

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Jumlah Data Set

Pembagian ini didasarkan pada ekspresi wajah yang umum terlihat saat seseorang mengalami kantuk, khususnya ketika sedang berkendara. Tujuan dari pembagian ini adalah untuk membantu sistem mengenali tanda-tanda kantuk sejak dini dan memberikan peringatan kepada pengemudi sebelum kondisi menjadi berbahaya.

Pertama, kategori *normal* menggambarkan kondisi ketika pengemudi dalam keadaan sadar penuh. Pada saat ini, mata pengemudi terbuka dan mulut tertutup, tidak menunjukkan tanda-tanda kelelahan. Kondisi ini menjadi acuan dasar bahwa pengemudi sedang dalam keadaan siaga dan siap untuk mengendalikan kendaraan dengan baik. Dengan mengenali kondisi normal ini, sistem bisa membandingkannya dengan dua kondisi lainnya yang mengindikasikan awal mula atau tingkatan kantuk yang lebih serius.

Kemudian, kategori *eyeclosed* menunjukkan situasi di mana mata pengemudi tertutup. Hal ini menjadi indikator penting, terutama jika mata tertutup secara terus-menerus dalam waktu antara 0,5 hingga 2 detik. Meskipun terdengar sebentar, durasi ini bisa jadi menandakan bahwa pengemudi mulai kehilangan fokus atau bahkan mengalami *microsleep*, yaitu kondisi di mana seseorang tertidur secara singkat tanpa disadari. *Microsleep* ini sangat berbahaya karena dalam hitungan detik saja bisa menyebabkan kecelakaan fatal. Oleh karena itu, jika sistem mendeteksi kondisi *eyeclosed* dengan durasi yang masuk ke dalam kriteria tersebut, maka sistem secara otomatis akan memberikan peringatan awal kepada pengemudi. Tujuannya adalah agar pengemudi bisa segera tersadar dan kembali fokus mengemudi.

Selanjutnya, kategori *yawn* atau menguap menggambarkan keadaan saat mulut pengemudi terbuka lebar, biasanya sebagai respons alami tubuh ketika merasa lelah atau kekurangan oksigen. Dalam konteks sistem ini, menguap yang terjadi dalam durasi antara 4 hingga 6 detik dianggap sebagai tanda kantuk yang lebih serius. Durasi tersebut menunjukkan bahwa tubuh pengemudi sudah mulai merasa sangat lelah, dan tidak menutup kemungkinan pengemudi bisa tertidur dalam waktu dekat jika tidak segera beristirahat. Oleh sebab itu, saat sistem mengenali adanya ekspresi *yawn* dalam durasi tersebut, peringatan yang diberikan akan lebih kuat atau lebih mendesak dibandingkan peringatan saat mendeteksi *eyeclosed*.

Dengan mendasarkan proses deteksi pada tiga kategori ini — *normal*, *eyeclosed*, dan *yawn* — sistem ini dirancang agar mampu mengenali tanda-tanda kantuk secara real-time dari ekspresi wajah pengemudi. Harapannya, sistem ini bisa menjadi alat bantu yang efektif dalam menjaga keselamatan berkendara, terutama dalam perjalanan jarak jauh atau saat kondisi tubuh tidak fit. Teknologi seperti ini penting untuk mencegah kecelakaan lalu lintas yang sering terjadi akibat pengemudi mengantuk namun tidak menyadarinya.

4.2 Cuplikan Training Data Set Image

- a. Dalam tahap pelatihan model untuk mengklasifikasikan gambar, mengubah nama dataset merupakan salah satu langkah krusial yang dilakukan sebelum fase pelatihan dimulai. Dengan menggunakan nama file gambar yang acak atau tidak terorganisir, sistem akan kesulitan dalam mengelompokkan data ke dalam kategori yang telah ditetapkan, seperti *normal*, *mata tertutup*, dan *menguap*. Oleh sebab itu, penamaan ulang gambar diperlukan agar setiap foto memiliki format nama yang jelas, terstandarisasi, dan sesuai dengan konten gambar berdasarkan kelasnya.

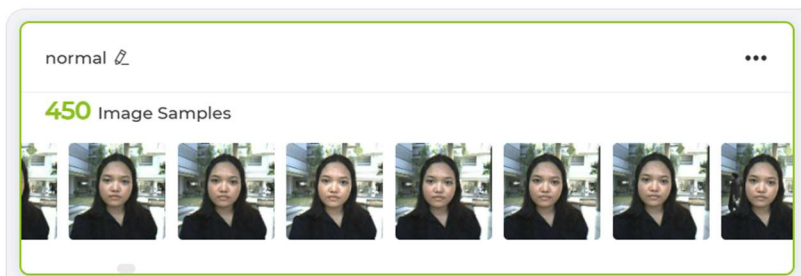
Proses penggantian nama ini juga mempertimbangkan berbagai faktor penting, di antaranya adalah posisi wajah pengemudi, kondisi pencahayaan, lokasi pengambilan foto, serta variasi subjek yang ada. Variasi ini sengaja dimasukkan ke dalam dataset agar model yang sedang dilatih dapat mengenal ekspresi wajah dalam berbagai situasi. Dengan cara ini, model akan lebih tahan terhadap gangguan atau noise yang mungkin terjadi di dunia nyata, seperti perubahan pencahayaan di siang dan malam hari, sudut pandang kamera, serta karakteristik wajah yang berbeda dari setiap individu.

Selain itu, proses penamaan kembali file dilakukan dengan sistematis, contohnya dengan format: *nama gambar-01.jpg*, seperti *normal-01.jpg*, *eyeclosed-01.jpg*, atau *yawn-01.jpg*. Format semacam ini tidak hanya memudahkan dalam proses pelatihan, tetapi juga sangat berguna dalam proses validasi dan debugging, karena memungkinkan kita untuk langsung mengidentifikasi gambar berdasarkan asal dan kelas tanpa perlu membuka setiap file satu per satu.

Langkah ini juga sangat strategis untuk mendukung proses deteksi secara real-time, karena model yang dibangun dengan data yang teratur dan sistematis akan menunjukkan performa yang lebih baik saat diaplikasikan di perangkat seperti Grove Vision AI V2. Dengan data yang terorganisir dan mudah dipahami oleh sistem, proses klasifikasi ekspresi wajah ketika sistem dijalankan di lapangan menjadi lebih cepat, akurat, dan efisien.

Generate AI Classification Model

Step 1: Collect Classification Data



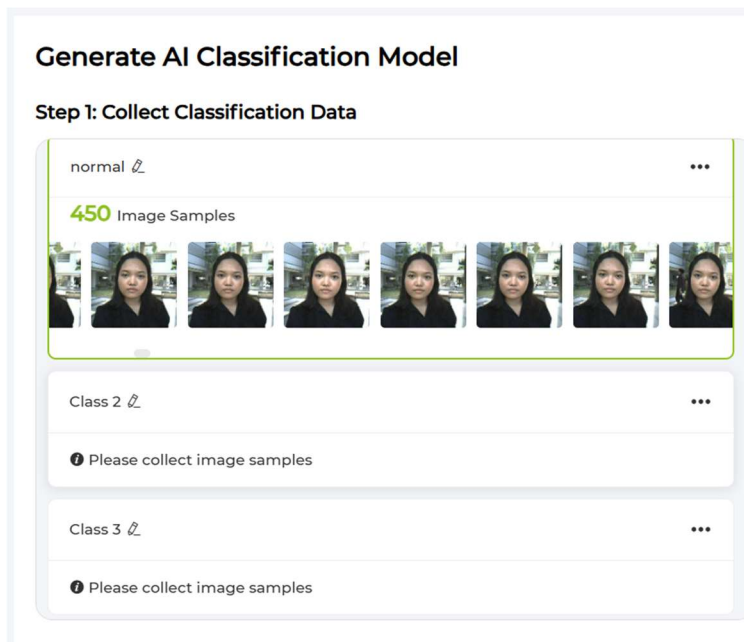
Gambar 4.1 Step 1

- b. Setelah data berhasil dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah menempatkan gambar-gambar ke dalam folder atau direktori yang sudah dikategorikan berdasarkan kelas. Dalam sistem ini, gambar dibagi menjadi tiga kategori utama: normal, eyeclosed, dan yawn. Setiap kategori mencerminkan kondisi ekspresi wajah pengemudi yang berbeda, yang akan dimanfaatkan sebagai data pelatihan untuk model kecerdasan buatan (AI) yang bertujuan mendeteksi tingkat kantuk secara langsung.

Penyortiran gambar ke dalam folder yang tepat sangat penting agar sistem dapat mengidentifikasi pola dari masing-masing ekspresi secara lebih efektif. Sebagai contoh, gambar yang menunjukkan keadaan mata terbuka dan mulut tertutup akan dimasukkan ke dalam folder normal. Di sisi lain, gambar dengan mata tertutup akan ditaruh dalam folder eyeclosed, sedangkan gambar yang menampilkan ekspresi menguap (mulut terbuka) akan dikelompokkan ke folder yawn. Proses ini dapat dilakukan secara manual atau otomatis, bergantung pada metode pengelolaan dataset yang dipilih.

Dengan mengorganisir file gambar ke dalam struktur folder yang teratur dan konsisten, proses pelatihan menggunakan platform seperti SenseCraft AI atau Edge Impulse akan menjadi lebih sederhana. Sistem akan mengenali folder sebagai label untuk setiap gambar yang ada di dalamnya, sehingga tidak perlu melakukan pelabelan secara manual. Selain itu, struktur folder tersebut juga penting saat proses validasi model, karena setiap kategori dapat diuji secara terpisah dengan menggunakan gambar yang telah terstruktur.

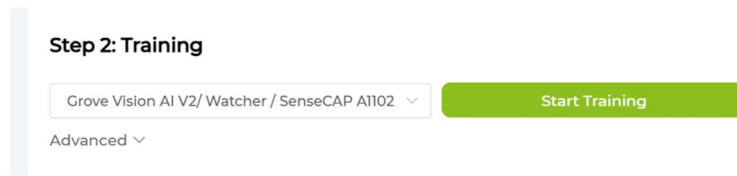
Pengelompokan gambar berdasarkan kategori juga berperan dalam penilaian kinerja model. Contohnya, jika model gagal dalam mengklasifikasikan gambar dari kategori *eyeclosed*, maka analisis dapat difokuskan pada folder tersebut untuk memeriksa apakah data yang digunakan sudah cukup mewakili. Oleh karena itu, pengaturan gambar ke dalam folder sesuai dengan kategori bukan hanya langkah teknis, tetapi juga merupakan aspek krusial dari strategi pelatihan model agar hasil akhir sistem lebih tepat dan dapat diandalkan dalam praktik.



Gambar 4.2 File Data Set

- c. Setelah seluruh data citra dimasukkan ke dalam platform SenseCraft AI dan masing-masing gambar telah diklasifikasikan ke dalam kelas yang sesuai, langkah selanjutnya adalah melakukan pelatihan model atau yang dikenal sebagai 'Training Data Set'.

Proses ini merupakan inti dari pembelajaran mesin, di mana sistem akan mempelajari pola-pola visual dari setiap kelas yang ada. Dalam SenseCraft AI, pengguna cukup menekan tombol 'Step 2: Training' yang tersedia di antarmuka platform. Proses pelatihan ini dilakukan secara otomatis oleh sistem, tanpa perlu pengaturan parameter secara manual oleh pengguna. Selama pelatihan, sistem akan mengekstraksi fitur dari gambar, melakukan pembelajaran terhadap data yang telah dikelompokkan, dan menyusun model klasifikasi yang mampu membedakan gambar berdasarkan label kelasnya. Durasi pelatihan bergantung pada jumlah data dan kompleksitas model, namun pada umumnya hanya memerlukan beberapa menit saja.

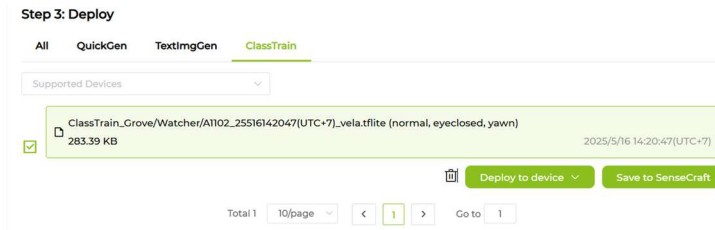


Gambar 4.3 Training Data

- d. Setelah seluruh data citra dimasukkan ke dalam platform SenseCraft AI dan masing-masing gambar telah diklasifikasikan ke dalam kelas yang sesuai dengan kelas yang sudah ditetapkan, langkah selanjutnya adalah melakukan adanya pelatihan model atau yang dikenal sebagai 'Training Data Set'. Proses ini merupakan inti dari pembelajaran mesin, di mana sistem akan mempelajari pola-pola visual dari setiap kelas yang ada dengan berbagai macam pose orang yang berbeda wajah, cahaya, lokasi, dan gaya yang berbeda tiap orangnya. Dalam SenseCraft AI, pengguna cukup menekan tombol 'Step 2: Training' yang tersedia di antarmuka platform.

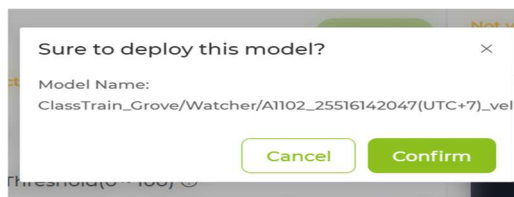
Pada proses pelatihan ini dilakukan secara otomatis oleh sistemnya, tanpa perlu pengaturan parameter secara manual oleh pengguna. Selama pelatihan, sistem akan mengekstraksi fitur dari gambar, melakukan pembelajaran terhadap data yang telah dikelompokkan, dan menyusun model klasifikasi yang mampu membedakan gambar berdasarkan label kelasnya.

Durasi pelatihan bergantung pada jumlah data dan kompleksitas model, namun pada umumnya hanya memerlukan beberapa menit saja. Jika ingin pelatihan tidak lama, harus mengecilkan ukuran gambar yang ada dari banyaknya gambar tersebut dengan format yang pastinya .jpg, jika format lain tidak akan bisa menjadi data yang sudah terdeploy dengan baik.



Gambar 4.4 Format File

- e. Setelah proses pelatihan selesai, Langkah selanjutnya, SenseCraft AI akan secara otomatis menghasilkan file model dalam format TensorFlow Lite (.tflite). File ini merupakan representasi dari model pembelajaran mesin yang telah dilatih, dan dapat digunakan untuk keperluan inferensi atau prediksi pada perangkat edge seperti Grove Vision AI v2. Format .tflite dipilih karena ringan dan kompatibel dengan berbagai perangkat Internet of Things (IoT) dan *embedded system*. Pengguna tidak perlu melakukan proses konversi tambahan, karena sistem telah secara otomatis menyiapkan file tersebut dalam format yang siap pakai.

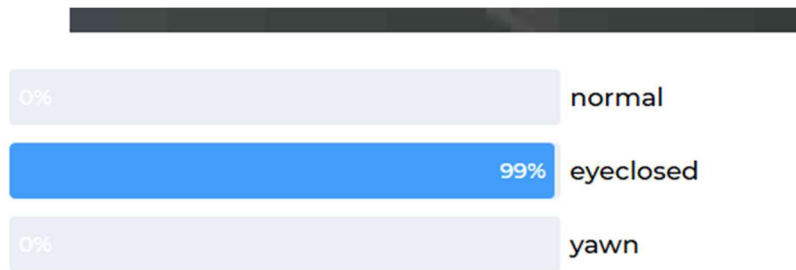


Gambar 4.5 Model Training

- f. Presentase akan muncul dengan adanya kamera yang dideteksi setelah pelatihan atau training selesai, akan diterapkannya ke perangkat kerja yang tertuju dan kamera sudah berhasil mendeteksi oelh sistem. Karena, file tadi sudah masuk di grove vision yang sudah digabungkan, SenseCraft AI akan mulai menampilkan hasil inferensi secara real-time, karena kamera ini diatur secara real-time pendeteksiannya. Sistem akan menampilkan presentase

prediksi untuk setiap kelas yang tersedia. Berdasarkan inputan gambar langsung dari kamera.

Presentasi ini menunjukkan Tingkat keyakinan model terhadap klasifikasi gambar tersebut ke salah satu kelas. Muisalnya jika kamera menangkap wajah seseorang dengan mata tertutup, maka sistem dapat menampilkan prediksi seperti: “*eyeclosed 92%*”, “*normal 7%*”, dan “*yawn 1%*”. Informasi ini sangat berguna dalam monitoring kamera secara real-time, karena dapat memberikan umpan balik instan terhadap apa yang dilihat di kamera secara real-time.



Gambar 4.6 Hasil Pendeteksian

4.3 Penginputan Data Set

Gambar berikut ini menunjukkan beberapa data citra yang telah dimasukkan ke dalam platform SenseCraft AI untuk keperluan pelatihan model klasifikasi visual.

Gambar-gambar ini merupakan representasi dari objek yang akan dikenali oleh sistem, dalam hal ini yaitu ekspresi wajah manusia yang menjadi fokus utama dari sistem pengenalan. Seluruh data diperoleh melalui proses pengambilan gambar menggunakan modul kamera yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu modul kamera Raspberry Pi OV5647 yang terhubung ke perangkat Grove Vision AI v2.

Setiap gambar mencerminkan satu kondisi spesifik dari wajah manusia, seperti mata terbuka, mata tertutup, dan ekspresi menguap (yawn). Data diambil secara langsung melalui kamera yang terintegrasi, dengan memperhatikan berbagai faktor variasi untuk memastikan bahwa model memiliki generalisasi yang baik. Beberapa faktor tersebut antara lain:

1. Posisi Wajah yang Beragam

Gambar dikumpulkan dari wajah manusia dengan berbagai posisi orientasi, mulai dari menghadap lurus ke depan, miring ke kanan, miring ke kiri, sedikit menunduk, hingga posisi kepala yang condong ke atas. Hal ini dilakukan untuk mensimulasikan kondisi nyata di mana posisi wajah pengguna tidak selalu statis saat ditangkap oleh kamera.

2. Variasi Lokasi dan Latar Belakang

Pengambilan data dilakukan di beberapa lokasi berbeda seperti di dalam ruangan dengan pencahayaan buatan (indoor artificial light), di dekat jendela dengan cahaya alami (natural light), serta di area semi-terbuka. Latar belakang pun bervariasi, dari dinding polos hingga area dengan objek lain di sekeliling wajah.

3. Keanekaragaman Subjek (Orang yang Berbeda)

Data tidak hanya berasal dari satu orang saja, melainkan dari beberapa individu dengan karakteristik wajah yang berbeda, termasuk perbedaan warna kulit, bentuk wajah, jenis kelamin, dan usia. Dengan menggunakan wajah dari berbagai individu, model diharapkan mampu belajar mengenali ekspresi berdasarkan fitur-fitur umum, bukan ciri-ciri pribadi.

4. Pencahayaan yang Beragam

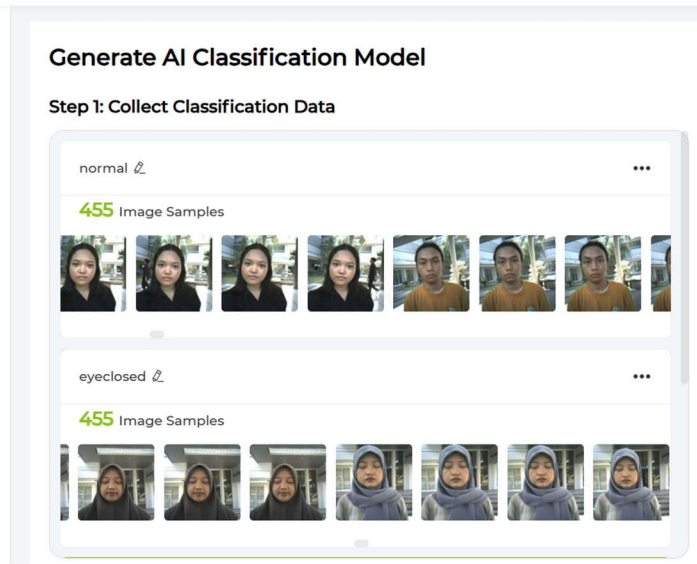
Untuk menguji ketahanan model terhadap perubahan pencahayaan, data dikumpulkan dalam berbagai kondisi intensitas cahaya. Mulai dari pencahayaan terang yang langsung mengenai wajah, pencahayaan redup, hingga kondisi backlight. Karena dari beberapa kondisi Cahaya ini dapat membantu adanya hasil yang memungkinkan maksimal deteksi,

5. Ekspresi Wajah yang Berbeda-beda

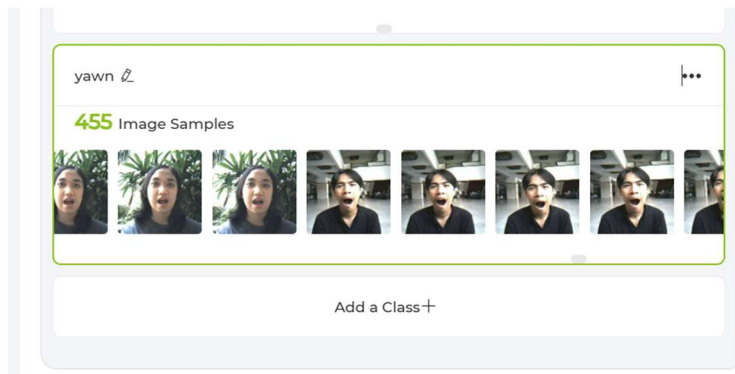
Setiap gambar dalam dataset mewakili ekspresi atau kondisi wajah yang menjadi target klasifikasi, seperti kondisi 'normal' (mata terbuka dan wajah tenang), 'eye closed' (mata tertutup), dan 'yawn' (wajah saat menguap). 3 kelas ini harus ditetapkan sebelum adanya pemasukkan gambar pada SenseCraft tersebut, agar mempermudah pengerjaan dan tidak membuang-buang waktu yang ada.

Semua gambar yang dimasukkan ke dalam SenseCraft AI telah diatur ke dalam folder dan label kelas yang sesuai. Platform kemudian melakukan identifikasi otomatis terhadap data dan mengkategorikannya. Dengan adanya keberagaman dalam posisi wajah, lokasi, subjek, pencahayaan, dan ekspresi, model yang dilatih diharapkan memiliki kemampuan generalisasi yang tinggi dan tidak hanya mampu mengenali kondisi-kondisi yang spesifik saja, melainkan dapat diterapkan secara luas dalam berbagai situasi nyata.

Pada pengambilan wajah yang berbeda-beda juga dapat memberikan referensi kamera real-time pada saat mencari deteksi bahwa pengguna sedang termasuk kedalam tingkatan apa. Dengan adanya hal ini dari kolaborasi dari beberapa wajah bisa mengenali prsentase yang terbaca



Gambar 4.7 Input Data Set



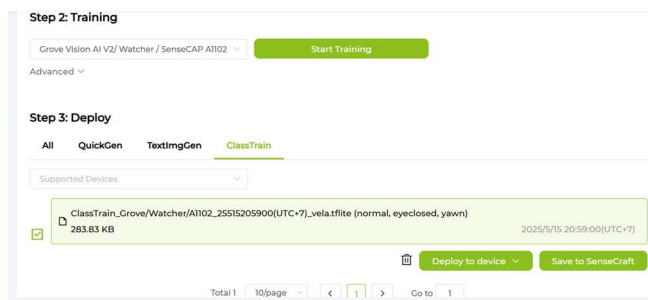
Gambar 4.8 Input Data Set

4.4 Hasil Pengujian Sistem

Setelah proses pengambilan data gambar dilakukan, langkah berikutnya adalah mengelompokkan gambar-gambar tersebut ke dalam kelas (label) yang sudah ditentukan sebelumnya. Misalnya dalam proyek ini, data dibagi menjadi tiga kelas, yaitu normal, eyeclosed (mata tertutup), dan yawn (mengantuk atau menguap). Pengelompokan ini dilakukan agar setiap gambar memiliki label yang merepresentasikan kondisi sebenarnya yang tampak pada gambar tersebut.

Proses pengelompokan ini tidak bisa dilakukan secara asal, karena setiap gambar perlu diverifikasi terlebih dahulu apakah benar-benar sesuai dengan kelas

yang ditetapkan. Oleh karena itu, gambar-gambar yang telah dikumpulkan melalui kamera akan diperiksa satu per satu, lalu dipindahkan ke folder masing-masing kelas (seperti folder normal/, eyeclosed/, dan yawn/) agar memudahkan proses training nantinya.



Gambar 4.9 Hasil Training

4.5 Tabel Indikator Ketentuan

Dalam upaya meningkatkan keselamatan berkendara, deteksi kantuk pada pengemudi menjadi salah satu aspek penting dalam pengembangan sistem berbasis kecerdasan buatan (AI). Tabel yang disajikan menguraikan secara sistematis tingkatan kantuk beserta deskripsi kondisi pengemudi dan kriteria deteksi spesifik berdasarkan hasil pengenalan dari sistem AI yang menggunakan kamera secara real-time, khususnya melalui parameter seperti durasi mata tertutup ('eyeclosed') dan durasi menguap ('yawn') yang terdeteksi oleh kamera dan model klasifikasi visual.

1. Tingkat: Tidak Mengantuk

Pada Tingkat ini pengemudi belum menunjukkan adanya tanda-tanda mengantuk yang signifikan, artinya pengemudi masih normal seperti pada umumnya menyetir. Namun sistem ini mendeteksi adanya awal dari penurunan fokus dan refleks pengemudi. Secara fisiologis, hal ini bisa terjadi akibat adanya kelelahan ringan atau gangguan perhatian sementara yang dapat menyebabkan pengemudi mulai kelelahan. Akan tetapi ditingkat ini belum dinyatakan adanya kantuk pada pengemudi, hanya akan adanya permulaan rasa kantuk. Dengan hal ini, respon yang terjadi pada output tim yaitu tampilan Bot telegram dan juga buzzer.

- Kriteria deteksi :

Deteksi `eyeclosed` dalam rentang durasi $\geq 0,5$ detik hingga < 1 detik, terjadi 1–2 kali dalam 5 detik. (pada tabel)

2. Tingkat: Mulai Mengantuk

Pada tahap ini, tanda kantuk pada pengemudi mulai terlihat sedikit jelas. Pengemudi menunjukkan frekuensi yang lebih sering terjadi, dan secara keseluruhan mulai masuk pada kondisi yang dapat membahayakan keselamatan berkendara pada pengemudi itu. Dengan adanya hal ini, respon yang akan muncul yaitu adanya Bot telegram yang masuk diHp pengemudi, MP3 guna untuk mengeluarkan suara sebagai tanda bahwa pengemudi mulai mengantuk, buzzer yang aktif.

- Kriteria Deteksi:

Deteksi `eyeclosed` ≥ 1 detik, terjadi ≥ 3 kali dalam 10 detik atau `yawn` selama 4–5 detik, terjadi 1–2 kali dalam 10 detik.

- Keterangan:

Pengemudi tampak mulai kehilangan kesadaran visual sesaat karena mata sering tertutup

3. Tingkat: Mengantuk

Pada tahap ini, merupakan kategori tertinggi didalam klasifikasi kantuk pada pengemudi tersebut, yang menandakan bahwa pengemudi tersebut berada dalam kondisi yang sangat berbahaya dalam menyetir dan memiliki kemungkinan besar untuk tertidur atau biala disebut dengan *microsleep* pada saat mengemudi yang juga dapat membahayakan diri sendiri, serta orang lain yang nantinya terkena imbasnya jika hal yang tidak diinginkan terjadi itu terjadi.

Pada dasarnya, pengemudi tidak akan sadar saat mengalami adanya hal ini, inilah yang membuat kondisi yang sangat berbahaya bagi keselamatan berkendara padaa pengemudi tersebut. Microsleep dapat terjadi dengan adnya gejala yang tidak jelas pada saat mengemudi yang berfokus pada menyetir kendaraan tersebut, hal ini terjadi dengan durasi yang sangat singkat tapi membahayakan bagi

sekitar dan mengenalinya sebagai episode tidur, pengemudi merasakan seolah pengemudi hanya berkedip Panjang saja atau melamun, padahal dalam kenyataannya terjadi adanya kehilangan kesadaran penuh yang menyebabkan ilsi pengemudi tetap terjaga padahal fungsi sensoriknya berhenti sejenak, pada jalan yang lurus, sepi, dan tidak banyak perubahan visual juga menyebabkan otak menjadi lebih mudah masuk ke dalam mode istirahat.

Ketika tidak ada hal yang mencolok yang memicu adanya respon sadar. Dengan hal ini, output akhir jika terdeteksi adanya rasa kantuk yang mulai berbahaya ini yaitu adanya Bot telegram yang masuk diHp pengemudi, MP3 guna untuk mengeluarkan suara sebagai tanda bahwa pengemudi mulai mengantuk, buzzer yang aktif.

- Kriteria deteksi :

Deteksi `eyeclosed` ≥ 2 detik nonstop atau ≥ 5 kali berturut-turut atau `yawn` ≥ 6 detik, atau terjadi ≥ 3 kali dalam waktu < 10 detik.

- Keterangan :

Pengemudi menunjukkan adanya kemungkinan tertidur atau biasa disebut dengan microsleep, dan mengalami kondisi yang berbahaya bagi keselamatan diri pengemudi serta orang lain.

Tabel 4.1 Tabel Spesifik

Tingkatan Kantuk	Deskripsi	Kriteria Deteksi AI (Spesifik)
Tidak Mengantuk	Pengemudi mulai kehilangan fokus, refleksi menurun.	- Deteksi `eyeclosed` selama $\geq 0,5$ detik hingga < 1 detik, terjadi 1–2 kali dalam 5 detik. - ATAU `yawn` terdeteksi selama < 4 detik sebanyak 1 kali.
Mulai Mengantuk	Mata sering tertutup, sudah mulai berbahaya.	- Deteksi `eyeclosed` ≥ 1 detik, terjadi ≥ 3 kali dalam 10 detik. - ATAU `yawn` selama 4–5 detik, terjadi 1–2 kali dalam 10 detik.
Mengantuk	Pengemudi kemungkinan tertidur; sangat berbahaya.	- Deteksi `eyeclosed` ≥ 2 detik nonstop atau ≥ 5 kali berturut-turut. - ATAU `yawn` ≥ 6 detik, atau terjadi ≥ 3 kali dalam waktu < 10 detik.

4.6 Hasil Akhir dari Pengujian Kamera

Setelah masing-masing komponen utama proyek berhasil dibuat secara terpisah, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terpadu dengan menggabungkan ketiga perangkat tersebut ke dalam satu sistem yang terintegrasi. Pengujian ini dilakukan melalui platform Arduino IDE, yang berfungsi sebagai lingkungan pengembangan dan pemrograman utama dalam pengaturan logika antar perangkat yang nantinya dapat menghasilkan beberapa output yang ditentukan, dari kamera dan smartwatch akan menghasilkan.

Adapun tiga alat utama yang digabungkan dalam sistem ini, yaitu :

a. Modul Kamera (Kamera ov5647)

Berfungsi sebagai alat utama untuk menangkap ekspresi wajah pengemudi secara real-time, terutama fokus pada kondisi mata (terbuka atau tertutup) dan aktivitas menguap (yawn). Kamera ini melakukan proses inferensi berdasarkan model yang telah dilatih dan disimpan dalam format `.tflite`, untuk mendeteksi tanda-tanda kantuk secara visual.



Gambar 4.10 Modul Kamera

b. Smartwatch

Perangkat ini digunakan untuk mendeteksi parameter fisiologis dari pengguna, seperti denyut jantung dan gerakan tangan. Informasi ini menjadi indikator tambahan yang memperkuat hasil deteksi kamera. Misalnya, jika detak jantung menurun drastis atau tidak ada pergerakan selama beberapa waktu, hal tersebut bisa mengindikasikan kondisi mengantuk atau kehilangan fokus.



Gambar 4.11 Smartwatch

c. Sistem Output Peringatan

Sistem ini terdiri dari beberapa umpan balik yang diberikan kepada pengguna pengemudi ketika sistem mendeteksi adanya gejala kantuk. Output tersebut yaitu :

- Adanya Buzzer

Menghasilkan suara peringatan instan dengan nada tinggi sebagai alarm fisik.



Gambar 4.12 Buzzer

- Adanya Audio MP3 Player

Mengeluarkan pesan suara atau intruksi yang telah direkam sebelumnya untuk membangunkan pengemudi saat pengemudi sudah terdeteksi adanya tanda bahaya.



Gambar 4.13 Mp3tf Audio

- Adanya Notifikasi melalui Bot Telegram

Mengirimkan pesan otomatis ke akun Telegram yang terdaftar untuk memberikan peringatan digital secara langsung, baik ke pengemudi itu sendiri maupun ke kontak darurat.



Gambar 4.14 Bot Telegram

Selama proses integrasi, seluruh perangkat dikendalikan melalui skrip yang ditanamkan pada Arduino, dengan logika pemrosesan yang mengatur bagaimana data dari kamera dan smartwatch diproses. Jika salah satu perangkat mendeteksi indikasi kantuk, maka sistem akan langsung men-trigger salah satu atau seluruh output peringatan sesuai dengan konfigurasi yang ditetapkan.

Hasil dari penggabungan ketiga alat ini menunjukkan bahwa baik kamera maupun smartwatch telah berhasil terhubung dengan sistem, serta mampu bekerja secara sinkron dan konsisten dalam menghasilkan output peringatan yang sama. Dengan demikian, sistem ini menunjukkan kinerja yang andal untuk mendeteksi kondisi kantuk berdasarkan kombinasi sinyal visual dan fisiologis, serta secara langsung memberikan peringatan melalui saluran fisik dan digital.

Penggabungan multi-perangkat ini bukan hanya meningkatkan akurasi deteksi, tetapi juga memperkuat keandalan sistem dalam situasi nyata, di mana satu sumber data saja sering kali tidak cukup untuk mengambil keputusan yang akurat. Selain itu, penggunaan Telegram Bot juga menambah nilai praktis sistem karena memfasilitasi pemantauan jarak jauh oleh pihak keluarga, operator, atau pengawas keselamatan.

4.7 Hasil Akhir Penggabungan 3 Alat

Dalam pengujian ini, dilakukan penyatuan berbagai komponen perangkat keras dan perangkat lunak, yang selanjutnya digabungkan menjadi sebuah sistem terintegrasi dengan hasil yang saling terhubung. Proses ini dimulai dengan pelatihan citra menggunakan kamera, di mana kamera mengumpulkan sejumlah gambar yang sudah dikelompokkan sesuai dengan kategori tertentu. Kategori-kategori ini mencerminkan keadaan pengguna, seperti tidak mengantuk, mulai mengantuk, dan benar-benar mengantuk. Setelah pelatihan selesai, model yang telah dilatih tersebut akan diterapkan, dan model itu akan dimasukkan ke dalam perangkat Grove Vision AI V2.

Peranan Grove Vision AI V2 dalam sistem ini sangat krusial, karena perangkat ini akan menyimpan data model dari hasil pelatihan dan menggunakannya sebagai acuan untuk mengenali keadaan pengguna secara langsung. Grove Vision kemudian akan memproses gambar yang direkam oleh kamera dan melakukan klasifikasi berdasarkan data yang sudah diprogram sebelumnya.

Ketika sistem berhasil mendeteksi keadaan pengguna, informasi tersebut akan ditampilkan di serial monitor melalui Arduino IDE. Di sinilah proses identifikasi berlangsung: apakah pengguna dalam kondisi sepenuhnya sadar, mulai mengantuk, atau benar-benar mengantuk. Deteksi ini akan dilanjutkan untuk mengaktifkan berbagai jenis output sesuai dengan hasil klasifikasi yang diterima.

Misalnya, ketika sistem menemukan pengguna dalam keadaan mengantuk, buzzer akan menyala secara otomatis sebagai peringatan suara yang langsung dan mengejutkan. Selain itu, modul pemutar MP3 yang sudah disiapkan sebelumnya akan mengeluarkan suara peringatan yang telah ditentukan dan disimpan dalam memori internal alat.

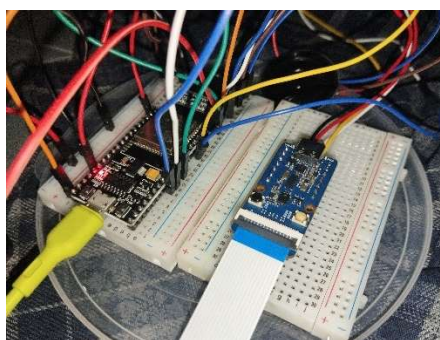
Selain itu, sistem juga telah terhubung dengan layanan bot Telegram yang telah dikonfigurasi berdasarkan SSID WiFi tertentu. Dengan cara ini, saat kondisi mengantuk terdeteksi, bot tersebut akan mengirimkan pesan peringatan ke akun Telegram pengguna atau pengawas.

Selanjutnya, sistem ini juga melibatkan perangkat wearable seperti smartwatch. Di dalamnya terdapat fungsi pemantauan detak jantung yang sudah diprogram untuk membaca dan mengklasifikasikan denyut jantung pengguna. Denyut jantung yang terukur akan dibandingkan dengan rentang nilai yang sudah ditentukan, sehingga dapat diketahui apakah pengguna dalam keadaan tidak lelah, mulai lelah, atau benar-benar kelelahan.

Data ini juga ditampilkan di serial monitor Arduino IDE, bersamaan dengan output dari deteksi visual yang berbasis kamera. Jika kondisi lelah atau mengantuk terkonfirmasi oleh data denyut jantung, sistem akan memicu kembali rangkaian output yang sama: buzzer berbunyi, MP3 player mengeluarkan suara, pesan dikirim melalui bot Telegram, dan notifikasi dikirimkan ke smartwatch.

Melalui seluruh proses ini, sistem pengujian tidak hanya fokus pada satu jenis sensor atau metode, tetapi juga menggabungkan beberapa pendekatan sekaligus—mulai dari pengolahan citra hingga pemantauan kondisi fisiologis—untuk membangun sistem deteksi mengantuk yang komprehensif dan responsif secara real-time.

Harapannya adalah untuk memberikan tingkat akurasi dan keandalan yang tinggi dalam mendeteksi dan merespons keadaan pengguna yang mungkin membahayakan akibat mengantuk atau kelelahan.



Gambar 4.15 Ringkasan Gabungan

Dalam sistem monitoring kelelahan pengemudi yang dirancang menggunakan modul kamera dan kecerdasan buatan berbasis Grove Vision AI v2, terdapat tiga tingkat klasifikasi utama yaitu Tidak Mengantuk, Mulai Mengantuk, dan Mengantuk. Ketiga klasifikasi ini didasarkan pada pengolahan hasil klasifikasi gambar (normal, eyeclosed, yawn) yang dikirim secara real-time dari kamera Grove Vision ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi UART.

Setelah data klasifikasi diterima oleh ESP32, dilakukan proses pengolahan logika lanjutan. Data tersebut tidak langsung dianggap sebagai hasil akhir, melainkan dikombinasikan dengan analisis durasi dan frekuensi munculnya klasifikasi seperti eye closed dan yawn untuk menentukan tingkat kantuk. Setiap tingkat kantuk yang teridentifikasi akan memicu sistem output yang berbeda-beda sesuai dengan tingkat urgensinya.

Jika kondisi yang terdeteksi adalah Tidak Mengantuk, maka sistem hanya mengirimkan laporan berupa notifikasi Telegram kepada pihak yang telah ditentukan (misalnya nomor Telegram dosen atau penguji). Dalam kondisi ini, sistem tidak mengeluarkan bunyi atau respon fisik lainnya, karena pengemudi dinilai masih dalam keadaan fokus dan aman untuk berkendara. Tujuannya adalah hanya untuk mencatat kondisi normal sebagai bentuk pemantauan.

Namun, ketika sistem mendeteksi kondisi Mulai Mengantuk, artinya pengemudi sudah menunjukkan tanda-tanda awal kehilangan fokus. Dalam situasi ini, sistem akan langsung mengirimkan notifikasi Telegram berisi peringatan kepada pihak yang ditentukan bahwa pengemudi menunjukkan gejala mengantuk. Selain itu, sistem akan mengaktifkan buzzer sebanyak dua kali bunyi sebagai peringatan langsung kepada pengemudi agar lebih waspada. Tidak hanya itu, sistem juga akan memutar audio peringatan melalui modul MP3 player, misalnya dengan suara yang mengatakan "Harap waspada, Anda mulai mengantuk", yang tersimpan sebagai Track 2. Tujuannya agar peringatan bersifat ganda: tertulis, suara, dan alarm fisik.

Sedangkan jika sistem mendeteksi kondisi yang sudah tergolong Mengantuk, maka dianggap sebagai kondisi paling berbahaya. Pada tahap ini, pengemudi kemungkinan besar sudah mengalami kehilangan fokus berat atau bahkan tertidur, sehingga sangat berisiko terhadap keselamatan.

Untuk itu, sistem akan memberikan respon yang lebih kuat. Pertama, sistem mengirimkan notifikasi Telegram dengan pesan yang lebih serius, seperti "GAWAT! Pengemudi MENGANTUK/SANGAT LELAH!" Sebagai respon lokal, buzzer akan dibunyikan sebanyak lima kali berturut-turut dengan durasi pendek, untuk membangunkan pengemudi secara mendadak. Di samping itu, sistem juga akan memutar audio darurat dari MP3 player (misalnya Track 1), yang bisa berupa pesan suara seperti "Segera hentikan kendaraan Anda!" agar pengemudi segera mengambil tindakan.

Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya mendeteksi secara otomatis melalui kamera, tetapi juga mengintegrasikan notifikasi dan respon fisik yang nyata, guna memastikan pengemudi menerima peringatan secara cepat, tegas, dan tidak terlewat. Perbedaan tingkat respon antara level kantuk yang rendah, sedang, dan berat ini membuat sistem menjadi lebih adaptif dan berorientasi pada keselamatan.

Tabel 4.2 Tingkat Kantuk

Tingkat Kantuk	Notifikasi Telegram	Buzzer	Audio (Mp3)
Tidak mengantuk	Dikirim	Tidak Menyala	Tidak berbunyi
Mulai mengantuk	Dikirim	2 kali bunyi	Audio peringatan
Mengantuk	Dikirim	5 kali bunyi	Audio peringatan

Halaman ini sengaja dikosongkan