

Sistem Deteksi Kantuk Pengemudi Mobil Berdasarkan Analisis Rasio Mata Menggunakan Computer Vision

Andi Asvin Mahersatillah Suradi^{1*}, Samsu Alam², Mushaf³, Muhammad Furqan Rasyid⁴, Imran Djafar⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Dipa Makassar, JL. Perintis Kemerdekaan KM. 9, Makassar, Indonesia

Email: andiasvin@undipa.ac.id

Abstrak. Kantuk pengemudi adalah salah satu penyebab utama kecelakaan kendaraan bermotor. Menurut catatan National Sleep Foundation, sekitar 32% dari pengemudi memiliki setidaknya satu pengalaman mengemudi dalam keadaan mengantuk per bulan. Sekitar 25% kecelakaan lalu lintas disebabkan oleh kondisi mengantuk saat mengemudi setiap tahunnya. Tujuan dari penelitian ini yaitu dengan merancang sebuah sistem yang dapat mendeteksi kantuk pengemudi berdasarkan aspek rasio mata dengan parameter tertentu menggunakan sebuah webcam yang ditempatkan pada area speedometer mobil. Adapun metode yang digunakan yaitu Histogram Oriented Gradients (HOG) dan Linear SVM yang berada di dalam pustaka dlib yang mencakup algoritma machine learning dan menggunakan aplikasi real time. Detektor landmark wajah yang telah dilatih sebelumnya dari pustaka dlib digunakan untuk memprediksi lokasi koordinat 68 x-y yang memetakan landmark wajah pada zona wajah. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan secara realtime dalam mendeteksi kantuk pengemudi dengan posisi kamera berada di area speedometer dengan jarak 50 cm dengan akurasi rata-rata 90,4%.

Kata Kunci: Deteksi Kantuk, HOG, Linear SVM, Deteksi Wajah.

Abstract. Driver drowsiness is one of the main causes of motor vehicle accidents. According to National Sleep Foundation records, about 32% of drivers have at least one drowsy driving experience per month. About 25% of traffic accidents are caused by drowsiness while driving each year. The purpose of this study is to design a system that can detect driver sleepiness based on the aspect ratio of the eye with certain parameters using a webcam placed in the car's speedometer area. The methods used are Histogram Oriented Gradients (HOG) and Linear SVM which are in the dlib library which includes machine learning algorithms and uses real time applications. A pre-trained facial landmark detector from the dlib library is used to predict the location of the 68 x-y coordinates that map the facial landmarks to the face zones. The results of this study indicate that the system can be used in real time to detect driver drowsiness with the camera position in the speedometer area at a distance of 50 cm with an average accuracy of 90.4%.

Keyword: Drowsiness Detection, HOG, Linear SVM, Face Detection

PENDAHULUAN

Kantuk pengemudi adalah salah satu penyebab utama kecelakaan kendaraan bermotor. Perkembangan teknologi pendekripsi kantuk merupakan tantangan industri dan akademis. Dalam industri otomotif, Volvo mengembangkan *Driver Alert Control* yang memperingatkan pengemudi yang dicurigai mengemudi dalam keadaan mengantuk dengan menggunakan kamera yang terpasang di kendaraan yang terhubung ke sebuah sistem peringatan dalam mendekripsi kantuk [1]. Angka kematian akibat kecelakaan LLAJ menurut data Kepolisian pada tahun 2020 mencapai 23.529 jiwa, angka ini kurang lebih sama dengan tiga jiwa meninggal setiap jam. Berdasarkan data kecelakaan tersebut, ada sekitar 73 persen diantaranya melibatkan sepeda motor [2]. Seperti yang kita ketahui, pengemudi sebagai inti dari sistem lalu lintas jalan raya merupakan faktor yang paling signifikan mempengaruhi keselamatan lalu lintas jalan. Menurut catatan National Sleep Foundation, sekitar 32% dari pengemudi memiliki setidaknya satu pengalaman mengemudi dalam keadaan mengantuk per bulan. Sekitar 25% kecelakaan lalu lintas disebabkan karena pengemudi dalam keadaan mengantuk setiap tahunnya. Mengemudi dalam keadaan mengantuk mengacu pada perilaku keterampilan mengemudi yang menurun secara objektif, karena ketidakseimbangan fungsi fisiologis setelah mengemudi dengan rentang waktu yang lama. Ini dapat mempengaruhi perilaku mengemudi dan menimbulkan ancaman keselamatan yang serius bagi pengemudi dan pengguna lalu lintas lainnya [3]. Berikut beberapa riset yang telah dikerjakan mengenai sistem pendekripsi kantuk pengemudi untuk menghindari kecelakaan lalu lintas.



Penelitian yang telah dilakukan oleh Charlotte dkk yaitu dengan mengetahui apakah sumber informasi standar yang digunakan untuk mendeteksi kantuk juga dapat digunakan untuk memprediksi kapan tingkat kantuk yang diberikan akan tercapai. Selain itu penelitian ini juga mengeksplorasi apakah penambahan data seperti waktu mengemudi dan informasi pengemudi meningkatkan akurasi deteksi dan prediksi kantuk. Percobaan dilakukan pada dua puluh satu peserta mengendarai simulator mobil selama 110 menit dalam kondisi yang dioptimalkan untuk menyebabkan kantuk. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi tingkat kantuk dengan *mean square error* 0,22 dan dapat memprediksi kapan tingkat kantuk yang diberikan akan tercapai dengan *mean square error* 4,18 menit [4].

Riset yang dikerjakan oleh M. Ahmad Kamran dkk yaitu dengan merangkum secara komprehensif semua aspek keadaan mengantuk dan efeknya selama mengemudi mobil: gejalanya, penyebab, tindakan presentasi, statistik kecelakaan mobil, tahap tidur, dan perubahan perilaku, fisiologis dan aktivasi saraf yang terjadi selama terjaga dan dalam keadaan mengantuk [5].

Riset yang dikerjakan oleh G. Soares dkk yaitu dengan merancang sistem deteksi kantuk berdasarkan perekaman video real time pengemudi, dengan memperkirakan persentase penutupan kelopak mata selama periode tertentu, tanpa perangkat kontak apa pun. Hasil dari riset ini yaitu dengan meningkatkan kinerja aplikasi, seperti pengurangan wilayah pemrosesan yang diinginkan dan pembatasan gambar pencarian, sehingga meningkatkan 93,09% jumlah gambar per detik [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Prima dewi purnamasari dkk yaitu dengan membuat sistem deteksi kantuk yang dikembangkan untuk elektroensefalograf seluler (EEG) dan telepon seluler. Sistem ini juga dapat meminimalisir penyebab kecelakaan akibat pengemudi mengantuk. Dengan menggunakan Electro Encephalo Gram (EEG), kondisi kantuk dideteksi dengan merekam aktivitas listrik yang terjadi di otak manusia dan direpresentasikan sebagai sinyal frekuensi. Hasil dari penelitian ini menghasilkan performa terbaik dengan akurasi tertinggi 95,24% menggunakan nilai $k=3$ dan empat gelombang otak sebagai fitur, yaitu gelombang Delta, Theta, Alpha, dan Beta [7].

Perbedaan riset ini dengan riset-riset sebelumnya terletak pada metode yang digunakan, penempatan kamera yang tepat serta mengetahui informasi mengenai waktu pemrosesan sistem yaitu FPS dan akurasi yang dihasilkan.

Computer vision adalah bidang ilmu komputer yang bertujuan untuk memberikan kemampuan pada komputer atau mesin untuk memahami, menganalisis, dan menafsirkan informasi visual dari gambar dan video. Tujuan utama dari computer vision adalah untuk mengembangkan sistem yang dapat melihat dan memahami dunia sekitarnya dengan cara yang mirip dengan cara manusia melakukannya. Ini melibatkan identifikasi objek, pengenalan wajah, deteksi dan pelacakan gerakan, rekonstruksi 3D, analisis citra medis dan pengenalan tulisan tangan [8].

Pengolahan citra melibatkan berbagai proses, termasuk pembersihan, penajaman, transformasi, segmentasi, ekstraksi fitur, pengenalan pola, dan pemrosesan statistik dari citra digital. Teknik dan algoritma komputasi digunakan untuk mengubah dan menganalisis citra, baik secara global maupun lokal, dengan tujuan mengungkapkan informasi tersembunyi atau memahami karakteristik visual yang ada. Pengolahan citra umumnya melibatkan serangkaian langkah, mulai dari pra-pemrosesan seperti *filtering* dan normalisasi, hingga proses analisis yang lebih kompleks seperti deteksi objek, pengenalan pola, atau rekonstruksi 3D. Dalam proses ini, algoritma komputasi dan model matematika digunakan untuk mengolah dan memanipulasi data citra guna menghasilkan informasi yang berguna dan mendukung pengambilan keputusan [9].

Real-time adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan suatu sistem atau proses yang beroperasi dengan respons yang instan dan tanpa adanya penundaan yang signifikan antara input dan output. Dalam konteks komputasi, *real-time* merujuk pada kemampuan sistem untuk mengolah data secara langsung segera setelah input diterima, dan memberikan output dengan waktu respons yang sangat cepat. Sistem *real-time* digunakan dalam berbagai bidang, seperti pengolahan sinyal, sistem kendali industri, pengolahan video, gaming, transportasi, komunikasi, dan banyak lagi. Contohnya termasuk kendali otomatis pada mesin produksi, sistem navigasi penerbangan, atau aplikasi *video streaming* yang menyajikan konten secara langsung tanpa penundaan yang signifikan [10].

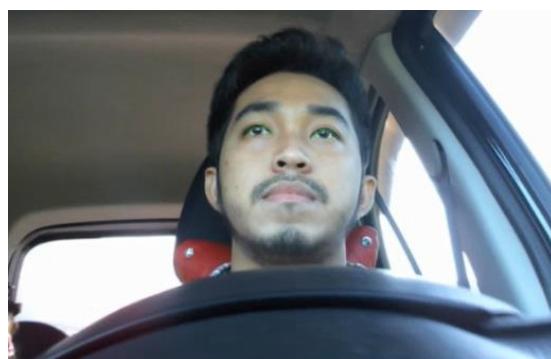
METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan serangkaian tahapan yang meliputi studi literatur mengenai sistem pendekripsi kantuk beserta teori dan teknik yang terkait. Peneliti melakukan penelusuran sumber-sumber



ter tulis secara menyeluruh melalui pendekatan eksperimental yang bersifat analisis untuk memahami landasan teoritis yang mendasari pengembangan sistem ini. Selanjutnya, dilakukan proses pengumpulan data dengan melakukan akuisisi langsung di lapangan. Data-data faktual yang terkait dengan kondisi pengemudi dan indikasi kantuk dikumpulkan dengan seksama. Setelah itu, dirancang sistem pendekripsi kantuk berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Tahap perancangan sistem melibatkan pengembangan algoritma dan pengolahan citra menggunakan teknik computer vision. Selanjutnya, dilakukan pengujian sistem dengan menggunakan data uji yang tidak terlibat dalam tahap pengumpulan data. Hasil pengujian tersebut dianalisis dan direkapitulasi untuk mengevaluasi performa sistem pendekripsi kantuk. Akhirnya, seluruh temuan dan hasil penelitian tersebut disusun dalam bentuk laporan yang disusun secara terstruktur, yang dirangkum dalam sebuah paper yang mempresentasikan keseluruhan penelitian ini. Dengan menggunakan pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan sistem yang efektif dalam mendekripsi kantuk pengemudi mobil berdasarkan analisis rasio mata menggunakan *computer vision*.

- A. Pengumpulan Data; Tahapan pengumpulan data terdiri dari pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer ini yaitu gambar dan video pengemudi mobil yang diambil dari arah depan baik dari media online maupun yang direkam secara langsung menggunakan kamera. Adapun data sekunder antara lain literatur-literatur yang relevan dengan riset ini seperti jurnal maupun prosiding di situs-situs pencarian artikel ilmiah seperti *IEEE, Research Gate* dan yang semisalnya.



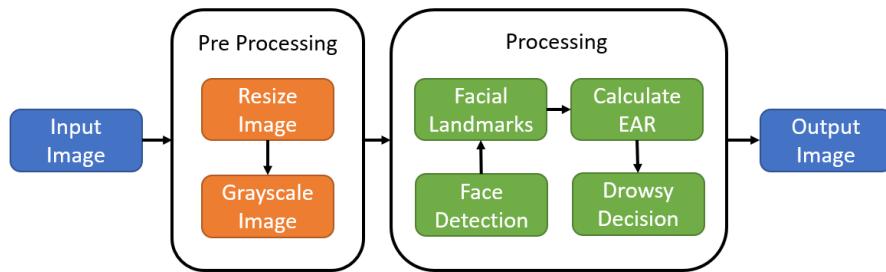
Gambar 1. Data primer

- B. Akuisisi data merupakan kumpulan data yang diambil sebelum diolah oleh sistem. Akuisisi data pada penelitian ini yaitu berupa video dan gambar dari berbagai sumber *online* atau data yang diambil langsung dari dalam mobil. Penelitian ini menggunakan data yang memiliki rasio (16:9) dan resolusi (1280 x 720) kemudian ditempatkan di area *speedometer* mobil sebagai data percobaan pada saat pembuatan sistem sebelum diuji secara *real-time* seperti pada Gambar 2 dan hasilnya seperti pada Gambar 1.



Gambar 2. Penempatan Kamera (*webcam*)

- C. Rancangan atau desain sistem yang dapat dilihat pada Gambar 3 merupakan gambaran yang berisi tahapan-tahapan yang akan dilakukan sistem mulai dari memasukkan data, pra pemrosesan data, sampai keluaran data yang dihasilkan.



Gambar 3. Desain Sistem

- D. Pengujian dilakukan dengan memeriksa kecepatan sistem dalam mendeteksi wajah pengemudi dan area matanya. Selanjutnya pada waktu yang sama akan menghitung berapa FPS yang dihasilkan sistem serta seberapa akurat sistem mendeteksi bahwa pengemudi dalam keadaan mengantuk atau tidak. FPS adalah singkatan dari *Frame Per Second* (bingkai per detik) dalam konteks pengolahan citra atau video. FPS mengacu pada jumlah bingkai individu yang ditampilkan dalam satu detik dalam sebuah video. FPS menunjukkan seberapa cepat bingkai-bingkai tersebut berubah dan memberikan ilusi gerakan yang mulus. Semakin tinggi FPS, semakin halus gerakan yang ditampilkan dalam video. Sebagai contoh, jika sebuah video memiliki FPS 30, berarti terdapat 30 bingkai yang ditampilkan dalam satu detik, sehingga memberikan pergerakan yang lebih halus dibandingkan dengan video yang memiliki FPS lebih rendah [10]. FPS juga berhubungan dengan kekuatan komputasi yang diperlukan untuk memproses dan menampilkan bingkai-bingkai tersebut. Semakin tinggi FPS yang diinginkan, semakin besar kebutuhan akan kecepatan prosesor dan kemampuan grafis untuk menghasilkan bingkai dengan waktu respons yang cepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pipeline adalah rangkaian dari pemrosesan data di mana setiap proses mendapatkan suatu luaran. Kemudian luaran tersebut menjadi sebuah data baru sebagai masukan untuk diolah ke proses berikutnya. Rangkaian ini terus berlanjut hingga data masukannya sudah selesai [11].

- A. *Input Data*; Proses pertama yang dilakukan yaitu membaca data primer yang telah diambil menggunakan webcam. Dalam pembacaan data, sudut pandang kamera sangat mempengaruhi proses deteksi sistem agar tidak terjadi kesalahan deteksi (*false detection*). Pada penelitian ini ditemukan bahwa kamera sebaiknya ditempatkan di area speedometer mobil, karena pada sudut pandang ini wajah dan terkhusus mata pengemudi terdeteksi dengan optimal seperti yang terlihat pada Gambar 1.
- B. *Resize Image*; Pra-pemrosesan adalah prosedur penting yang membantu menghilangkan informasi yang tidak diinginkan seperti noise dan memperkuat informasi yang dibutuhkan dalam sebuah gambar [12] [13]. Tahap pertama dalam kasus ini yaitu mengubah ukuran gambar dengan rasio yang sama (16:9) yang awalnya memiliki lebar 1280 menjadi 500 piksel seperti yang terlihat pada Gambar 4. Proses ini bertujuan agar dapat mempercepat pemrosesan sistem yang nantinya akan berpengaruh pada saat proses pengujian secara *real-time*.



Gambar 4. Resize Image

Pada Tabel 1 terlihat hasil dari percobaan dalam pemrosesan gambar pada kedua ukuran tersebut dalam hal perbandingan sekaligus untuk mendapatkan informasi waktu eksekusi dan jumlah gambar yang dihasilkan dalam rentang waktu 60 detik.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pemrosesan

Lebar Frame	Waktu Eksekusi/Frame	Total Frame
1280 x 720	0,03 detik	1.760
500 x 281	0,03 detik	1.784

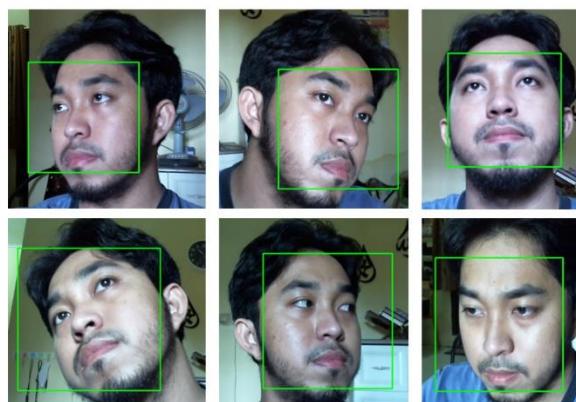
- C. *Grayscale Image*; Proses selanjutnya yaitu mengubah ruang warna gambar menjadi skala keabuan, ini bertujuan untuk waktu pemrosesan lebih cepat karena hanya menggunakan single channel warna. Selain itu gambar dengan *mode grayscale* merupakan proses awal untuk mendeteksi wajah pengemudi seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grayscale Image

Gambar berwarna mengandung lebih banyak informasi daripada gambar putih dan hitam, sehingga dapat mengisi lebih banyak ruang dalam memori dan menambah kompleksitas yang tidak relevan. Format grayscale merupakan penyesuaian yang baik antara kondisi visual subjektif dan representasi dan penyimpanan yang relatif kompak. Format ini ditetapkan sebagai gambar monokrom dan dikodekan sebagai larik piksel 2D, di mana "hitam" sama dengan nilai piksel 0 dan "putih" sama dengan nilai piksel 255, dan ada banyak nilai keabuan yang berada pada transisi 0 - 255 [14].

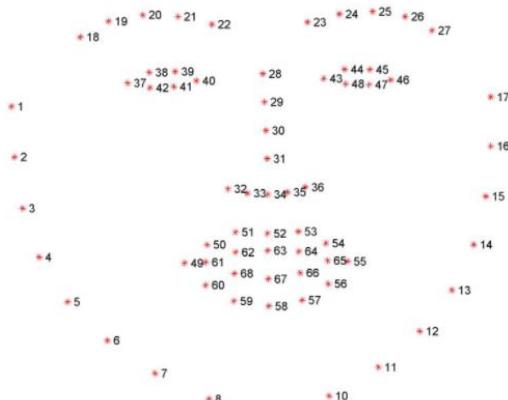
- D. *Face detection* merupakan suatu pendekatan biometrik untuk dapat mendeteksi bahkan mengenali wajah seseorang. Biometrik fisik yang dimaksud adalah dari hasil pengukuran dan data pada tubuh manusia seperti wajah, tangan, iris, retina dan sidik jari [15]. Dalam mendeteksi kantuk pengemudi, hal pertama yang dilakukan yaitu mendeteksi wajah pengemudi. Proses ini menggunakan pustaka dlib untuk memanggil fungsi HOG + Linear SVM. Dlib adalah *toolkit C++* yang mencakup algoritma machine learning dan menggunakan aplikasi real-time. Detektor *landmark* wajah yang telah dilatih sebelumnya dari pustaka dlib digunakan untuk memprediksi lokasi koordinat 68 x-y yang memetakan landmark wajah pada zona wajah [16]. Detektor wajah HOG + Linear SVM pada pustaka dlib lebih cepat dan efisien, dimana cara kerja dari *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) tidak mengalami gangguan terhadap perubahan rotasi dan sudut pandang wajah seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Face Detection

Pada Gambar 6 terlihat sistem mampu mendeteksi wajah di berbagai sudut pandang, dengan demikian proses untuk mendapatkan area mata dan menghitung aspek rasionya juga akan lebih mudah. Berdasarkan hasil percobaan pada beberapa kondisi, kecepatan proses sistem dalam mendeteksi wajah rata-rata 0,13 detik.

- E. Aspek Rasio Mata; Langkah selanjutnya yaitu menemukan area mata kemudian menentukan aspek rasionya. Pustaka dlib dapat digunakan untuk mendeteksi wajah dalam sebuah gambar dan kemudian menemukan 68 landmark wajah yang terdeteksi seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Landmark Wajah

Pada Gambar 7 terlihat bahwa urutan penanda wajah yang terdeteksi akan selalu sama terlepas dari dimensi gambar atau ukuran wajah, yang berarti 1–17 akan selalu mewakili garis luar wajah. 43–48 akan selalu mewakili mata kiri dan setiap mata diwakili menggunakan 6 titik landmark. Untuk menghitung Aspek Rasio Mata (ARM) menggunakan (1) dan (2).

$$ARM = \frac{(p_2 - p_6) + (p_3 - p_5)}{2(p_1 - p_4)} \quad (1)$$

$$ARM = \frac{(38 - 42) + (39 - 41)}{2 * (40 - 37)} \quad (2)$$

37 - 42 mewakili lokasi landmark wajah mata kanan 2D dan 43 - 48 mewakili lokasi landmark wajah mata kiri 2D. Fungsi ARM dihitung secara terpisah untuk setiap mata (ARMkanan dan ARMkiri). Kemudian kedipan terdeteksi dengan data yang diperoleh seperti pada (3).

$$Kedipan = \frac{ARM_{kanan} - ARM_{kiri}}{2} \quad (3)$$

Semakin banyak ARM maka semakin luas mata terbuka seperti yang terlihat pada Gambar 8. Selanjutnya menentukan nilai minimum ARM sebagai parameter apakah mata tertutup atau tidak dengan melakukan pengujian pada beberapa responden.



Gambar 8. Aspek Rasio Mata (ARM) [17]

- F. Pengujian sistem; Pengujian pada riset ini yaitu dengan melakukan percobaan pada beberapa responden untuk menghitung akurasi menggunakan variabel *confusion matrix* pada (4). *Confusion matrix* adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model

klasifikasi atau algoritma prediksi. *Confusion matrix* menyajikan informasi tentang seberapa baik model tersebut melakukan prediksi pada kelas-kelas target yang berbeda. [18] [19] serta mengetahui apakah sistem mampu membedakan kondisi pengemudi apakah mengantuk atau tidak. Selanjutnya sistem juga akan menghitung dan menampilkan FPS, sehingga akan diketahui apakah sistem ini dapat beroperasi secara real-time pada (5).

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad (4)$$

$$FPS = \frac{\text{Total Frame}}{\text{Durasi(detik)}} \quad (5)$$

Pada persamaan 4 terdapat 4 variabel untuk menghitung akurasi dengan klasifikasi sebagai berikut:

- **TP (True Positive)** = Kondisi sebenarnya mengantuk dan sistem memberikan peringatan.
- **FN (False Negative)** = Kondisi sebenarnya mengantuk dan sistem tidak memberikan peringatan.
- **TN (True Negative)** = Kondisi sebenarnya tidak mengantuk dan sistem tidak memberikan peringatan.
- **FP (False Positive)** = Kondisi sebenarnya tidak mengantuk dan sistem memberikan peringatan.



Gambar 9. Pengujian Sistem

Pada Gambar 9 terlihat pengujian sistem dilakukan pada beberapa responden tanpa kacamata maupun yang menggunakan kacamata. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai minimum dari aspek rasio mata yaitu 0,20 dengan durasi lebih dari 10 frame, ini bertujuan agar menghindari *false detection* yang diakibatkan oleh kedipan mata. Dengan dua kondisi tersebut sistem sudah dapat menentukan bahwa pengemudi tersebut dalam keadaan mengantuk. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, ke 4 variabel dari *confusion matrix* dihitung berdasarkan jumlah frame dan rata-rata FPS sebesar 13, artinya sistem ini memungkinkan untuk diterapkan secara *real-time*.

Responden	TP	FP	TN	FN	Alurasi	FPS
1	195	0	345	30	94,7%	13
2	240	0	180	30	93,3%	13

Responden	TP	FP	TN	FN	Alurasi	FPS
3	125	0	210	15	95,7%	13
4	150	0	150	130	69,7%	13
5	150	0	150	0	100%	13
6	330	0	90	30	93,3%	13
7	120	0	180	90	76,9%	13
8	120	0	810	60	93,9%	13
9	270	0	270	60	90%	13
10	300	0	570	30	96,6%	13
Rata-rata				90,4%	13	

Responden 4 pada Tabel 2 memiliki tingkat akurasi yang rendah dengan jumlah *frame* pada variabel *false negative* sebesar 130, hal tersebut disebabkan karena pada saat pengujian sudut pandang kamera dengan pengemudi cenderung menyamping sehingga *landmark* pada area mata tidak terdeteksi dengan optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian, didapatkan bahwa gabungan dari algoritma *HOG* dan *Linear SVM* pada pustaka *dlib* mampu mendeteksi kantuk pengemudi dengan penempatan kamera di area speedometer mobil dengan jarak 50 cm dari wajah pengemudi dengan tingkat akurasi mencapai 90,4% dan berjalan pada 13 FPS. Artinya sistem ini siap untuk diimplementasikan secara real-time. Untuk pengembangan lebih lanjut diharapkan agar dapat menambahkan suatu pendekatan tertentu sehingga sistem tetap dapat mendeteksi kantuk pengemudi dengan penempatan kamera yang lebih fleksibel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Jabbar, K. Al-Khalifa, M. Kharbeche, W. Alhajyaseen, M. Jafari, and S. Jiang, “Real-time Driver Drowsiness Detection for Android Application Using Deep Neural Networks Techniques,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 130, pp. 400–407, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.04.060.
- [2] “Angka Kecelakaan Masih Tinggi, Menhub: Kolaborasi Jadi Kunci Peningkatan Keselamatan Jalan,” *BIRO KOMUNIKASI DAN INFORMASI PUBLIK*, 2022. [Online]. Available: <https://dephub.go.id/post/read/angka-kecelakaan-masih-tinggi,-menhub-kolaborasi-jadi-kunci-peningkatan-keselamatan-jalan>. [Accessed: 11-Aug-2022].
- [3] F. You, X. Li, Y. Gong, H. Wang, and H. Li, “A Real-time Driving Drowsiness Detection Algorithm with Individual Differences Consideration,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 179396–179408, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2958667.
- [4] C. Jacobé de Naurois, C. Bourdin, A. Stratulat, E. Diaz, and J. L. Vercher, “Detection and prediction of driver drowsiness using artificial neural network models,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 126, no. October 2017, pp. 95–104, 2019, doi: 10.1016/j.aap.2017.11.038.
- [5] M. Ahmad Kamran, M. M. N. Mannan, and M. Y. Jeong, “Drowsiness, Fatigue and Poor Sleep’s Causes and Detection: A Comprehensive Study,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167172–167186, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2951028.
- [6] G. Soares, D. De Lima, and A. Miranda Neto, “A Mobile Application for Driver’s Drowsiness Monitoring based on PERCLOS Estimation,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 2, pp. 193–202, 2019, doi: 10.1109/LTA.2019.8863164.
- [7] P. D. Purnamasari, P. Yustiana, A. A. Putri Ratna, and D. Sudiana, “Mobile EEG Based



- Drowsiness Detection using K-Nearest Neighbor," *2019 IEEE 10th Int. Conf. Aware. Sci. Technol. iCAST 2019 - Proc.*, no. June, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ICAwST.2019.8923161.
- [8] A. A. M. Suradi, M. F. Rasyid, M. Mushaf, and M. Rizal, "Deteksi Tingkat Kematangan Buah Apel Menggunakan Segmentasi Ruang Warna HSV," in *Seminar Ilmiah Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*, 2023, vol. XII, no. 1, pp. 19–26.
- [9] S. Mohamad Idris, Romindo, Muhammad Munsarif, G. F. M. Wa Ode Rahma Agus Udaya Manarfa, N. Andi Asvin Mahersatillah Suradi, Lutfi Hakim, M. F. V. R. Arsan Kumala Jaya, and A. A. Andrew Tanny Liem, *Pengolahan Citra: Teori dan Implementasi*. Medan: Yayasan Kita Menulis, 2023.
- [10] A. A. M. Suradi, Z. Zainuddin, and Y. Yusran, "Deteksi Jalan Berdasarkan Segmentasi Warna HSV Dalam Penerapan Mobil Otonom (Autonomous Car)," Universitas Hasanuddin, 2021.
- [11] Z. Zainuddin, A. A. M. Suradi, and E. Warni, "Unstructured road detection segmentation for autonomous car," in *AIP Conference Proceedings*, 2022, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0095775>.
- [12] O. Adeyemi, M. Irhebhude, and A. Kolawole, "Speed Breakers, Road Marking Detection and Recognition Using Image Processing Techniques," *Adv. Image Video Process.*, vol. 7, no. 5, pp. 30–42, 2019, doi: 10.14738/aivp.75.7205.
- [13] R. G., "A Study to Find Facts Behind Preprocessing on Deep Learning Algorithms," *J. Innov. Image Process.*, vol. 3, no. 1, pp. 66–74, 2021, doi: 10.36548/jiip.2021.1.006.
- [14] A. N. N. Afifah, Indrabayu, A. Suyuti, and Syafaruddin, "Hotspot Detection in Photovoltaic Module using Otsu Thresholding Method," *2020 IEEE Int. Conf. Commun. Networks Satell. Comnetsat 2020 - Proc.*, no. March 2021, pp. 408–412, 2020, doi: 10.1109/Comnetsat50391.2020.9328987.
- [15] A. A. M. Suradi and A. Syarwani, "Sistem Absensi Menggunakan Teknologi QR Code Dan Face Recognition," *e-Jurnal JUSITI (Jurnal Sist. Inf. dan Teknol. Informasi)*, vol. 10, no. 1, pp. 62–73, 2021, doi: 10.36774/jusiti.v10i1.821.
- [16] B. K. Savas and Y. Becerikli, "Real time driver fatigue detection based on SVM Algorithm," *2018 6th Int. Conf. Control Eng. Inf. Technol. CEIT 2018*, no. October, pp. 25–27, 2018, doi: 10.1109/CEIT.2018.8751886.
- [17] T. Soukupová and J. Cech, "Eye Blink Detection Using Facial Landmarks," *Res. Reports C.*, pp. 1–8, 2016.
- [18] Indrabayu, S. K. Mufti, and I. S. Areni, "Car Driver Drowsiness Recognition Android-Based System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 619, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/619/1/012021.
- [19] S. Ruuska, W. Hämäläinen, S. Kajava, M. Mughal, P. Matilainen, and J. Mononen, "Evaluation of the confusion matrix method in the validation of an automated system for measuring feeding behaviour of cattle," *Behav. Processes*, vol. 148, pp. 56–62, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.beproc.2018.01.004.

