

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan proses perancangan, pembuatan alat, hingga pengujian sistem pendeteksi kelelahan pengemudi yang telah diimplementasikan langsung pada kabin kendaraan, dapat disimpulkan beberapa kesimpulan utama yaitu sebagai berikut:

1. Keberhasilan Integrasi Perangkat Keras (*Hardware*): Purwarupa sistem yang dibangun menggunakan *Single Board Computer* (SBC) Raspberry Pi 4 Model B dan kamera OV5647 NoIR telah berhasil diintegrasikan dengan aman pada kelistrikan mobil (12V DC). Penggunaan modul *USB stepdown*, *relay* otomotif, dan sekering (*fuse*) terbukti mampu memberikan suplai tegangan 5V yang stabil untuk komputasi, sekaligus melindungi prosesor dari lonjakan arus kendaraan.
2. Kinerja Algoritma dan Pemrosesan Paralel: Penerapan arsitektur *multithreading* terbukti sangat esensial dan berhasil diimplementasikan. Pemisahan jalur utas (*thread*) antara proses deteksi *Computer Vision* (Program Utama), pembunyian alarm (*Buzzer*), dan pengiriman data jarak jauh (*Telegram API*) membuat CPU tidak mengalami *bottleneck*. Hal ini dibuktikan dengan laju bingkai kamera (*frame rate*) yang tetap stabil di angka 15 FPS secara *real-time*.
3. Tingkat Akurasi Sistem dan *Anti-Error*: Melalui pengujian *Confusion Matrix* sebanyak 100 kali percobaan (50 skenario positif dan 50 skenario negatif), sistem mencatatkan tingkat akurasi

keseluruhan sebesar 92%, dengan nilai presisi yang sangat tinggi yakni 95,65%, dan sensitivitas 88%. Tingginya angka presisi ini membuktikan bahwa penambahan "Filter Anti-Senyum" dan "Filter Anti-Menunduk" berbasis rasio geometri (titik bibir dan titik hidung-dagu) berhasil secara signifikan menekan angka peringatan palsu (*False Positive*) di dalam kabin

4. **Kecepatan Respon Peringatan Keselamatan:** Sistem terbukti sangat responsif dalam memberikan tindak peringatan. Waktu respon rata-rata aktuator *buzzer* lokal sejak mata terpejam penuh hingga alarm berbunyi adalah 2,39 detik (hanya selisih 0,39 detik dari batas kritis *timer* 2,0 detik). Sementara itu, fungsi *Internet of Things* (IoT) mencatatkan waktu tunda (*latency*) pengiriman notifikasi darurat melalui Telegram Bot API sebesar 3,36 detik. Fitur *cooldown* 15 detik yang ditanamkan juga terbukti berhasil mencegah penumpukan data (*spamming*) pada *server*
5. **Kelemahan dan Batasan Sistem:** Dari 100 pengujian, terdapat 8 kesalahan pembacaan yang mana 6 di antaranya merupakan kegagalan deteksi bahaya (*False Negative*). Kesalahan ini secara eksklusif terjadi saat pengemudi tertidur dengan posisi kepala menunduk miring ke arah samping (kanan/kiri) secara ekstrem. Hal ini menegaskan batasan dari proyeksi kamera tunggal 2D, di mana anatomi batang hidung menutupi (*occlusion*) titik *landmark* mata sehingga kalkulasi EAR terputus.

5.2 Saran

Untuk penyempurnaan dan pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya, terdapat beberapa saran yang dapat diterapkan. Pertama, untuk mengatasi kegagalan deteksi saat kepala pengemudi menunduk miring secara

ekstrem, algoritma pemrosesan citra dapat ditingkatkan menggunakan metode *Deep Learning* seperti *MediaPipe Face Mesh* agar fitur wajah tetap dapat dilacak secara tiga dimensi (3D) meskipun sebagian wajah terhalang. Kedua, fitur peringatan jarak jauh (*Internet of Things*) dapat dimaksimalkan fungsinya dengan mengintegrasikan modul GPS tambahan. Dengan adanya GPS, pesan darurat yang dikirimkan ke pihak operator melalui Telegram tidak hanya berisi peringatan teks, tetapi juga menyertakan titik koordinat lokasi kendaraan secara *real-time*. Terakhir, sistem penerangan inframerah pada modul kamera disarankan untuk dibuat lebih adaptif (misalnya dengan penambahan sensor cahaya) untuk meredam efek silau pantulan dari lampu kendaraan arah berlawanan saat berkendara di malam hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allysa Salsabillah Dwi Gayatri, “Microsleep Bahaya Bagi Pengendara, Ini Pengaruh dan Solusinya,” *detikJatim*. Accessed: Jun. 29, 2026. [Online]. Available: <https://www.detik.com/jatim/berita/d-7353686/microsleep-bahaya-bagi-pengendara-ini-pengaruh-dan-solusinya>
- [2] Khairul Imam Ghozali, “Satu dari 10 Kecelakaan Disebabkan Sopir Mengantuk,” *detikOto*. Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://oto.detik.com/mobil/d-3858306/satu-dari-10-kecelakaan-disebabkan-sopir-mengantuk>
- [3] Tim detikHealth, “Sering Jadi Penyebab Kecelakaan Fatal, Begini Cara Cegah Microsleep Saat Mudik,” *detikJabar*. Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.detik.com/jabar/berita/d-6681116/sering-jadi-penyebab-kecelakaan-fatal-begini-cara-cegah-microsleep-saat-mudik>
- [4] P. Burdziakowski and A. Zakrzewska, “A new adaptive method for the extraction of steel design structures from an integrated point cloud,” *Sensors*, vol. 21, no. 10, May 2021, doi: 10.3390/s21103416.
- [5] “Integration of AI-Based Manufacturing and Industrial Engineering Systems with the Internet of Things.” [Online]. Available: <https://www.routledge.com/>
- [6] R. R. Hajar *et al.*, “DETEKSI WAJAH BERBASIS FACIAL LANDMARK MENGGUNAKAN OPENCV DAN DLIB,” *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 2, Dec. 2021.
- [7] M. Maukar, “Detection of Drivers Drowsiness on Four-Wheeled Vehicles using the Haar Cascade Algorithm and Eye Aspect Ratio,” *ILKOM Jurnal Ilmiah*, vol. 17, no. 1, pp. 1–11, Apr. 2025, doi: 10.33096/ilkom.v17i1.2362.1-11.

- [8] D. Pandey, “Analytics Vidhya Opencv Eye Aspect Ratio Dlib Facial Landmarks Facedetection Eye Aspect Ratio(EAR) and Drowsiness detector using dlib The Main code(Drowsiness Detector),” Apr. 2021. Accessed: Jul. 10, 2026. [Online]. Available: <https://www.analyticsvidhya.com>
- [9] M. Aditya Sanjaya and F. Utaminingrum, “Sistem Validasi Akses Ruangan Berbasis Gender Recognition Menggunakan MTCNN dan MobileNetV2 dengan Mekanisme Peringatan Buzzer,” 2026. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [10] R. C. Research and P. Gupta, “A Secure IoT-Based Framework for Real-Time Vehicle Monitoring and Accident Reporting Using Raspberry Pi.” [Online]. Available: www.ijesat.com
- [11] A. Putra Sukarya, A. Rizal Wahid, U. Rohwadi, F. W. Handono, and S. Wibawa, “PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI KANTUK WAKTU NYATA BERBASIS EYE ASPECT RATIO DAN MEDIAPIPE FACE MESH,” 2026. [Online]. Available: <https://journalversa.com/s/index.php/>
- [12] S. Sugeng and T. N. Nizar, “Deteksi Aktivitas Mata, Mulut Dan Kemiringan Kepala Sebagai Fitur Untuk Deteksi Kantuk Pada Pengendara Mobil,” *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, vol. 12, no. 1, pp. 83–91, May 2023, doi: 10.34010/komputika.v12i1.9688.
- [13] Mochammad Fadiil Thoriq *et al.*, “Implementasi Sistem Deteksi Kantuk Secara Real-Time Bagi Pengemudi Menggunakan Metode Eye Aspect Ratio,” *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 4, pp. 70–85, Nov. 2024, doi: 10.59581/jusiik-widyakarya.v2i4.4226.
- [14] “Raspberry Pi 4 Model B - 4GB (OKDO Version) - DFRobot”.
- [15] M. Al Fauzi and B. M. Rambe, “Penerapan IOT Peringatan Dini Kebakaran Dengan Notifikasi Whatsap,” *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 14, no. 2, pp. 1493–1500, Sep. 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i2.14851.

- [16] “Jual STEP DOWN DC TO DC DC 6-24V 12v_24V to 5v 3A Step Down USB Converter Modul Converter _ Shopee Indonesia”.