

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE CLASSIFIER
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE CLASSIFIER

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Islam Balitar
Jl. Imam Bonjol No. 16, Jl. Majapahit No.2- 4, Sananwetan, Kec. Sananwetan, Kota Blitar
Email : 1hamrizkyh@gmail.com

ABSTRACT

Traffic accidents caused by drowsy drivers have long been one of the main contributing factors to the high number of road accidents. Drowsy driving can drastically reduce concentration, slow down reactions, and increase the risk of microsleep, a condition where the driver falls asleep for a very short time without realizing it. To overcome this problem, this study developed an Internet of Things (IoT)-based early detection system for motorcyclist drowsiness. This system uses the ESP32-CAM module as an image processing unit to detect the driver's eye condition using the Haar Cascade Classifier method. The detection data is then sent via the HTTP protocol to the Raspberry Pi Pico W which functions as a receiver and warning trigger unit. If the eye condition is detected to be closed for a certain duration, the system will activate the buzzer and LED as an early warning for the driver. This system is designed to work in real-time with high power efficiency and flexible implementation in motor vehicles.

Keywords: *drowsiness, traffic accidents, face recognition, raspberry pi pico w, motorbike.*

ABSTRAK

Kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh pengemudi yang mengantuk telah lama menjadi salah satu faktor utama penyumbang tingginya angka kecelakaan di jalan raya. Kondisi mengantuk saat berkendara dapat secara drastis menurunkan konsentrasi, memperlambat reaksi, serta meningkatkan risiko terjadinya microsleep yakni kondisi di mana pengemudi tertidur dalam waktu sangat singkat tanpa disadari. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem pendeteksi dini kantuk pengendara bermotor berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini menggunakan modul ESP32-CAM sebagai unit pemroses citra untuk mendeteksi kondisi mata pengendara menggunakan metode Haar Cascade Classifier. Data hasil deteksi kemudian dikirim melalui protokol HTTP ke Raspberry Pi Pico W yang berfungsi sebagai unit penerima dan pemicu peringatan. Jika kondisi mata terdeteksi tertutup dalam durasi tertentu, sistem akan mengaktifkan buzzer dan LED sebagai peringatan dini bagi pengendara. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara real-time dengan efisiensi daya yang tinggi serta implementasi yang fleksibel pada kendaraan bermotor.

Kata Kunci: *kantuk, kecelakaan lalu lintas, face recognition, raspberry pi pico w, motor.*

PENDAHULUAN

Sepeda motor merupakan sarana transportasi yang paling populer di negara-negara Asia, termasuk Indonesia, serta banyak digunakan di negara berkembang. Peningkatan jumlah sepeda motor dari tahun ke tahun terus mengalami pertumbuhan yang signifikan, sehingga berdampak pada kondisi lalu lintas dan menimbulkan berbagai permasalahan, salah satunya adalah meningkatnya angka kecelakaan akibat pelanggaran lalu lintas. Sepeda motor menjadi pilihan utama masyarakat kelas menengah karena relatif mudah digunakan, terjangkau, dan efisien. Kendaraan ini terdiri dari kerangka, mesin, roda, serta sistem kendali yang digerakkan oleh mesin dan dioperasikan langsung oleh pengendara. [1]

Indonesia termasuk negara dengan penggunaan sepeda motor yang sangat tinggi dalam aktivitas sehari-hari. Berdasarkan data dari ERI Korlantas (2023), jumlah kendaraan roda dua di Indonesia telah mencapai 132.071.259 unit. Tingginya jumlah kendaraan ini berbanding lurus dengan meningkatnya risiko kecelakaan lalu lintas. Data dari Polres Blitar mencatat, sepanjang Januari hingga September 2023 terjadi 368 kasus kecelakaan kendaraan roda dua, sedangkan pada tahun 2022 tercatat 408 kasus. Angka tersebut

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
**SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-
CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE
CLASSIFIER**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

menunjukkan peningkatan sekitar 10% dibandingkan tahun sebelumnya, dengan jumlah korban meninggal dunia mencapai 74 jiwa. Fakta ini menunjukkan bahwa kecelakaan lalu lintas masih menjadi permasalahan serius, terutama yang disebabkan oleh faktor kondisi pengemudi seperti kantuk atau kelelahan. [2]

Untuk mengurangi risiko tersebut, berbagai penelitian telah dilakukan dalam mengembangkan sistem pencegahan kecelakaan berbasis teknologi. Salah satunya adalah penelitian yang mengembangkan alat deteksi dini terhadap pengendara bermotor yang mengalami kantuk. Pada penelitian ini, digunakan ESP32-CAM sebagai perangkat pengenalan wajah serta Raspberry Pi Pico W sebagai mikrokontroler utama dengan dukungan konektivitas Wi-Fi. Sistem dirancang untuk mendeteksi kondisi fisiologis pengendara, khususnya dengan menganalisis keadaan mata dan ekspresi wajah guna mengidentifikasi tanda-tanda kantuk.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Fikriyah, Nugroho, dan Suni (2021) yang berjudul *Eye Fatigue Detection in Vehicle Drivers Based on Facial Landmarks Features*. Penelitian tersebut memanfaatkan kamera smartphone (Droid Cam) dengan teknologi pengenalan wajah menggunakan OpenCV dan Python. Algoritma 68 titik *landmark* wajah digunakan untuk mengidentifikasi area mata dan menghitung *Eye Aspect Ratio* (EAR) dalam menentukan kondisi mata terbuka atau tertutup.

Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem berbasis perangkat keras IoT yang lebih mandiri. ESP32-CAM digunakan sebagai kamera sekaligus pengolah citra, sedangkan Raspberry Pi Pico W berfungsi sebagai mikrokontroler pendukung. Metode *Haar Cascade Classifier* diterapkan dalam proses pendeteksian kondisi mata pengendara. Dengan demikian, dirancang suatu sistem sebagai solusi dalam mengurangi risiko kecelakaan lalu lintas akibat pengemudi yang mengantuk.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Tujuan utama dari penelitian adalah mengembangkan sebuah sistem pendeteksi dini kantuk yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi kesadaran pengendara sepeda motor. Tahapan penelitian meliputi:

- Perancangan sistem yang mencakup perangkat keras dan perangkat lunak;
- Implementasi sistem dengan mengintegrasikan ESP32-Cam, Raspberry Pi Pico W, dan mekanisme *Haar Cascade Classifier*;
- Pengujian prototipe di lapangan untuk memastikan sistem bekerja sesuai tujuan, yaitu menguji tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi kantuk pengendara sepeda motor,

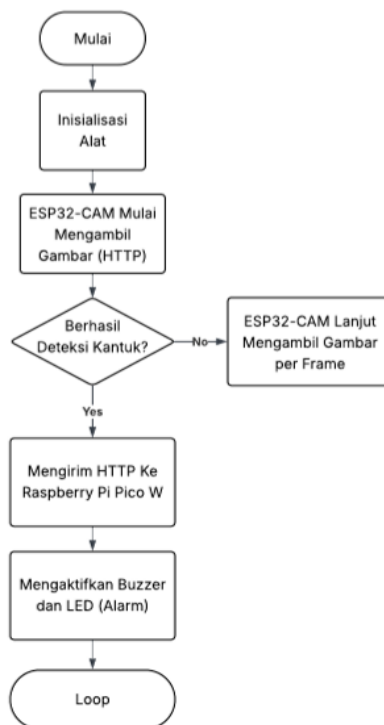
Gambar 1. dibawah ini menunjukkan alur metodologi penelitian yang digunakan



Gambar 1 Alur Penelitian

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE CLASSIFIER
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

Penelitian ini merancang sistem deteksi kantuk berbasis ESP32-CAM dan Raspberry Pi Pico W. ESP32-CAM berfungsi sebagai pusat pemrosesan visual dengan metode *Haar Cascade Classifier* untuk mendeteksi kondisi mata, sedangkan Pico W mengendalikan buzzer dan LED sebagai alarm. Sistem ini diharapkan mampu memberikan peringatan dini guna mengurangi risiko kecelakaan akibat kantuk. Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2 Flowchart Sistem

Penelitian ini menganalisis kinerja sistem deteksi kantuk pada pengendara sepeda motor. Deteksi dilakukan melalui klasifikasi kondisi mata menggunakan metode Haar Cascade Classifier pada kamera ESP32-CAM. Apabila mata terdeteksi tertutup dalam durasi tertentu, sistem secara otomatis mengaktifkan buzzer dan LED sebagai peringatan dini. Evaluasi difokuskan pada akurasi klasifikasi mata, kecepatan respon terhadap perubahan kondisi, serta konsistensi peringatan real-time tanpa intervensi manual, sehingga efektivitas dan keandalan sistem dalam mencegah kecelakaan akibat kantuk dapat diukur secara objektif.

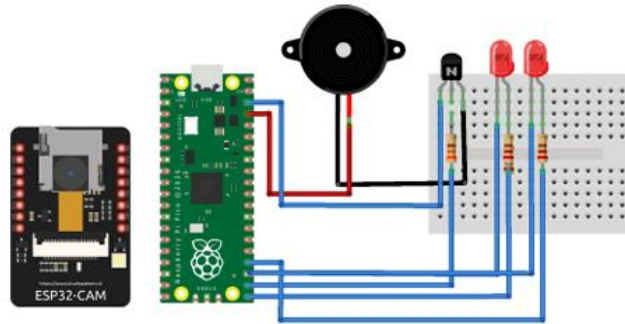
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan di Gedog, Kecamatan Sananwetan, Kota Blitar, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih karena menyediakan lingkungan yang representatif untuk menguji keandalan sistem dalam kondisi pencahayaan dan aktivitas nyata sehari-hari.

Sistem pendeteksi kantuk pengendara ini menggunakan modul ESP32-CAM sebagai pusat kendali dan akuisisi citra wajah. Citra yang diambil secara real-time dianalisis dengan metode Haar Cascade Classifier untuk mendeteksi kondisi mata. Sistem terhubung dengan Raspberry Pi Pico W yang mengendalikan buzzer dan LED sebagai peringatan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE CLASSIFIER
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

secara terintegrasi dan efektif memberikan peringatan saat pengendara terdeteksi mengantuk. Gambar berikut ini merupakan skema rancangan sistem dan hasil dari perancangan alat:

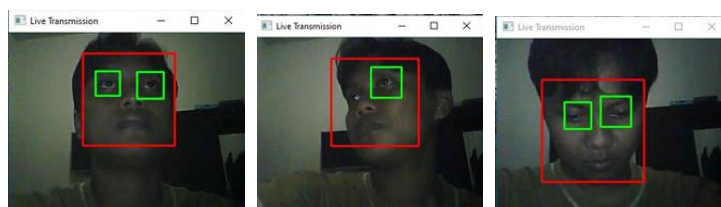


Gambar 3 Wiring Alat



Gambar 4 Hasil Rancangan Alat

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem Deteksi Kantuk Berbasis ESP32-CAM dan Raspberry Pi Pico W berfungsi sesuai dengan rancangan. Sistem ini mendeteksi kondisi kantuk secara real-time melalui identifikasi mata menggunakan metode *Haar Cascade Classifier*, kemudian mengirimkan sinyal peringatan melalui HTTP ke Raspberry Pi Pico W yang mengendalikan buzzer. Berikut disajikan hasil pengujiannya.



Gambar 5 Pengujian Kamera Pada 0°, 45°(X), dan 45°(Y)

Pada Gambar 5, kamera dari ESP32-CAM berhasil mendeteksi kedua mata dan wajah pada sudut 0° pada subjek. Pada 45°(X) kamera hanya berhasil mendeteksi 1 mata dan wajah. Sementara pada sudut 45°(Y) kamera berhasil mendeteksi kedua mata dan wajah. Berikut hasil pengujian ESP32-CAM.

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
**SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-
CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE
CLASSIFIER**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

Tabel 1 Hasil Pengujian ESP32-CAM (X)

Jarak (cm)	Pencahayaan	Sudut Kemiringan Kepala (X)	Kondisi Buzzer (ON/OFF)	Hasil Deteksi
10	Siang	0°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
		45°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
	Malam	0°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
		45°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
20	Siang	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	1 Mata terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
	Malam	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	1 Mata terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
30	Siang	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	1 Mata terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
	Malam	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	1 Mata terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
40	Siang	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	1 Mata terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
	Malam	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	ON	Wajah terdeteksi tapi mata tidak terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
**SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-
CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE
CLASSIFIER**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

50	Siang	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	1 Mata terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
	Malam	0°	ON	Wajah terdeteksi tapi mata tidak terdeteksi. Kamera terlalu jauh
		45°	ON	Wajah terdeteksi tapi mata tidak terdeteksi. Kamera terlalu jauh
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi

Tabel 2 Hasil Pengujian ESP32-CAM (Y)

Jarak (cm)	Pencahayaan	Sudut Kemiringan Kepala (Y)	Kondisi Buzzer (ON/OFF)	Hasil Deteksi
10	Siang	0°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
		45°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
	Malam	0°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
		45°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi. Kamera terlalu dekat
20	Siang	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
	Malam	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
30	Siang	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
	Malam	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
**SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-
CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE
CLASSIFIER**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

40		45°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
		0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
	Siang	45°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
		0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
	Malam	45°	ON	Wajah terdeteksi tapi mata tidak terdeteksi
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
		0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
50	Siang	0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	ON	Wajah terdeteksi tapi mata tidak terdeteksi. Kamera terlalu jauh
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
	Malam	0°	ON	Wajah terdeteksi tapi mata tidak terdeteksi. Kamera terlalu jauh
		45°	ON	Wajah terdeteksi tapi mata tidak terdeteksi. Kamera terlalu jauh
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi
		0°	OFF	Mata dan wajah terdeteksi
		45°	ON	Wajah terdeteksi tapi mata tidak terdeteksi. Kamera terlalu jauh
		60°	ON	Mata dan wajah tidak terdeteksi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja optimal pada jarak 20–40 cm. Pada jarak 10 cm, kamera berada terlalu dekat sehingga wajah tidak terdeteksi, sedangkan pada jarak 50 cm, deteksi mata mengalami penurunan akurasi, terutama pada kondisi pencahayaan rendah. Pencahayaan terang menghasilkan deteksi yang lebih akurat, sedangkan kondisi gelap menghambat proses deteksi, terutama pada sudut kemiringan besar atau jarak yang jauh. Pada sudut X (kepala miring ke samping), deteksi stabil pada posisi 0° dan 45°, meskipun terkadang hanya satu mata terdeteksi. Namun, pada sudut 60°, wajah sulit dikenali sehingga sistem mengaktifkan buzzer karena terdeteksi sebagai mata tertutup. Untuk sudut Y (kepala menunduk atau menengadah), deteksi wajah dan mata optimal pada 0° dan 45°, tetapi menurun signifikan pada kemiringan 60°.

Selain itu, Pengujian pengiriman sinyal juga dilakukan untuk mengetahui berapa waktu rata-rata alat dapat mendeteksi kantuk. Sistem secara otomatis mengenali kondisi ini dan mengirimkan sinyal HTTP ke Pico W untuk menyalakan buzzer. Berikut adalah tabel pengujiannya.

Tabel 3 Hasil Pengujian Pengiriman Sinyal

Waktu Pengujian	Durasi Kantuk	Waktu Komputasi per <i>Frame</i>
6/10/2025 20:27	3.26	2282.57
6/10/2025 20:28	3.28	2412.81
6/12/2025 4:20	3.27	2322.98
6/12/2025 4:25	3.22	2374.7
6/12/2025 5:52	3.26	2337.46
6/12/2025 5:53	3.24	2381.41

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE CLASSIFIER
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

6/12/2025 6:11	3.36	2426.34
6/14/2025 12:07	3.32	2565.03
6/14/2025 12:27	3.33	2456.13
6/14/2025 12:29	3.2	2344.37
6/15/2025 21:20	3.26	2289.83
6/15/2025 21:27	3.3	2381.13
6/15/2025 21:30	3.25	2289.25
6/19/2025 13:02	3.27	2262.39
6/19/2025 13:07	3.13	2320.62
6/20/2025 11:28	3.26	2317.22
6/20/2025 11:29	3.36	2401.6
6/22/2025 8:01	3.35	2399.98
6/22/2025 8:02	3.34	2368.01
6/22/2025 8:27	3.34	2382.92

Berdasarkan hasil pengujian sistem deteksi kantuk, dilakukan analisis terhadap performa dan keandalan sistem dalam mengenali kondisi pengguna yang mengantuk. Sistem menggunakan kamera ESP32-CAM untuk menangkap citra wajah secara real-time yang kemudian diproses dengan algoritma *Haar Cascade* pada OpenCV untuk mendeteksi wajah dan mata. Jika mata tidak terdeteksi selama 3 detik berturut-turut, sistem mengidentifikasi pengguna dalam kondisi kantuk dan mengirimkan sinyal peringatan ke Raspberry Pi Pico W. Tabel berikut menyajikan *confusion matrix* hasil pengujian yang mencakup nilai *True Positive*, *True Negative*, *False Positive*, dan *False Negative*.

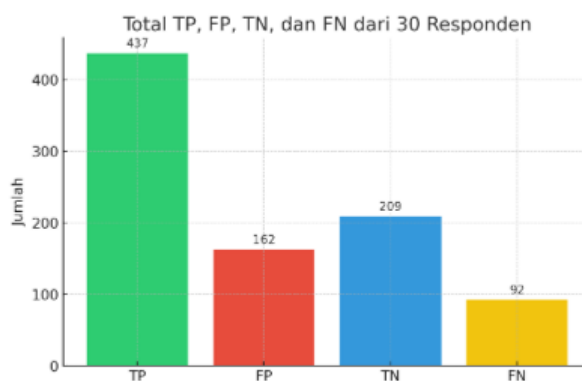
Tabel 4 Hasil Pengujian Alat

Responden	TP	FP	TN	FN	Akurasi	Presisi	Recall	F1-Score
1	11	7	8	4	63.3%	61.1%	73.3%	66.7%
2	12	5	9	4	70.0%	70.6%	75.0%	72.7%
3	15	5	6	4	70.0%	75.0%	78.9%	76.9%
4	11	6	8	5	63.3%	64.7%	68.8%	66.7%
5	15	3	6	6	70.0%	83.3%	71.4%	76.9%
6	17	3	8	2	83.3%	85.0%	89.5%	87.2%
7	16	3	7	4	76.7%	84.2%	80.0%	82.1%
8	17	5	7	1	80.0%	77.3%	94.4%	85.0%
9	18	4	6	2	80.0%	81.8%	90.0%	85.7%
10	17	7	4	2	70.0%	70.8%	89.5%	79.1%
11	14	5	6	5	66.7%	73.7%	73.7%	73.7%
12	15	6	6	3	70.0%	71.4%	83.3%	76.9%
13	15	6	5	4	66.7%	71.4%	78.9%	75.0%
14	17	7	5	1	73.3%	70.8%	94.4%	81.0%
15	18	5	5	2	76.7%	78.3%	90.0%	83.7%
16	11	8	7	4	60.0%	57.9%	73.3%	64.7%
17	12	6	8	4	66.7%	66.7%	75.0%	70.6%
18	14	6	6	4	66.7%	70.0%	77.8%	73.7%
19	13	6	7	4	66.7%	68.4%	76.5%	72.2%
20	18	5	4	3	73.3%	78.3%	85.7%	81.8%
21	15	3	6	6	70.0%	83.3%	71.4%	76.9%
22	16	3	6	5	73.3%	84.2%	76.1%	80.0%

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
**SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-
CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE
CLASSIFIER**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

23	13	6	9	2	73.3%	68.4%	86.6%	76.4%
24	14	7	7	2	70.0 %	66.6%	87.5%	75.6%
25	12	6	11	1	76.6%	66.6%	92.3%	77.4%
26	15	6	7	2	73.3%	71.4%	88.2%	78.9%
27	12	6	10	2	73.3%	66.6%	85.7%	75.0%
28	13	8	8	1	70.0%	61.9%	92.8%	74.2%
29	13	5	10	2	76.6%	72.2%	86.6%	78.7%
30	18	4	7	1	83.3%	81.8%	94.7%	87.8%

Berikut adalah grafik dan rekap perhitungan confusion matrix:



Gambar 6 Grafik Confusion Matrix

Gambar di atas menunjukkan grafik distribusi data berdasarkan kategori confusion matrix. Nilai *True Positive* (437) menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi kondisi kantuk saat benar-benar terjadi. *False Positive* (162) menggambarkan kondisi ketika sistem memberikan alarm meskipun pengguna tidak mengantuk. *True Negative* (209) menunjukkan sistem tidak mengeluarkan alarm saat pengguna dalam kondisi normal, sedangkan *False Negative* (92) menandakan sistem gagal mendeteksi kantuk ketika pengguna sebenarnya mengantuk. Perhitungan rata-rata performa sistem berdasarkan confusion matrix ditunjukkan sebagai berikut. Nilai akurasi dihitung menggunakan rumus:

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\%$$

$$Akurasi = \frac{437 + 209}{437 + 209 + 162 + 92} \times 100\% = \frac{646}{900} \times 100\% = 71,7\%$$

Presisi dihitung dengan rumus:

$$Presisi = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

$$Presisi = \frac{437}{437 + 162} \times 100\% = 72,9\%$$

Recall diperoleh melalui persamaan:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE CLASSIFIER
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

$$Recall = \frac{437}{437 + 92} \times 100\% = 82,6\%$$

Sementara itu, nilai F1-Score dihitung dengan rumus:

$$F1\ Score = \frac{2 \times (Presisi \times Recall)}{Presisi + Recall}$$
$$F1\ Score = \frac{2 \times (0,729 \times 0,826)}{0,729 + 0,826} = \frac{2 \times 0,602154}{1,555} = \frac{1,204308}{1,555} \approx 0.774 \text{ atau } 77,4\%$$

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pendeteksi kantuk berbasis ESP32-CAM berhasil dikembangkan dengan menerapkan metode *Haar Cascade Classifier* untuk mendeteksi kondisi mata secara *real-time*. Kamera ESP32-CAM berperan sebagai sensor visual utama yang terhubung ke Raspberry Pi Pico W melalui jaringan WiFi, dengan perancangan yang mempertimbangkan faktor lingkungan seperti pencahayaan, sudut pandang, dan jarak wajah pengguna terhadap kamera. Integrasi antara metode *Haar Cascade Classifier* dan Raspberry Pi Pico W mampu berjalan secara efektif, di mana sistem dapat mengenali kondisi kantuk berdasarkan durasi mata tertutup selama tiga detik dan secara otomatis mengaktifkan *buzzer* sebagai peringatan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi dan waktu respons yang baik, dengan rata-rata waktu deteksi kantuk sebesar 3,27 detik dan waktu komputasi per frame sekitar 2,3 detik. Meskipun demikian, kondisi pencahayaan rendah, sudut kemiringan kepala yang ekstrem, serta jarak kamera yang terlalu dekat atau terlalu jauh masih memengaruhi akurasi deteksi. Secara keseluruhan, sistem telah memenuhi tujuan penelitian dan masih memiliki potensi pengembangan untuk peningkatan akurasi serta adaptasi terhadap berbagai kondisi lingkungan.

REFERENSI

- [1] F. Irdanadi, "Pengaruh Electronic Word of Mouth Terhadap Citra Merek dan Minat Beli Pada Produk," *Journal Of Management*, vol. 6, no. 1, pp. 14-34. , 2017.
- [2] F. Purwanti, "368 kecelakaan terjadi di Blitar hingga September 2023, 74 korban tewas," Detik.com, 9 Oktober 2023. [Online]. Available: <https://www.detik.com/jatim/berita/d-6971981/368-kecelakaan-terjadi-di-blitar-hingga-september-2023-74-korban-tewas>. [Accessed 20 September 2024].
- [3] D. & U. F. Amalia, "Deteksi kantuk pada pengemudi melalui jumlah kedipan mata menggunakan facial landmark berbasis Intel NUC.," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 12, p. 5529–5535, 2021.
- [4] e. a. Amrudin, *Metodologi penelitian kuantitatif dan kualitatif.*, Bandung: Media Sains Indonesia, 2022.
- [5] R. P. A. R. & K. A. Angga, "Sensor parkir mobil berbasis mikrokontroler AT89S51 dengan bantuan mini kamera.," *Jurnal Komputasi*, vol. 11, no. 1, p. 1412–9434, 2012.
- [6] W. Bangun, *Manajemen sumber daya manusia.*, Jakarta: Erlangga, 2012.
- [7] A. I. A. A. & A. M. Birana, "Kelelahan kerja operator dump truck (studi analitik di PT Indonesia Pratama, Tabang Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur).," *PROMOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 9, no. 2, p. 143–151, 2019.

Ilham Rizky Hidayatullah¹⁾, Sri Widoretno²⁾, Mukhlison³⁾
**SISTEM PENDETEKSIAN DINI KANTUK PENGENDARA BERMOTOR BERBASIS ESP32-
CAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DENGAN METODE HAAR CASCADE
CLASSIFIER**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (1): 118-128

- [8] E. Korlantas, "Data kendaraan roda dua di Indonesia.," 2023.
- [9] F. D. H. N. A. & S. A. F. Fikriyah, "Eye fatigue detection in vehicle drivers based on facial landmarks features.," *Jurnal Teknologi dan Inovasi*, vol. 19, no. 1, p. 11–19, 2021.
- [10] I. M. R. & M. Imanuddin, "Deteksi mata mengantuk pada pengemudi mobil menggunakan metode Viola–Jones.," *JOINTECS (Journal of Information Technology and Computer Science)*, vol. 4, no. 2, p. 45–48, 2019.
- [11] M. K. & Z. A. Indra Warman, "Rekayasa web untuk pemesanan handphone berbasis jQuery pada Permata Cell.," *Jurnal Momentum*, vol. 15, no. 2, p. 30–38, 2013.
- [12] J. L. H. U. W. W. H. X. X. Z. S. & H. J. Li, "Identification and classification of construction equipment operators' mental fatigue using wearable eye-tracking technology.," *Automation in Construction*, vol. 109, no. 103000, 2020.
- [13] A. A. A. P. Mangkunegara, *Manajemen Sumber Daya Manusia Perusahaan.*, Bandung: Remaja Rosda Karya, 2004.
- [14] M. Nazir, *Metode Penelitian*, Bogor: Ghalia Indonesia, 2014.
- [15] V. C. N. H. J. M. A. & S. I. Nastiti, "Rancang bangun sistem monitoring kelelahan dan tracking pekerja konstruksi melalui safety vest berbasis IoT.," *Jurnal Teknologi Konstruksi dan Inovasi*, vol. 8, no. 2, p. 39–46, 2023.
- [16] M. S. Panggabean, *Manajemen sumber daya manusia*, Jakarta: Ghalia Indonesia., 2012.
- [17] A. H. M. B. H. & K. R. Rahman, "Computer vision-based approach to detect fatigue driving and face mask for edge computing device.," *Heliyon*, vol. 8, no. 10, p. e11204, 2022.
- [18] Ramli, *Sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja: OHSAS 18001.*, Jakarta: Dian Rakyat, 2010.
- [19] J. Ridley, *Kesehatan dan keselamatan kerja*, Jakarta: Erlangga, 2004.
- [20] R. I. H. A. D. & A. F. Samsinar, "Sistem monitoring mendeteksi mata lelah pada pengemudi kendaraan besar berbasis pengolahan citra.," *RESISTOR: Jurnal Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer*, vol. 7, no. 1, p. 77–84.
- [21] Sugiyono, *Metodologi penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D.*, Bandung: Alfabeta, 2019.