

TUBES PCD

Sistem Deteksi Kantuk Real-Time

D3 Teknik Informatika

Jurusan Teknik Komputer dan Informatika

POLITEKNIK NEGERI BANDUNG



Elsa 074 | Isyana 078 | Syahla 095

BAB I PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Ruang Lingkup.....	2
BAB II LANDASAN TEORI	3
2.1 Computer Vision dan Analisis Wajah	3
2.2 Google MediaPipe Face Mesh.....	3
2.3 Eye Aspect Ratio (EAR)	3
2.4 Mouth Aspect Ratio (MAR)	4
BAB III PERANCANGAN SISTEM DAN PENGEMBANGAN	5
3.1 Arsitektur Sistem	5
3.2 Proses Pengembangan (Langkah-langkah)	5
3.3 Konfigurasi dan Dependensi	6
BAB IV TANTANGAN IMPLEMENTASI DAN SOLUSI.....	7
BAB V ANALISIS HASIL DAN PERFORMA	8
5.1 Interpretasi Performa Model.....	8
5.2 Hasil Implementasi	8
5.3 Kelebihan dan Kekurangan Solusi.....	10
5.4 Perbandingan dengan model lain.....	11
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN PENGEMBANGAN	12
6.1 Kesimpulan.....	12
6.2 Saran Pengembangan Lanjutan.....	12

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kecelakaan lalu lintas akibat kelelahan pengemudi merupakan masalah keselamatan global yang telah terbukti secara ilmiah. Sebuah tinjauan sistematis yang komprehensif pada tahun 2022, "Risk assessment of road traffic accidents related to sleepiness during driving: a systematic review", menegaskan adanya hubungan yang konsisten dan kuat antara rasa kantuk dengan peningkatan risiko kecelakaan. Kondisi berbahaya seperti microsleep (tidur sesaat) seringkali terjadi tanpa disadari, sementara sistem pemantauan konvensional gagal memberikan peringatan dini yang efektif. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak untuk mengembangkan solusi teknologi yang proaktif dan non-intrusif. Proyek ini mengusulkan sistem deteksi kantuk otomatis berbasis analisis wajah sebagai pendekatan modern yang menjanjikan untuk meningkatkan keselamatan secara real-time.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem deteksi kantuk yang mampu mengidentifikasi kondisi seperti microsleep secara akurat melalui analisis indikator fisiologis (seperti mata tertutup dan menguap) dari aliran video real-time?
2. Bagaimana menghadapi tantangan teknis dalam proses deteksi, seperti pencahayaan yang bervariasi, penggunaan kacamata, serta perbedaan karakteristik wajah pada tiap individu?
3. Bagaimana membangun sebuah prototipe yang mudah diakses dan dikonfigurasi oleh pengguna akhir tanpa memerlukan pengetahuan teknis yang mendalam?

I.3 Tujuan dan Ruang Lingkup

- Tujuan Utama: Mengembangkan prototipe aplikasi desktop yang mampu mendeteksi kondisi kantuk secara real-time melalui analisis Eye Aspect Ratio (EAR) dan Mouth Aspect Ratio (MAR), disertai dengan peringatan visual dan audio sebagai sistem peringatan dini.
- Ruang Lingkup:
 - Sistem difokuskan pada deteksi satu wajah dalam setiap frame video.
 - Pengujian dilakukan dalam kondisi pencahayaan dalam ruangan yang terkontrol.
 - Proyek ini tidak mencakup pelatihan model machine learning, melainkan menggunakan model pra-terlatih (pre-trained).
 - Antarmuka pengguna dikembangkan dalam bentuk aplikasi web lokal menggunakan Streamlit.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Computer Vision dan Analisis Wajah

Computer vision merupakan cabang dari ilmu komputer yang berfokus pada bagaimana komputer dapat memperoleh, memproses, dan memahami informasi visual dari dunia nyata secara otomatis, serupa dengan cara manusia menggunakan penglihatan. Tujuan utamanya adalah mengekstrak informasi bermakna dari citra atau video untuk pengambilan keputusan lanjutan.

Salah satu bidang penting dalam computer vision adalah analisis wajah (*facial analysis*), yang mencakup:

- Face Detection: proses mendeteksi keberadaan dan posisi wajah dalam suatu citra atau video.
- Facial Landmark Tracking: pelacakan titik-titik kunci (seperti ujung mata, hidung, sudut bibir) yang digunakan untuk memahami ekspresi, orientasi, atau kondisi wajah.

Dalam konteks deteksi kantuk, analisis wajah memungkinkan sistem untuk mengenali perubahan fisiologis seperti penutupan mata dan menguap melalui penghitungan rasio aspek dari landmark wajah. Teknologi ini banyak digunakan dalam aplikasi seperti biometrik (pengenalan wajah), analisis ekspresi emosional, serta pemantauan kondisi fisiologis, termasuk mendeteksi tanda-tanda kantuk, stres, atau kelelahan.

2.2 Google MediaPipe Face Mesh

MediaPipe adalah kerangka kerja open-source buatan Google yang dirancang untuk membangun pipeline pemrosesan data persepsi secara real-time dan lintas platform. Framework ini mendukung berbagai aplikasi seperti pelacakan tangan, tubuh, wajah, dan pengenalan gesture dalam bentuk pipeline yang efisien dan modular.

Salah satu solusi unggulannya adalah MediaPipe Face Mesh, yaitu model deep learning ringan dan efisien yang mampu mendeteksi hingga 478 landmark 3D pada wajah dari citra 2D. Model ini dirancang untuk berjalan secara real-time, bahkan di perangkat tanpa GPU seperti laptop standar atau smartphone.

Keunggulan MediaPipe Face Mesh meliputi:

- Presisi tinggi dalam mendeteksi landmark wajah
- Performa cepat, cocok untuk aplikasi real-time seperti deteksi ekspresi, augmented reality, atau deteksi kantuk
- Efisiensi sumber daya, memungkinkan dijalankan langsung di browser atau perangkat edge

2.3 Eye Aspect Ratio (EAR)

Eye Aspect Ratio (EAR) adalah metrik skalar yang digunakan untuk mengukur tingkat keterbukaan mata berdasarkan posisi landmark pada area mata. EAR diperkenalkan oleh Soukupová dan Čech (2016) dalam konteks deteksi kedipan (blink detection).

EAR dihitung menggunakan rasio antara jarak vertikal dan horizontal dari titik-titik landmark pada mata:

$$\text{EAR} = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2\|p_1 - p_4\|},$$

- Ketika mata terbuka, nilai EAR relatif konstan.
- Saat mata tertutup (berkedip atau mengantuk), nilai EAR turun drastis menuju nol.
- Sifat stabil ini menjadikan EAR sebagai indikator andalan dalam deteksi microsleep dan kantuk secara real-time, karena responsnya cepat dan akurat terhadap perubahan kondisi mata.

Dalam proyek ini, EAR digunakan sebagai salah satu indikator utama untuk mendeteksi kantuk dari aliran video webcam.

2.4 Mouth Aspect Ratio (MAR)

Mouth Aspect Ratio (MAR) adalah metrik skalar yang digunakan untuk mengukur tingkat keterbukaan mulut berdasarkan landmark wajah, khususnya area bibir. MAR merupakan adaptasi dari konsep EAR, namun diterapkan pada geometri mulut untuk mendeteksi aktivitas seperti menguap, yang merupakan indikator umum dari rasa kantuk.

Rumus MAR dikembangkan dengan pendekatan serupa oleh komunitas vision dan digunakan dalam banyak studi lanjutan. Pada rumus MAR Numerator adalah jarak vertikal antara titik atas dan bawah bibir bagian dalam, dan Denominator adalah Jarak horizontal antara dua sudut mulut.

Ketika seseorang menguap, nilai MAR akan meningkat secara signifikan karena bibir terbuka lebar. Kondisi ini dapat dikenali oleh sistem sebagai indikasi kantuk, terutama jika terjadi bersamaan dengan nilai EAR yang rendah (mata tertutup).

BAB III

PERANCANGAN SISTEM DAN PENGEMBANGAN

3.1 Arsitektur Sistem

Arsitektur aplikasi dirancang secara modular untuk kemudahan pengembangan dan pemeliharaan:

1. Modul Input: Menggunakan streamlit-webrtc untuk menangkap aliran video dari webcam secara real-time dan mengirimkan frame ke modul pemrosesan.
2. Modul Pemrosesan (DrowsinessDetector)

Kelas utama yang menangani logika deteksi kantuk. Tugasnya meliputi:

- Menjalankan model MediaPipe Face Mesh
- Menghitung nilai EAR dan MAR dari landmark wajah
- Menentukan status kantuk berdasarkan ambang batas
- Memberi anotasi visual pada frame (misal: status “Mengantuk!”)

3. Modul Antarmuka (Streamlit UI)

Dibangun menggunakan Streamlit, bertugas untuk:

- Menampilkan video dengan overlay status
- Menyediakan slider interaktif untuk konfigurasi nilai threshold EAR & MAR
- Menampilkan status numerik dan log deteksi

4. Modul Peringatan: Terdiri dari komponen visual (teks pada video) dan audio (playsound yang dijalankan di *thread* terpisah).

3.2 Proses Pengembangan (Langkah-langkah)

Pengembangan sistem dilakukan secara bertahap melalui iterasi bertingkat agar setiap komponen dapat diuji dan disempurnakan secara berurutan. Berikut langkah-langkah utama:

1. Penyiapan Lingkungan:
 - Inisialisasi proyek dan pembuatan virtual environment (venv)
 - Instalasi semua dependensi dari requirements.txt untuk memastikan konsistensi versi pustaka
2. Implementasi Fitur Inti (Deteksi EAR)
 - Pengembangan fungsi `calculate_ear` untuk menghitung rasio aspek mata
 - Implementasi logika counter untuk mendeteksi durasi penutupan mata sebagai indikasi kantuk
3. Iterasi Pertama (Penambahan MAR):
 - Menambahkan fungsi `calculate_mar` untuk mendeteksi aktivitas menguap
 - Integrasi MAR ke dalam logika deteksi untuk meningkatkan akurasi sistem
4. Iterasi Kedua (Pengembangan UI):
 - Membangun antarmuka pengguna menggunakan Streamlit
 - Mengubah parameter deteksi yang semula hard-coded menjadi slider interaktif di sidebar
5. Iterasi Ketiga (Optimalisasi dan Perbaikan Bug)

- Menyelesaikan konflik environment dengan mengganti perintah eksekusi ke `python -m streamlit run`
- Mengimplementasikan multithreading untuk audio agar pemutaran alarm tidak mengganggu performa video

6. Finalisasi

- Pembersihan struktur kode dan penambahan komentar
- Penyusunan dokumentasi teknis proyek untuk pelaporan dan presentasi

3.3 Konfigurasi dan Dependensi

Pengembangan sistem dilakukan dalam lingkungan yang dikonfigurasi secara spesifik untuk memastikan kestabilan dan kompatibilitas antar pustaka. Berikut detail perangkat dan pustaka yang digunakan:

- Perangkat Keras: PC/Laptop standar dengan Webcam.
- Perangkat Lunak: Python 3.9+, pip, venv.
- Pustaka Utama:
 - `mediapipe==0.10.21` – Deteksi dan pelacakan 478 landmark wajah
 - `opencv-python==4.10.0.84` – Pengolahan video dan anotasi frame
 - `opencv-contrib-python==4.11.0.86` – Tambahan fitur lanjutan dari OpenCV
 - `streamlit` – Antarmuka web interaktif
 - `streamlit-webrtc` – Integrasi kamera real-time di Streamlit
 - `playsound==1.3.0` – Pemutaran suara alarm
 - `scipy==1.13.1` – Perhitungan ilmiah dan statistik
 - `numpy==1.26.4` – Operasi numerik
 - `av==14.4.0` – Pemrosesan video/audio dengan WebRTC
 - `ffmpeg-python==0.2.0` – Backend untuk pengolahan media
 - `pyopenssl==25.1.0` dan `cryptography==45.0.4` – Keamanan dan protokol komunikasi (terkait dependensi bawaan)

BAB IV

TANTANGAN IMPLEMENTASI DAN SOLUSI

proses pengembangan, terdapat beberapa tantangan teknis yang berhasil diidentifikasi dan diselesaikan. Berikut adalah dua tantangan utama beserta solusi yang diterapkan:

- Tantangan 1: Konflik Lingkungan Python (ModuleNotFoundError)
 - Deskripsi: Pustaka yang telah diinstal di dalam virtual environment (venv) tidak dikenali saat aplikasi dijalankan. Traceback menunjukkan bahwa perintah `streamlit run app.py` menggunakan instalasi Python global alih-alih interpreter venv.
 - Solusi: Perintah dijalankan menggunakan `python -m streamlit run app.py`, yang secara eksplisit memaksa sistem menggunakan interpreter dan pustaka dari lingkungan virtual yang aktif. Solusi ini efektif mengatasi error dan menjaga isolasi environment.
- Tantangan 2: Alarm Palsu pada Kondisi Non-Kantuk
 - Deskripsi: Pada versi awal, sistem hanya mengandalkan nilai EAR, yang menyebabkan deteksi keliru seperti senyuman lebar atau mata sipit dianggap sebagai kantuk.
 - Solusi: Ditambahkan indikator MAR untuk mendeteksi aktivitas menguap. Selain itu, pengguna diberikan kontrol melalui slider interaktif di UI untuk mengatur threshold EAR dan MAR secara mandiri. Hal ini secara signifikan mengurangi tingkat alarm palsu dan meningkatkan akurasi sistem.

BAB V

ANALISIS HASIL DAN PERFORMA

5.1 Interpretasi Performa Model

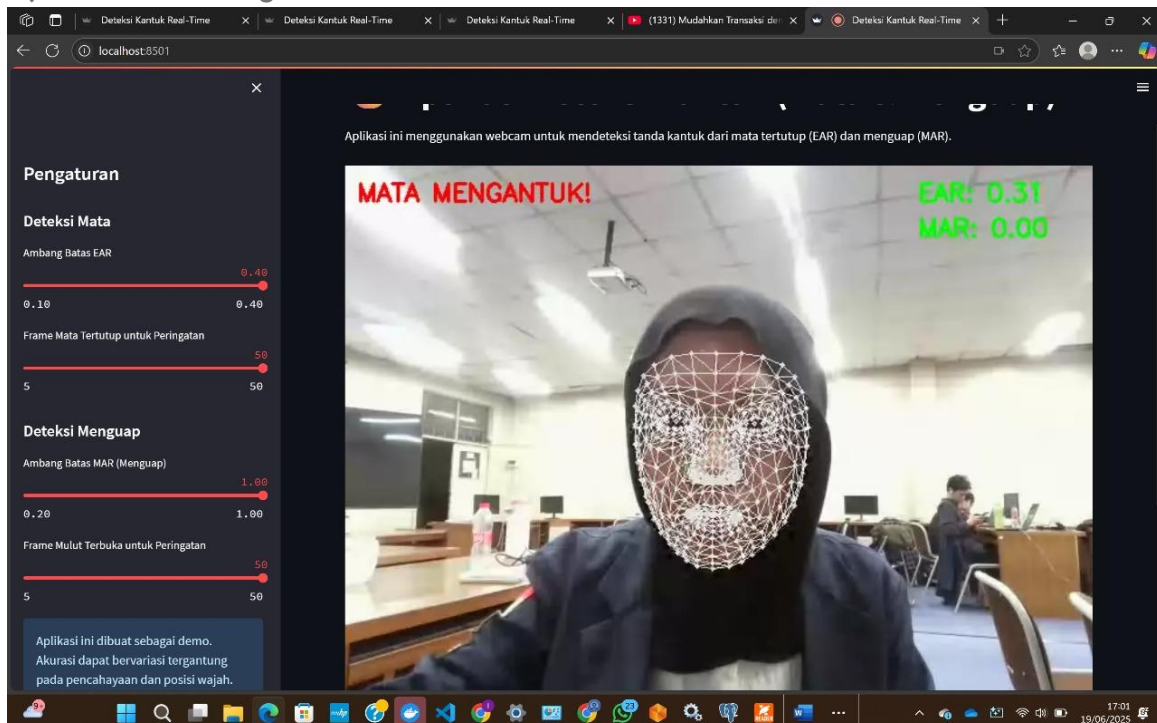
Pengujian dilakukan dalam kondisi pencahayaan yang memadai dan posisi wajah yang frontal terhadap kamera. Hasil menunjukkan bahwa:

- Deteksi landmark wajah oleh MediaPipe berlangsung stabil dan akurat.
- Nilai EAR (Eye Aspect Ratio) dan MAR (Mouth Aspect Ratio) berhasil merefleksikan kondisi fisiologis pengguna secara real-time.
- Sistem mampu mendeteksi kantuk secara efektif, ditandai dengan:
 - Penurunan signifikan EAR saat mata tertutup
 - Peningkatan MAR saat pengguna menguap
- Alarm visual dan audio berhasil dipicu tepat waktu pada kondisi kantuk, tanpa mengalami keterlambatan atau gangguan dalam pemrosesan.

Interpretasi ini menunjukkan bahwa sistem dapat diandalkan dalam lingkungan terkontrol, dan cocok sebagai prototipe awal deteksi kantuk berbasis video.

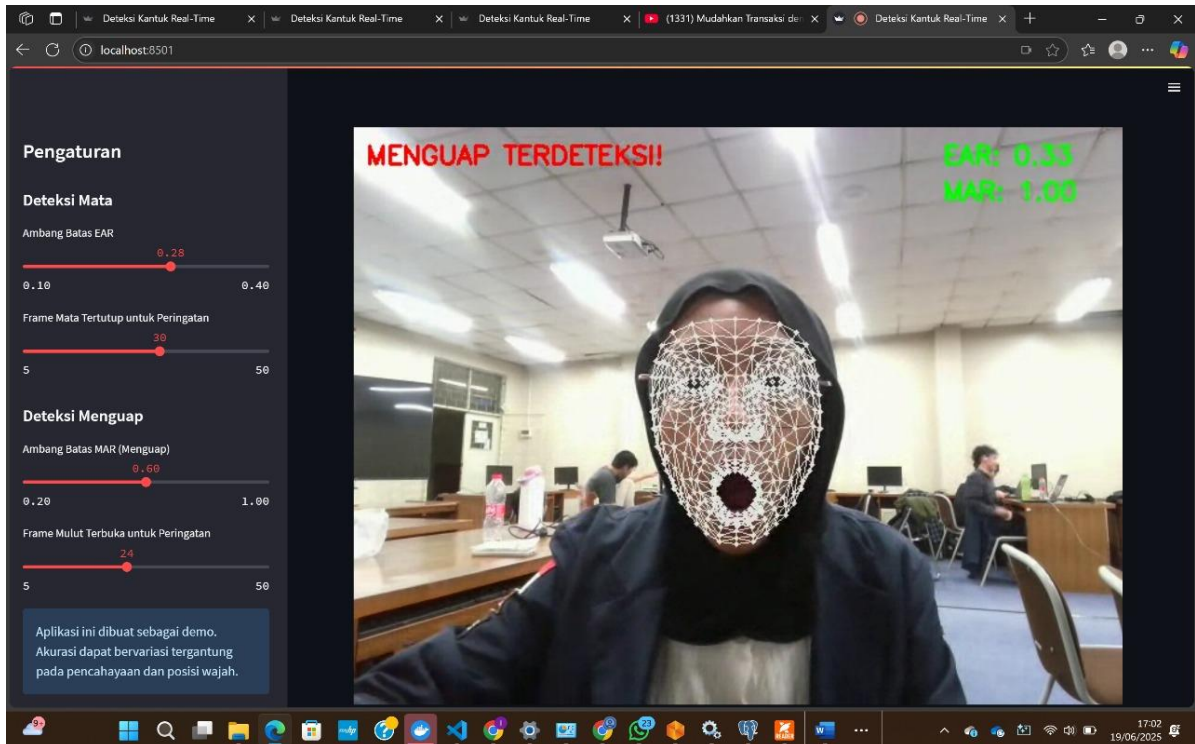
5.2 Hasil Implelementasi

- Uji Coba Mata Mengantuk



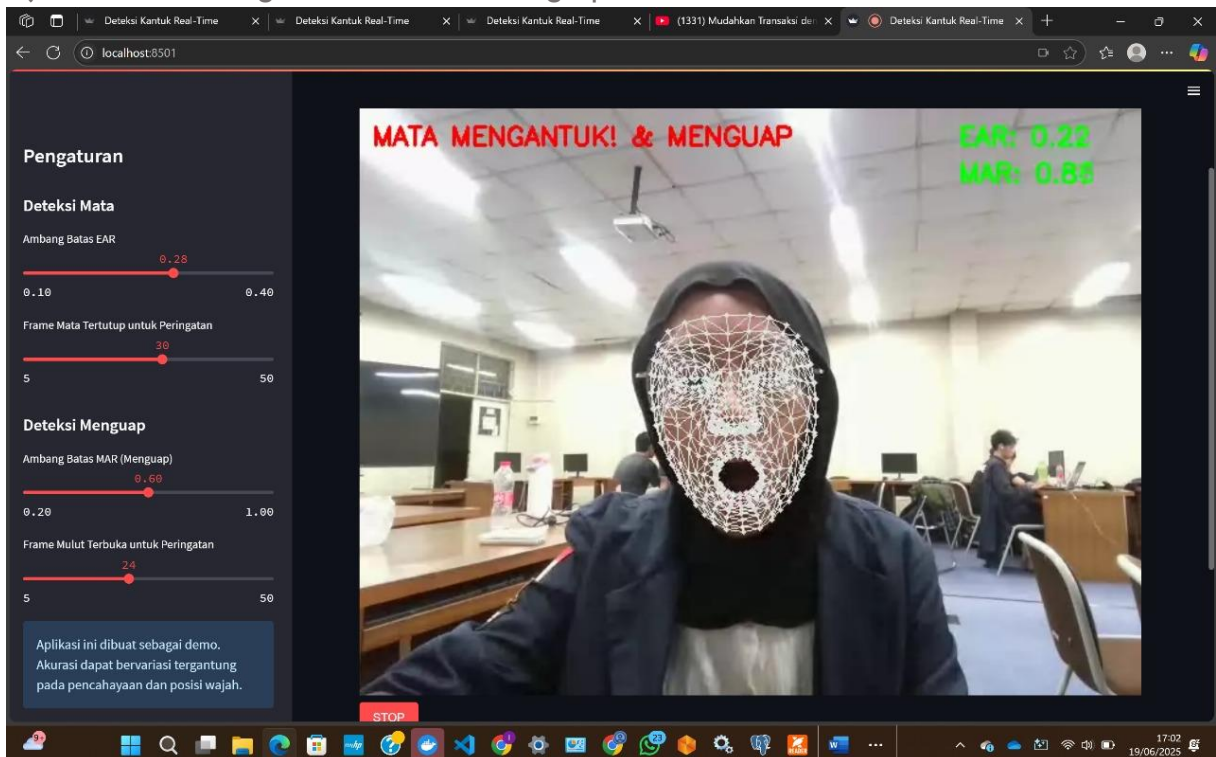
Dari uji coba tersebut, terlihat bahwasannya treshold untuk mata mengantuk adalah 40 dan frame mata tertutup untuk peringatan adalah 50, jadi jika dibawah 40 untuk tresholdnya dan frame matanya lebih dari 50 maka akan dianggap *Mata Mengantuk* oleh aplikasi, jadi akan mengeluarkan peringatan mata mengantuk dan suara alarm untuk membangunkan.

- Uji Coba Mulut Menguap



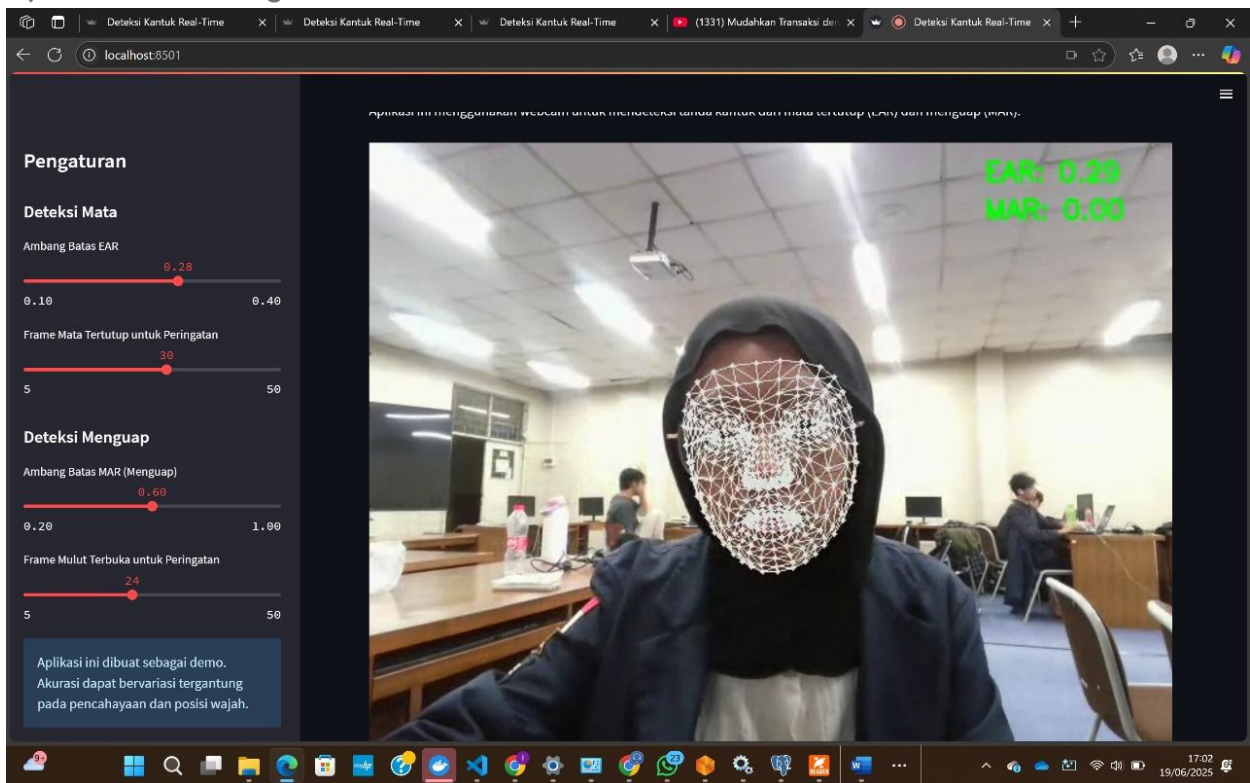
Dari uji coba tersebut terlihat bahwasannya, treshold untuk mulut menguap adalah 0,60 dengan frame mulut terbuka adalah 24. Jadi jika treshold lebih dari 0,60 dengan frame lebih dari 24, maka sistem menganggap *Menguap Terdeteksi*, dan mengeluarkan bunyi alarm.

- Uji Coba Mata Mengantuk dan Mulut Menguap



Dari uji coba tersebut, terlihat bahwasannya threshold untuk mata mengantuk adalah 0.28 dan threshold mulut menguap adalah 0.60, jadi jika terdeteksi kurang dari threshold mata dan lebih dari threshold mulut maka akan terdeteksi *Mata Mengantuk* dan *Mulut Menguap*, dan juga mengeluarkan bunyi alarm.

- Uji Coba Tidak Mengantuk



Dari uji coba tersebut, terlihat bahwasannya untuk mata tidak kurang dari threshold dan mulut tidak lebih dari threshold sehingga tidak terdeteksi mengantuk.

5.3 Kelebihan dan Kekurangan Solusi

- Kelebihan:
 - Kinerja Real-Time:
Sistem menunjukkan respons yang sangat cepat dalam memproses video berkat efisiensi arsitektur MediaPipe, memungkinkan deteksi kantuk secara langsung tanpa jeda yang berarti.
 - Biaya Implementasi Rendah:
Tidak memerlukan perangkat keras khusus seperti GPU eksternal; cukup menggunakan PC/laptop standar dengan webcam, menjadikannya solusi yang ekonomis dan mudah diakses.
 - Fleksibilitas dan Kemudahan Penggunaan:
Antarmuka pengguna yang dikembangkan dengan Streamlit bersifat interaktif dan mudah dipahami. Pengguna dapat menyesuaikan parameter deteksi (threshold EAR dan MAR) secara langsung melalui slider, meningkatkan fleksibilitas dalam berbagai kondisi lingkungan dan karakteristik wajah.
 - Deteksi Multi-Indikator:
Integrasi antara EAR (untuk mata) dan MAR (untuk mulut) membuat sistem lebih akurat dan tahan terhadap kesalahan deteksi jika hanya menggunakan satu parameter. Pendekatan ini meningkatkan keandalan dalam mengenali tanda-tanda kantuk.

- Kekurangan:
 - Sensitivitas terhadap Pencahayaan:
Performa sistem menurun secara signifikan dalam kondisi pencahayaan rendah atau saat terdapat bayangan kuat di wajah, yang mengganggu akurasi deteksi landmark.
 - Gangguan oleh Aksesori Wajah:
Penggunaan kacamata, terutama dengan bingkai tebal atau lensa reflektif, serta pemakaian masker, dapat menghalangi landmark wajah dan mengurangi efektivitas deteksi.
 - Keterbatasan Sudut Pandang:
Sistem bekerja optimal ketika wajah berada dalam posisi frontal terhadap kamera. Akurasi menurun jika wajah menoleh secara ekstrem ke samping atau bawah, karena beberapa landmark menjadi tidak terlihat.

5.4 Perbandingan dengan model lain

Perbandingan dilakukan antara sistem deteksi kantuk real-time berbasis *computer vision* (EAR & MAR) dengan model klasifikasi kantuk berbasis sinyal fisiologis (EKG & Random Forest).

- Metode Input dan Sifat Interaksi:
 - Model ini menggunakan klasifikasi Random Forest menggunakan input berupa sinyal Elektrokardiogram (EKG) yang direkam langsung dari tubuh.
- Indikator Deteksi Kantuk:
 - Model EKG mendeteksi kantuk berdasarkan perubahan pada sinyal fisiologis internal, yaitu Heart Rate Variability (HRV), yang menunjukkan perubahan pada aktivitas saraf otonom. Fitur ini dianalisis dari ranah waktu dan frekuensi.
- Teknologi dan Algoritma Inti
 - Model EKG secara spesifik melatih sebuah pengklasifikasi Random Forest dari awal dengan menggunakan fitur-fitur yang telah diekstraksi dari sinyal EKG untuk membedakan antara kondisi kantuk dan terjaga.
- Akurasi dan Keandalan
 - Model EKG dengan Random Forest menunjukkan performa kuantitatif yang sangat tinggi, dengan rata-rata akurasi 94,61%, sensitivitas 96,67%, dan spesifisitas 91,67% pada konfigurasi terbaiknya (segmentasi 40 detik).
- Praktikalitas dan Kasus Penggunaan
 - Model EKG, meskipun sangat akurat, dinilai kurang praktis untuk implementasi di dunia nyata seperti pada pengemudi karena sifatnya yang intrusif dan memerlukan peralatan perekam EKG khusus. Model ini lebih cocok untuk penelitian klinis atau lingkungan terkontrol.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN PENGEMBANGAN

6.1 Kesimpulan

Proyek ini berhasil mendemonstrasikan kelayakan pembuatan sistem deteksi kantuk yang efisien, mudah diakses, dan berbiaya rendah menggunakan teknologi *computer vision* modern. Prototipe yang dihasilkan mampu memberikan peringatan dini yang akurat berdasarkan analisis mata dan mulut. Tantangan-tantangan teknis yang muncul selama pengembangan berhasil diatasi, menghasilkan aplikasi yang stabil dan fungsional.

6.2 Saran Pengembangan Lanjutan

1. Integrasi Deteksi Orientasi Kepala: Menambahkan parameter ketiga dengan menganalisis rotasi kepala (pitch, yaw, roll) untuk mendeteksi kepala yang terkulai, salah satu tanda kantuk paling jelas.
2. Implementasi Sistem Skor Cerdas: Mengganti pemicu biner dengan sistem skor. Setiap indikator (mata tertutup, menguap, kepala terkulai) akan memberikan sejumlah poin. Alarm baru akan aktif jika total skor akumulatif melebihi ambang batas, membuat sistem lebih cerdas dan tahan terhadap anomali sesaat.
3. Fitur Kalibrasi Otomatis: Mengembangkan modul awal yang selama 10-15 detik pertama akan "mempelajari" nilai dasar EAR dan MAR pengguna saat dalam kondisi sadar, kemudian secara otomatis mengatur *threshold* yang dipersonalisasi.
4. Analisis Frekuensi Kedipan (Blink Rate): Menghitung frekuensi dan durasi kedipan mata, karena individu yang mengantuk cenderung berkedip lebih lambat.
5. Pengujian di Lingkungan Nyata: Melakukan uji coba lebih lanjut di luar laboratorium, seperti di dalam mobil (dalam kondisi aman dan terkontrol) untuk memahami performa sistem terhadap getaran dan perubahan pencahayaan yang dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- Jaykumaran, (2023) *Detecting Driver Drowsiness or Sleep Tiredness (Yawn, Wake, etc.) Using YOLO V8*. Available at: <https://medium.com/@jaykumaran2217/detecting-driver-drowsiness-or-sleep-tiredness-yawn-wake-etc-using-yolo-v8-fa309851842b> (Accessed: 19 June 2025).
- Krishnan, A. and Suresha, M. (2016) 'A Real Time Driver Drowsiness Detection System', *Computer Vision Winter Workshop*, pp. 27–32. Available at: <https://vision.fe.uni-lj.si/cvww2016/proceedings/papers/05.pdf> (Accessed: 19 June 2025).
- Pusparini, F.I. and Nur'aini, E. (2023) 'Pengembangan Sistem Deteksi Kantuk Menggunakan Metode Machine Learning pada Citra Video', *Jurnal Rekayasa Informasi*, 12(1), pp. 60-70. Available at: https://dlwqtxtslxzle7.cloudfront.net/97178813/672-libre.pdf?1673518029=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPengembangan_Sistem_Deteksi_Kantuk_Mengg.pdf&Expires=1750327675&Signature=gKdAIKGRJ0LqcNmUGQBUWZd3AxWkKDAZSArSynCEXUzYyvpITbPge6CBjDskJLKMrU78vqtNNAupc3TK3qVC9u98uIuB0A2KNr2FeKPAKOAhHQYQNjxq0Wo3EjYhb7mZe5RhIkT8gnlCTf8XeF5UPMyzBi7vUUx-y8Z6RRLHrLjklhrLgrdRKI5dObsiEC3aIOtjK-HxxeQrtKC10RglVYt4mj6HAA8crQY5GAIO-X5R3zDatQpjh6gOAV8zt87BklxGw2bhAqgm2gKSCNFTRFOIxfYi0WkHt7074UQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA (Accessed: 19 June 2025).
- World Health Organization (2022) *WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour: Policy Brief*. Available at: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/364094/1020-3397-2022-2809-635-701-eng.pdf?sequence=1#page=65> (Accessed: 19 June 2025).