

**PERANCANGAN SISTEM DETEKSI KANTUK PENGEMUDI
MENGUNAKAN METODE LONG SHORT-TERM MEMORY
(LSTM) BERBASIS FITUR GEOMETRI WAJAH**

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Pada Program Studi Teknik Informatika



Oleh :

Indra Septiawan

NPM : 2213020156

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI**

2026

Skripsi Oleh :

Indra Septiawan
NPM : 2213020156

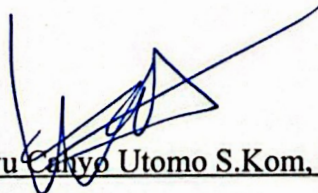
Judul :

**PERANCANGAN SISTEM DETEKSI KANTUK PENGEMUDI
MENGUNAKAN METODE LONG SHORT-TERM MEMORY
(LSTM) BERBASIS FITUR GEOMETRI WAJAH**

Telah Disetujui Untuk Diajukan Kepada Panitia Ujian/Sidang Skripsi Program
Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas
Nusantara PGRI Kediri

Tanggal : 18 Juni 2026

Pembimbing I



Wahyu Cahyo Utomo S.Kom, M.Cs
NIDN. 0713059502

Pembimbing II



Danang Wahyu Widodo S.P.M.Kom.
NIDN. 0720117501

Skripsi oleh:

Indra Septiawan

NPM : 2213020156

Judul :

**PERANCANGAN SISTEM DETEKSI KANTUK PENGEMUDI
MENGUNAKAN METODE LONG SHORT-TERM MEMORY
(LSTM) BERBASIS FITUR GEOMETRI WAJAH**

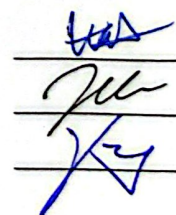
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian/Sidang Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri

Pada tanggal : 16 Juli 2026

Dan Dinyatakan telah Memenuhi Syarat

Panitia Penguji :

1. Ketua : Wahyu Cahyo Utomo, S.Kom, M.Cs.
2. Penguji I : JULIAN SAHERTIAN, S.Pd, M.T.
3. Penguji II : DANANG WAHYU WIDODO, S.P,M.Kom.





Mengetahui,
Dekan FTIK

Dr. Sukstiono, M.Si.

NIDN. 0007076801

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini saya,

Nama : Indra Septiawan
Jenis Kelamin : Laki Laki
Tempat/Tgl Lahir : Kediri ,03 September 2003
NPM : 2213020156
Fakultas/Prodi : Teknik dan Ilmu Komputer/ Teknik Informatika

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak dapat karya tulis atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara sengaja dan tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Kediri, 18 Juli 2026

Yang Menyatakan



Indra Septiawan

NPM : 2213020156

HALAMAN PERSEMBAHAN

Penulisan skripsi ini dengan tulus saya dedikasikan kepada:

1. Kedua orang tua saya, yang dengan penuh kesabaran senantiasa mendoakan, memberikan dukungan terbaik, serta menjadi sumber motivasi tak henti-hentinya dalam perjalanan menyelesaikan skripsi ini.
2. Adik-adik saya, yang selalu memberikan semangat dan dukungan moral, sehingga saya dapat menyelesaikan proses ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang telah memberikan bimbingan, ilmu, dan pelajaran berharga, baik dalam ranah akademik maupun kehidupan sehari-hari.
4. Teman-teman seperjuangan di kampus, yang menjadi tempat berbagi suka dan duka, serta saling menyemangati selama menjalani masa perkuliahan hingga tahap akhir ini.
5. Almamater tercinta, Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang telah menjadi tempat saya tumbuh, belajar, dan mengembangkan diri selama masa perkuliahan.
6. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan kontribusi dalam berbagai bentuk dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.

Semoga dedikasi ini dapat menjadi penghormatan atas semua dukungan, doa, dan kebersamaan yang telah diberikan.

HALAMAN MOTTO

"Mereka yang menyukai kesendirian tetapi tidak merasakan kesepian, adalah orang-orang yang telah menemukan tuhan" — **Jalaluddin Rumi**

"Semakin dalam luka seseorang, semakin besar peluangnya memahami kehidupan" — **Carl Gustav Jung**

"Tidak semua badai datang untuk menghancurkan hidupmu , beberapa datang untuk membersihkan jalanmu" — **Paulo Coelho**

RINGKASAN

Indra Septiawan PERANCANGAN SISTEM DETEKSI KANTUK PENGEMUDI MENGGUNAKAN METODE LONG SHORT-TERM MEMORY (LSTM) BERBASIS FITUR GEOMETRI WAJAH, Skripsi, Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2026

Kata Kunci : Deteksi Kantuk, *Long Short-Term Memory*, Komputasi Ringan, Geometri Wajah, *Time-Series*.

Penelitian ini merancang sistem deteksi kantuk pengemudi berbasis algoritma *Long Short-Term Memory* (LSTM) guna mengatasi risiko kecelakaan akibat kelelahan (*microsleep*), sekaligus menghadirkan solusi komputasi yang jauh lebih ringan sebagai alternatif dari metode klasifikasi citra utuh yang memberatkan perangkat keras. Memanfaatkan dataset publik UTA-RLDD, sistem bekerja dengan mengekstraksi koordinat wajah melalui *MediaPipe Face Mesh* untuk menghasilkan data geometri numerik berupa *Eye Aspect Ratio* (EAR) dan *Mouth Aspect Ratio* (MAR). Data sekuensial tersebut kemudian ditampung menggunakan metode Sliding Window berkapasitas 10 frame dan diproses oleh arsitektur Multi-Layer (Stacked) LSTM yang terintegrasi pada antarmuka streaming web Flask yang terintegrasi pada antarmuka *streaming web Flask*. Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem ini beroperasi secara sangat efisien dan andal, ditandai dengan pencapaian rata-rata akurasi *5-Fold Cross Validation* sebesar 85% dan akurasi Data Uji Murni sebesar 77,78%. Secara spesifik, model mencatatkan tingkat sensitivitas (*Recall*) sempurna sebesar 100% pada pengenalan kelas kantuk (*not missed detect*), serta mampu dieksekusi secara instan (*real-time*) tanpa jeda keterlambatan pada unit pemrosesan sentral (CPU) standar, menjadikannya purwarupa sistem keselamatan berkendara yang tangguh dan sangat praktis untuk diimplementasikan.

PRAKATA

Puji Syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas ridha dan karunianya peneliti dapat menyelesaikan penyusunan laporan penelitian ini. Penulisan ini juga tak lepas dari dukungan pihak yang selalu membantu dalam penulisan penelitian ini. Oleh karenanya peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Zainal Afandi, M.Pd. Selaku Rektor Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang selalu memberikan dorongan motivasi kepada mahasiswa.
2. Dr. Sulistiono, M.Si. Selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer yang selalu memberikan dukungan moral kepada mahasiswa.
3. Risa Helilintar, M.Kom. Ketua Program Studi Teknik Informatika yang selalu memberikan arahan kepada mahasiswa.
4. Wahyu Cahyo Utomo S.Kom, M.Cs. dan Danang Wahyu Widodo S.P, M.Kom Selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingannya.
5. Kedua Orang Tua saya dan Keluarga atas doa dan dukungannya.
6. Ucapan Terima Kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak menyelesaikan skripsi ini.

Disadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, maka diharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi semua pihak.

Kediri, 16 Juli 2026



(Indra Septiawan)

NPM. 2213020156

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Dentifikasi Masalah	2
C. Rumusan Masalah	3
D. Batasan Masalah	3
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
A. Teori dan Penelitian Terdahulu.....	5
1. Landasan Teori	5
2. Kajian Pustaka	11
B. Kerangka Berpikir.....	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
A. Desain Penelitian.....	17
1. Variabel Penelitian	17
2. Metode Pengumpulan Data	18
B. Instrumen Penelitian	21

1. Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	21
2. Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	21
3. Dataset	22
C. Jadwal Penelitian.....	22
D. Objek dan Subjek Penelitian	23
1. Analisis Kebutuhan Sistem.....	23
2. Objek Penelitian	25
3. Subjek Penelitian	25
E. Prosedur Penelitian	26
1. Studi Literatur.....	26
2. Pengumpulan Data	27
3. Perancangan Model	27
4. Pembuatan sistem	28
5. Evaluasi	28
6. Penulisan Laporan	29
F. Teknik Analisis Data.....	29
1. Desain.....	29
2. Simulasi Proses Penyelesaian.....	34
3. Implementasi	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Hasil Penelitian.....	42
1.Implementasi Desain Sistem.....	42
2.Pengujian Fungsional.....	47
3.Pengujian nonFungsional.....	52
B. Pembahasan	56
BAB V PENUTUP	63
A. Kesimpulan.....	63
B. SARAN.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mediapipe Landmark	6
Gambar 2. 2 EAR dan MAR.....	7
Gambar 2. 3 Arsitektur LSTM	8
Gambar 2. 4 Kerangka berfikir	15
Gambar 3. 1 Metode Waterfall.....	26
Gambar 3. 2 Flowchart.....	31
Gambar 3. 3 Context Diagram	33
Gambar 4.1 Tampilan UI	42
Gambar 4. 2 Dokumentasi Pengujian Skenario 1 (Kondisi Terjaga).....	48
Gambar 4. 3 Dokumentasi Pengujian Skenario 2 (Kondisi Kantuk - Mata Terpejam)	49
Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengujian Skenario 3 (Kondisi Kantuk - Menguap)..	50
Gambar 4. 5 Dokumentasi Pengujian Skenario 4 (Kondisi Wajah Tidak Terdeteksi)	51
Gambar 4. 6 Hasil evaluasi Gabungan semua Fold	54
Gambar 4. 7 Visualisasi Confusion Matrix 5-Fold Cross Validation	59
Gambar 4. 8 Grafik Kurva Pembelajaran Akurasi Model.....	60
Gambar 4. 9 Grafik Kurva Fungsi Kerugian (Loss)	60
Gambar 4. 10 Confusion Matrix Hasil Pengujian Data Testing	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	22
Tabel 4. 1 Spesifikasi Arsitektur Lapisan Modul Sistem Cerdas (LSTM)	44
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Fungsional Sistem	47
Tabel 4. 3 Rangkuman Metrik Evaluasi Data Uji Murni (Test Set)	54
Tabel 4. 4 Rangkuman Metrik Evaluasi Data Uji Murni (Test Set)	55
Tabel 4. 5 Perbandingan Akurasi dan Latensi Berdasarkan Panjang Sekuens Jendela (Window Size)	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Bimbingan	69
-----------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kantuk pada pengemudi merupakan salah satu faktor utama penyebab kecelakaan lalu lintas. Salah satu indikator visual paling signifikan dari kantuk adalah perubahan pada area mata, seperti frekuensi kedipan, durasi mata tertutup, dan perubahan bentuk geometri mata. Deteksi dini terhadap perubahan ini sangat penting untuk mencegah kecelakaan fatal di jalan raya. Selain mata, fitur wajah lain seperti mulut menganga (*yawning*) dan posisi kepala juga sering kali menjadi penanda awal terjadinya kantuk pada pengemudi (Albadawi dkk., 2023; Rahmawati dkk., 2025; Yusuf dkk., 2024). Oleh karena itu, pemanfaatan fitur geometri wajah, khususnya area mata, menjadi fokus utama dalam pengembangan sistem deteksi kantuk berbasis visi komputer.

Meskipun berbagai sistem deteksi kantuk telah dikembangkan, banyak di antaranya masih menghadapi tantangan seperti akurasi yang rendah, keterbatasan dalam mendeteksi variasi ekspresi wajah antar individu, serta keterlambatan dalam memberikan peringatan. Beberapa metode hanya mengandalkan satu fitur wajah, sehingga kurang mampu menangkap korelasi kompleks antar fitur dan dinamika temporal yang terjadi selama proses mengantuk (Bajaj dkk., 2023; Chen dkk., 2021; Xu dkk., 2025). Selain itu, sistem yang terlalu intrusif atau memerlukan sensor tambahan sering kali tidak nyaman bagi pengguna dan sulit diimplementasikan secara luas.

Penelitian terdahulu telah memanfaatkan berbagai pendekatan untuk deteksi kantuk, seperti *K-Nearest Neighbors* (KNN), *Support Vector Machine* (SVM), *Convolutional Neural Network* (CNN), serta metode *ensemble learning* seperti *Random Forest* dan *XGBoost* (Delwar dkk., 2025; Essahraui dkk., 2025; Xu dkk., 2025). Selain itu, beberapa studi menggunakan teknik penggabungan fitur (*feature fusion*) dan *fuzzy logic*

untuk meningkatkan akurasi (Chen dkk., 2021; Xu dkk., 2025). Namun, metode-metode ini umumnya memiliki keterbatasan dalam menangkap pola temporal dari data sekuensial, sehingga kurang optimal dalam mendeteksi perubahan status kantuk secara *real-time* (Chen dkk., 2021; Magán dkk., 2022; Yu dkk., 2024).

Long Short-Term Memory (LSTM) merupakan salah satu jenis *Recurrent Neural Network* (RNN) yang dirancang untuk mengatasi masalah dalam pemrosesan data sekuensial, seperti video atau rangkaian citra wajah pengemudi. LSTM mampu mengingat informasi penting dalam jangka waktu yang panjang dan efektif dalam mengenali pola temporal yang kompleks, seperti perubahan bertahap pada ekspresi mata dan wajah saat mengantuk (Priyanka dkk., 2024; Rahmawati dkk., 2025; Yu dkk., 2024; Yusuf dkk., 2024). Dengan menggabungkan fitur geometri wajah dan kemampuan LSTM dalam memproses data berurutan, sistem deteksi kantuk dapat memberikan prediksi yang lebih akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi pengemudi (Priyanka dkk., 2024; Rahmawati dkk., 2025; Yusuf dkk., 2024).

Deteksi kantuk pengemudi berbasis fitur geometri wajah sangat penting untuk meningkatkan keselamatan berkendara. Meskipun berbagai metode telah dikembangkan, pendekatan berbasis LSTM menawarkan keunggulan dalam menangkap dinamika temporal dan meningkatkan akurasi deteksi. Implementasi LSTM yang memanfaatkan fitur geometri wajah, khususnya area mata, diharapkan dapat menjadi solusi efektif dan non-intrusif dalam sistem deteksi kantuk pengemudi masa depan (Priyanka dkk., 2024; Rahmawati dkk., 2025; Yu dkk., 2024; Yusuf dkk., 2024).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Tingginya angka kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh faktor kantuk pengemudi yang sulit dideteksi secara dini.

2. Metode deteksi berbasis sensor fisiologis kurang praktis (*intrusif*) untuk penggunaan sehari-hari, sedangkan metode berbasis kendaraan seringkali memiliki latensi deteksi yang tinggi.
3. Pendekatan klasifikasi berbasis citra statis (*frame-by-frame*) gagal menangkap konteks durasi waktu (*temporal context*) yang merupakan indikator kunci dari *microsleep* dan kelelahan.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah utama dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi kantuk pengemudi berbasis algoritma *Long Short-Term Memory* (LSTM) yang memanfaatkan urutan fitur geometri wajah (*Eye Aspect Ratio* dan *Mouth Aspect Ratio*).

D. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan fokus pada substansi masalah, penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan sumber data sekunder yang berasal dari *University of Texas at Arlington Real-Life Drowsiness Dataset* (UTA-RLDD) yang memuat rekaman video subjek dengan kondisi kantuk alami tanpa skenario akting. Penggunaan data dibatasi pada subjek yang tidak mengenakan atribut yang menutupi fitur wajah vital seperti masker dan kacamata hitam (*sunglasses*), guna memastikan ekstraksi fitur mata (EAR) dan mulut (MAR) dapat dilakukan secara optimal.
2. Proses ekstraksi fitur difokuskan pada penggunaan parameter geometri wajah, secara spesifik nilai *Eye Aspect Ratio* (EAR) untuk analisis mata dan *Mouth Aspect Ratio* (MAR) untuk analisis mulut yang diperoleh menggunakan pustaka MediaPipe.
3. Model pembelajaran mesin yang diimplementasikan terbatas pada arsitektur *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk memproses urutan fitur geometri sebagai data runtun waktu (*time-series*).
4. Luaran sistem dikhususkan untuk mengklasifikasikan kondisi pengemudi ke dalam dua kategori biner, yaitu kondisi sadar (*alert*) dan

kondisi mengantuk (*drowsy*), tanpa membahas perancangan perangkat keras atau sistem peringatan suara pada kendaraan.

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasi dan mengevaluasi kinerja arsitektur *Long Short-Term Memory* (LSTM) yang memanfaatkan urutan fitur geometri wajah sebagai input untuk mendeteksi pola kantuk pada pengemudi

F. Manfaat Penelitian

Keberhasilan perancangan dan implementasi sistem deteksi kantuk pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat nyata bagi berbagai pihak. Manfaat tersebut terbagi menjadi dua perspektif, yaitu manfaat teoretis bagi akademisi dan manfaat praktis bagi masyarakat serta industri otomotif, dengan rincian sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu komputer, khususnya dalam penerapan *Deep Learning* pada data *time-series* dan visi komputer untuk analisis perilaku manusia.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini dapat menjadi referensi dasar dalam pengembangan sistem keselamatan berkendara (*Driver Monitoring System*) yang berbiaya rendah dan efisien untuk membantu mengurangi angka kecelakaan lalu lintas akibat kantuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, R., Sanjaya, A., & Setiawan, A. B. (2025). Peramalan Kebutuhan Saldo K_One Top Up Menggunakan Algoritma Long-Short Term Memory (LSTM) Berdasarkan Data Time Series. *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 9(3), 2046–2055.
- Akrout, B., & Fakhfakh, S. (2023). How to Prevent Drivers before Their Sleepiness Using Deep Learning-Based Approach. *Electronics (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/electronics12040965>
- Albadawi, Y., AlRedhaei, A., & Tahruri, M. (2023). Real-Time Machine Learning-Based Driver Drowsiness Detection Using Visual Features. *Journal of Imaging*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/jimaging9050091>
- Bajaj, J. S., Kumar, N., Kaushal, R. K., Gururaj, H. L., Flammini, F., & Natarajan, R. (2023). System and Method for Driver Drowsiness Detection Using Behavioral and Sensor-Based Physiological Measures. *Sensors*, 23(3). <https://doi.org/10.3390/s23031292>
- Candra, G. V. Y., Pamungkas, D. P., & Kasih, P. (2025). Analisis Performa Metode CNN Dan LSTM Untuk Deteksi Gerakan Angkat Beban. *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 9(1), 171–180.
- Chen, S., Wang, Z., & Chen, W. (2021). Driver drowsiness estimation based on factorized bilinear feature fusion and a long-short-term recurrent convolutional network. *Information (Switzerland)*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/info12010003>
- Delwar, T. S., Singh, M., Mukhopadhyay, S., Kumar, A., Parashar, D., Lee, Y., Rahman, M. H., Sejan, M. A. S., & Ryu, J. Y. (2025). AI- and Deep Learning-Powered Driver Drowsiness Detection Method Using Facial Analysis. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/app15031102>

- Essahraoui, S., Lamaakal, I., El Hamly, I., Maleh, Y., Ouahbi, I., El Makkaoui, K., Filali Bouami, M., Pławiak, P., Alfarraj, O., & Abd El-Latif, A. A. (2025). Real-Time Driver Drowsiness Detection Using Facial Analysis and Machine Learning Techniques. *Sensors*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/s25030812>
- Firdaus, A., Utaminingrum, F., & Widasari, E. R. (2023). *Sistem Pendeteksi Kantuk Pengemudi berbasis Eye Aspect Ratio dan Mouth Opening Ratio menggunakan Algoritme C-LSTM* (Vol. 7, Nomor 2). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Fonseca, T., & Ferreira, S. (2025). Drowsiness Detection in Drivers: A Systematic Review of Deep Learning-Based Models. Dalam *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 15, Nomor 16). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app15169018>
- Ghoddosian, R., Galib, M., & Athitsos, V. (2019). *A Realistic Dataset and Baseline Temporal Model for Early Drowsiness Detection*. <http://arxiv.org/abs/1904.07312>
- Kitaguchi, D., Takeshita, N., Hasegawa, H., & Ito, M. (2022). Artificial intelligence-based computer vision in surgery: Recent advances and future perspectives. Dalam *Annals of Gastroenterological Surgery* (Vol. 6, Nomor 1, hlm. 29–36). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/ags3.12513>
- Li, Y., Zhang, S., Zhu, G., Huang, Z., Wang, R., Duan, X., & Wang, Z. (2023). A CNN-Based Wearable System for Driver Drowsiness Detection. *Sensors*, 23(7). <https://doi.org/10.3390/s23073475>
- Magán, E., Sesmero, M. P., Alonso-Weber, J. M., & Sanchis, A. (2022). Driver Drowsiness Detection by Applying Deep Learning Techniques to Sequences of Images. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/app12031145>
- Priyanka, S., Shanthi, S., Saran Kumar, A., & Praveen, V. (2024). Data fusion for driver drowsiness recognition: A multimodal perspective. *Egyptian Informatics Journal*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.eij.2024.100529>

- Rahmawati, Y., Woraratpanya, K., Ardiyanto, I., & Nugroho, H. A. (2025). Evaluating the effectiveness of facial actions features for the early detection of driver drowsiness in driving safety monitoring system. *Communications in Science and Technology*, 10(1), 179–189. <https://doi.org/10.21924/cst.10.1.2025.1594>
- Xu, C., Huang, W., Liu, J., & Li, L. (2025). Detecting Driver Drowsiness Using Hybrid Facial Features and Ensemble Learning. *Information (Switzerland)*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/info16040294>
- Yu, L., Yang, X., Wei, H., Liu, J., & Li, B. (2024). Driver fatigue detection using PPG signal, facial features, head postures with an LSTM model. *Heliyon*, 10(21). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39479>
- Yusuf, L., Hamada, M., Hassan, M., & Kakudi, H. (2024). Enhanced Driver Drowsiness Detection Model Using Multi-Level Features Fusion and a Long-Short-Term Recurrent Neural Network. *Engineering Proceedings*, 56(1). <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-15537>