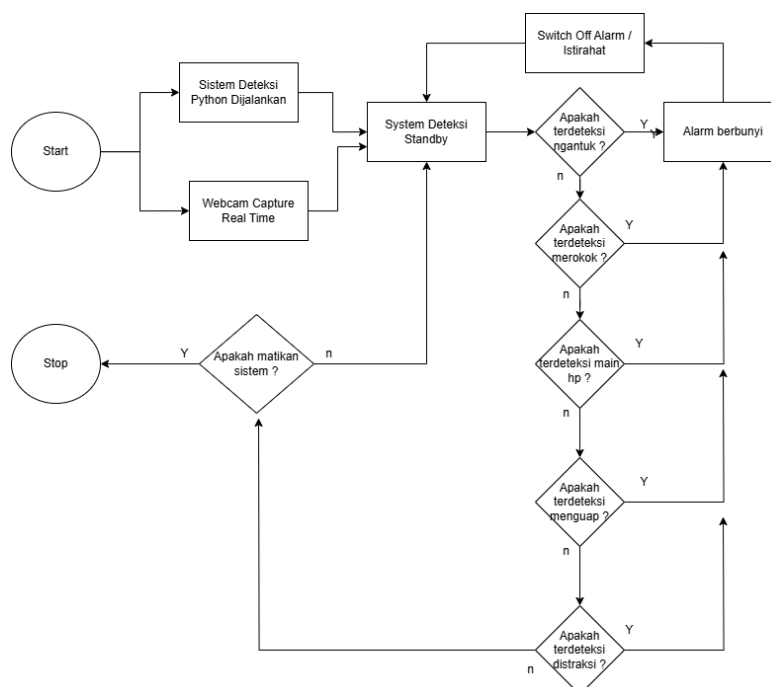
Sistem deteksi dirancang untuk beroperasi secara *real-time* sehingga diharapkan bisa memberikan peringatan dengan cepat dan akurat apabila terjadi kondisi yang tidak aman. Alur kerja sistem dapat dilihat pada diagram berikut :



Gambar 2. Diagram Sistem Skenario Penelitian

Gambar 2 menjelaskan tentang desain sistem diagram untuk skenario penelitian berupa blok input proses output, berikut ini penjelasan detailnya :

- Input:** Sebuah webcam (Logitech C170) yang diletakkan di dasbor mobil merekam wajah pengemudi secara terus-menerus. Webcam ini akan berperan sebagai input utama untuk menangkap citra digital dari pengemudi mobil.
- Proses:** Gambar dari webcam diolah oleh laptop (Lenovo L13) yang menjalankan skrip Python 3.11. Skrip ini menggunakan model YOLO (versi terbaik dari hasil pelatihan) untuk mendeteksi kondisi tidak aman. Proses di Python akan mendeteksi variabel yang tidak aman, yang akan dilanjutkan pada output.
- Output:** Hasil deteksi ditampilkan di layar dengan *bounding box* di sekitar wajah pengemudi beserta label kondisi yang terdeteksi. Jika kondisi tidak aman terdeteksi secara akumulatif selama 10 detik dalam periode 1 menit, sistem akan menyalakan alarm suara dan visual. Log deteksi juga disimpan dalam file CSV untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 3. Flowchart Sistem Deteksi Tidak Aman Berkendara

Pada Gambar 3, yaitu flowchart sistem deteksi tidak aman berkendara, merupakan gambar desain alur perancangan dalam pembuatan sistem, dengan pendekatan deteksi citra digital secara *looping* terus menerus, *real-time* dan akan selalu melakukan pengecekan kondisi-kondisi tidak aman. Pada saat start system, script Python secara paralel akan mengaktifkan kamera dari Webcam serta melakukan pendeteksian dari *capture* gambar yang didapatkan (*standby* deteksi) sampai ada pergerakan didepan kamera yang terdeteksi. Selanjutnya gambar akan diproses dengan Model

Yolo yang sudah dibuat, apabila terdapat gambar yang cocok dengan salah satu variabel tidak aman, alarm akan tertampil dan bunyi untuk notifikasi ke pengendara, setelah itu pengemudi melakukan switch of alarm untuk mematikan alarm yang berbunyi. Selanjutnya sistem akan kembali ke posisi standby sampai pengguna mematikan atau menutup program secara manual.



Gambar 4. User Interface

Gambar 4 merupakan rancangan *User Interface* yang akan dipakai dalam penelitian ini menggunakan metode penampil *bounding box*, yaitu kotak berwarna kontras untuk memudahkan fokus pada objek yang dideteksi. Objek yang akan di ambil citra digital adalah gambar pengemudi mobil dari sisi depan atau memperlihatkan sisi wajah, tampilan ini merupakan tampilan dari Webcam yang ditaruh di dashbor mobil mengarah ke supir. Seperti pada Gambar 4, apabila supir mengantuk maka akan muncul kotak disekitar wajah pengemudi untuk memperlihatkan bahwa kondisi tidak aman sudah terdeteksi.

Apabila dalam jangka waktu tertentu kondisi tidak aman muncul, terdapat alarm yang akan muncul dan memberikan pesan keselamatan untuk segera menepi untuk beristirahat. Keterangan tambahan untuk melakukan reset, yaitu menekan tombol di keyboard untuk reset tampilan dan reset deteksi tidak aman. Tampilan yang keluar akan berbentuk window, bisa diclose menggunakan tombol X untuk stop program yang berjalan.

Pengujian Model Yolo akan dilaksanakan secara *live detection*, yaitu program akan dinyalakan dan terdapat kegiatan mengemudi mobil secara langsung ditempat yang aman, dengan mempraktekkan variabel kondisi yang tidak aman. Hasil *live detection* akan direkam menggunakan video tangkapan layar untuk merekam proses deteksi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan Kinerja Model

Proses pelatihan untuk ketiga model (YOLOv5, v8, dan v11) dihentikan sebelum mencapai 200 epoch karena performa telah mencapai titik optimalnya. Tabel 1 merangkum hasil perbandingan metrik dari ketiga model.

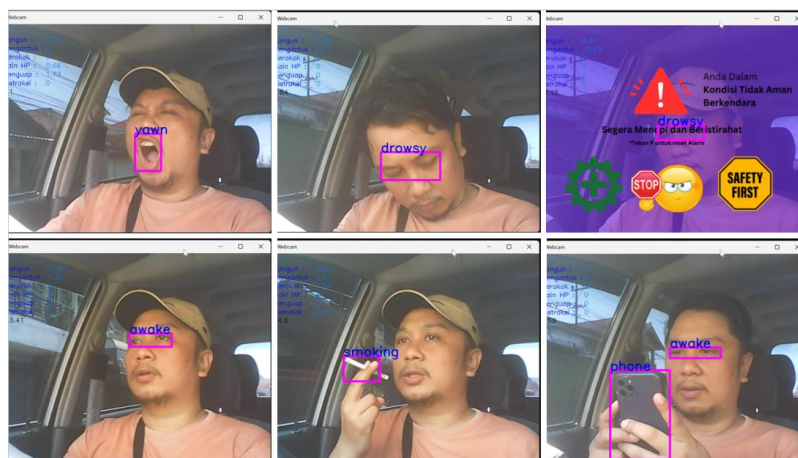
Tabel 2. Hasil *Training* Pada 3 Model Yolo

Metrik	YOLOv11	YOLOv8	YOLOv5
mAP50	0,8166	0,804	0,810
mAP50-95	0,529	0,525	0,526
Precision	0,8186	0,812	0,817
Recall	0,7723	0,769	0,763
F1-Score	0.79	0.79	0.79
Epoch Optimal	170	180	150

Dari Tabel 2, YOLOv11 menunjukkan keunggulan pada hampir semua metrik utama seperti mAP50, mAP50-95, *precision*, dan *recall*. Meskipun selisihnya tidak terlalu besar, hasil ini mengonfirmasi bahwa YOLOv11 memberikan performa terbaik untuk dataset ini. Semua model menunjukkan penurunan *training loss* dan *validation loss* yang konsisten, menandakan proses pelatihan berjalan baik. Dari metrik mAP maupun MAP50-95 memiliki nilai > 0.5 , sehingga bisa disebutkan bahwa kemampuan model untuk deteksi sudah mencukupi [11] dan bisa digunakan untuk deteksi kondisi tidak aman berkendara. Berdasarkan hasil ini, model YOLOv11 dipilih untuk implementasi pada sistem deteksi *real-time*.

B. Uji Coba Sistem Deteksi

Sistem diuji coba secara langsung di dalam mobil yang sedang berjalan. Sebuah webcam dipasang di dasbor untuk merekam pengemudi, sementara laptop memproses video secara *real-time*. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi semua variabel kondisi tidak aman yang telah ditentukan, seperti menguap (*yawn*), mengantuk (*drowsy*), merokok (*smoking*), dan menggunakan telepon (*phone*) dengan akurat dan hampir tanpa jeda.



Gambar 5. Hasil Deteksi Langsung Saat Berkendara dan Alarm

Dalam Gambar 5, terdapat beberapa cuplikan gambar ketika kondisi tidak aman terdeteksi. Seperti pada saat *bounding box* mendeteksi *yawn* atau menguap, akan memberi kotak ungu disekitar bagian mulut. Begitu juga pada saat *drowsy* atau mengantuk, *smoking* atau merokok, dan *phone* untuk bermain *handphone*. Untuk deteksi aman adalah pada variabel *awake* atau bangun, merupakan kondisi yang dideteksi bahwa pengemudi fokus ke depan dan posisi aman. Pada kiri atas di sistem deteksi terdapat daftar variabel yang diteliti yaitu : bangun, mengantuk, merokok, main hp, distraksi, menguap. Pada awalnya nilai variabel tersebut adalah 0, seiring berjalannya waktu apabila terjadi kondisi tidak aman, maka angka tiap variabel akan bertambah sesuai dengan waktu kondisi tidak aman tersebut berjalan, juga ada counter detik untuk melihat berapa lama program berjalan. Ketika kondisi tidak aman terdeteksi melebihi ambang batas waktu yang ditentukan (akumulasi 10 detik dalam 1 menit), sistem berhasil mengaktifkan alarm peringatan berupa suara dan tampilan visual yang menyarankan pengemudi untuk beristirahat ataupun berhenti. Alarm ini akan muncul dan memberikan notifikasi berupa gambar *overlay* untuk berhenti atau beristirahat sejenak dan memainkan musik alarm yang akan muncul terus. Untuk mereset alarm ini, dibuatkan tombol reset di keyboard yaitu dengan mengklik keyboard pada huruf “P”.

Bounding box berhasil menyala, mendeteksi gerakan yang tidak aman, menghitung dan menyimpan waktu tidak aman, bahkan terdapat deteksi kondisi tidak lebih dari 1 menunjukkan bahwa program berjalan normal dan berhasil mendeteksi secara cepat dan akurat.

Tabel 3. Hasil Deteksi Dari Skenario Yang Berbeda

No	Peraga	Waktu	Rata-Rata <i>Confidence</i>
1	A1	Sore	0.6235
2	B1	Sore	0.4213
3	B2	Malam	0.4421
4	B1	Malam	0.4948
5	B1	Pagi	0.3790
6	A2	Sore	0.5976
7	B2	Sore	0.6016
8	A1	Pagi	0.5976
9	A1	Malam	0.5326

Dari tabel 3, pengujian dilakukan diberbagai skenario, peneliti menggunakan sample peraga yang berbeda – beda dalam kondisi waktu dan cahaya yang berbeda. Hasilnya untuk beberapa skenario mempunyai angka rata-rata *confidence* yang bagus, tetapi mulai menurun ketika dalam cahaya yang kurang seperti pada malam hari dan pagi hari. Namun, selama pengujian dengan beberapa peraga yang berbeda, ditemukan sebuah kelemahan. Akurasi deteksi (nilai *confidence*) menurun secara signifikan ketika peraganya adalah wanita yang mengenakan hijab. Rata-rata nilai *confidence* untuk peraga berhijab memiliki nilai terbawah. Hal ini disebabkan oleh minimnya representasi gambar wanita berhijab dalam dataset pelatihan, sehingga model kurang optimal dalam mengenali fitur wajah yang sebagian tertutup. Sementara untuk model laki-laki masih memiliki skor rata-rata *confidence* yang lebih bagus walaupun pada malam hari.

IV. SIMPULAN

Intelligent Driver System berbasis *Convolutional Neural Network* telah berhasil dirancang dan dikembangkan untuk mendeteksi berbagai kondisi tidak aman saat berkendara. Sistem ini mampu mengidentifikasi tujuh variabel bahaya secara *real-time* dan mengaktifkan alarm peringatan secara efektif.

Dari perbandingan tiga model YOLO, YOLOv11 menunjukkan performa terbaik dengan skor *precision*, *recall*, dan mAP tertinggi, sehingga dipilih untuk implementasi sistem. Meskipun sistem berjalan dengan baik, penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu akurasi yang lebih rendah saat mendeteksi pengemudi wanita yang mengenakan hijab karena kurangnya variasi data pada dataset pelatihan.

Untuk pengembangan di masa depan, disarankan untuk menambah jumlah dan variasi data pelatihan, khususnya gambar pengemudi wanita berhijab dan kondisi malam hari, untuk meningkatkan akurasi dan keandalan model. Selain itu, implementasi sistem pada perangkat yang lebih ringkas dan efisien seperti mini PC (misalnya Raspberry Pi) dapat dipertimbangkan agar tidak mengganggu dasbor dan pandangan pengemudi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, penulis akhirnya dapat menyelesaikan penyusunan laporan ini. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S-1) pada Program Studi Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

Selama proses penyusunan laporan, penulis telah menerima banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan tulus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Seluruh jajaran dosen Program Studi Informatika Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan yang tak ternilai selama masa perkuliahan.
2. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moril, maupun materiil yang tiada henti.
3. Istri tersayang karena sudah mengijinkan kuliah S1 lagi, serta anak perempuan kami yang masih berumur 1 tahun yang memberi kekuatan saya untuk bersegera menyelesaikan pendidikan.
4. Sahabat dan rekan-rekan seperjuangan RPL Informatika 2024 yang telah memberikan semangat, bantuan, dan menjadi teman diskusi selama ini.

5. Semua pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan di masa mendatang. Akhir kata, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

REFERENSI

- [1] Y. X. Chew, S. F. A. Razak, S. Yogarayan, and S. N. M. S. Ismail, "Dual-Modal Drowsiness Detection to Enhance Driver Safety," *Computers, Materials and Continua*, vol. 81, no. 3, pp. 4397–4417, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.056367.
- [2] World Health Organization, "Global action plan on physical activity 2018–2030: more active people for a healthier world," 2018. Accessed: Apr. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514187>
- [3] B. Kanigoro and B. Asdyo, "Facial Landmark and YOLOv5 Drowsiness Detection System," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 548–554. doi: 10.1016/j.procs.2024.10.281.
- [4] T. Abuzairi, Nurdina Widanti, Arie Kusumaningrum, and Yeni Rustina, "Implementasi Convolutional Neural Network Untuk Deteksi Nyeri Bayi Melalui Citra Wajah Dengan YOLO," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 4, pp. 624–630, Aug. 2021, doi: 10.29207/resti.v5i4.3184.
- [5] M. C. Bonfante, I. H. Ruiz, J. C. Montes, E. A. Rodríguez, and A. Cama-Pinto, "Detection of elements of personal safety for the prevention of accidents at work with convolutional neural networks," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 14, no. 5, pp. 5824–5833, Oct. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i5.pp5824-5833.
- [6] A. C. F. Lanyak, A. Prasetyadi, H. B. Widodo, M. H. Ghani, and A. Athallah, "Dental caries detection using faster region-based convolutional neural network with residual network," *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, vol. 13, no. 2, pp. 2025–2033, Jun. 2024, doi: 10.11591/ijai.v13.i2.pp2027-2035.
- [7] S. Giridhar *et al.*, "An Intelligent System for Preventing Accidents Due to Driver Distractions," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 2196–2204. doi: 10.1016/j.procs.2024.04.208.
- [8] M. F. Ridho, F. Panca, W. Yandi, and A. A. Rachmani, "Electron : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Drowsiness Detection in the Advanced Driver-Assistance System using YOLO V5 Detection Model," vol. 5, 2024.
- [9] Saujanya Shankar, "Drowsiness Computer Vision Project." Accessed: Apr. 24, 2025. [Online]. Available: <https://universe.roboflow.com/saujanya-shankar/drowsiness-sgvf2/>
- [10] Ultralytics, "Ultralytics YOLO11." Accessed: Apr. 24, 2025. [Online]. Available: <https://docs.ultralytics.com/Models/yolo11/>
- [11] M. Everingham, L. Van Gool, C. K. I. Williams, J. Winn, and A. Zisserman, "The pascal visual object classes (VOC) challenge," *Int J Comput Vis*, vol. 88, no. 2, pp. 303–338, Jun. 2010, doi: 10.1007/s11263-009-0275-4.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.