

DAFTAR SINGKATAN

AI	:	Artificial Intelligence
CNN	:	Convolutional Neural Network
DFD	:	Data Flow Diagram
DBMS	:	Driver Behavior Monitoring System
DMS	:	Driver Monitoring System
EAR	:	Eye Aspect Ratio
EOG	:	Electrooculography
EEG	:	Electroencephalography
EMG	:	Electromyography
ESDM	:	Energi dan Sumber Daya Mineral
FPS	:	Frame per Second
GPIO	:	General Purpose Input/Output
HRV	:	Heart Rate Variability
IC	:	Integrated Circuit
IoT	:	Internet of Things
I/O	:	Input/Output
JDK	:	Java Development Kit
MAR	:	Mouth Aspect Ratio
MOE	:	Mouth Opening Extent
PERCLOS	:	Percentage of Eye Closure Over Time
Pi	:	Raspberry Pi
SVM	:	Support Vector Machine
XGBoost	:	Extreme Gradient Boosting
3D CNN	:	Three-Dimensional Convolutional Neural Network

BAB I

USULAN GAGASAN

1.1. Deskripsi Umum Masalah dan Kebutuhan

Kondisi pengemudi merupakan salah satu aspek yang penting dalam keselamatan berkendara [1]. Salah satu faktor utama penyebab kecelakaan lalu lintas adalah ketika pengemudi tidak dalam kefokusannya yang optimal, ketidakfokusan tersebut bisa disebabkan oleh distraksi dan kantuk [2]. Distraksi dan kantuk pada pengemudi berpotensi menyebabkan kecelakaan yang fatal [3]. Distraksi pada pengemudi dapat terjadi dalam berbagai bentuk, seperti penggunaan ponsel, makan atau minum dengan gerakan berlebihan saat mengemudi, serta interaksi berlebihan lainnya [4]. Selain distraksi, kantuk juga menjadi salah satu penyebab pengemudi mengalami ketidakfokusan dalam mengemudikan kendaraannya. Kantuk merupakan kondisi dimana seseorang merasa ingin tidur [5]. Kedua kondisi ini sangat berbahaya untuk pengemudi karena dapat menyebabkan pengemudi kehilangan fokus dan kendali atas kendaraan dalam waktu yang singkat [6].

Dalam mengatasi permasalahan yang ada, diperlukan sebuah sistem pemantauan keselamatan berkendara yang dapat mendeteksi dan memberikan peringatan dini terhadap tanda-tanda distraksi dan kantuk pada pengemudi [7]. Sistem ini harus mampu memantau perilaku pengemudi secara *real-time*, menganalisis kondisi mata, ekspresi wajah, dan kondisi pengemudi untuk mengidentifikasi indikasi gangguan perhatian atau kantuk [8]. Kebutuhan akan sistem semacam ini semakin mendesak seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan di jalan raya [9]. Implementasi teknologi pemantauan keselamatan berkendara diharapkan dapat secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan yang disebabkan oleh faktor pengemudi, sehingga meningkatkan keselamatan tidak hanya bagi pengemudi, tetapi juga bagi seluruh pengguna jalan [10].

Pengembangan ‘*Driving Safety Monitoring System using Distraction and Drowsiness Detection*’ bertujuan untuk memanfaatkan teknologi *computer vision*, sensor, dan kecerdasan buatan (AI) untuk menciptakan solusi yang efektif dan dapat diandalkan dalam meningkatkan keselamatan berkendara [11]. Teknologi *computer vision* memungkinkan sistem untuk mendeteksi dan menganalisis perilaku pengemudi secara *real-time*, seperti pergerakan mata, ekspresi wajah, dan arah pandangan, yang berguna untuk mengidentifikasi tanda-tanda gangguan atau kantuk [12]. Selain itu, dengan memanfaatkan sensor *infrared* dan algoritma berbasis AI, sistem ini dapat mendeteksi *microsleep* yang sulit dikenali secara kasat mata,

sehingga memungkinkan sistem untuk memberikan peringatan dini sebelum kecelakaan terjadi [13].

1.2. Analisa Masalah

Dalam pengembangan sistem pemantuan keselamatan berkendara menggunakan deteksi gangguan dan kantuk, diperlukan penganalisaan pada beberapa aspek yang berkaitan dengan pengembangan yang akan dilakukan. Berikut merupakan analisa masalah yang mencakup aspek teknis, sosial, ekonomi, serta hukum dan regulasi.

1.2.1. Aspek Teknis

Dalam pengembangan sistem ini, tantangan teknis utama terletak pada keandalan teknologi *computer vision* dan kecerdasan buatan (AI) yang digunakan untuk mendeteksi distraksi dan kantuk pada pengemudi secara *real-time*. Sistem harus beroperasi dengan presisi, meskipun dalam berbagai kondisi lingkungan yang menantang, seperti pencahayaan rendah, cuaca buruk, atau kecepatan kendaraan yang tinggi. Salah satu solusi yang diimplementasikan adalah kombinasi Arducam Stereo Camera dengan YOLOv11 pada Raspberry Pi. Kombinasi ini memungkinkan deteksi *real-time* dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi, di mana Arducam Stereo Camera akan memberikan kemampuan pemetaan kedalaman dan deteksi gerakan, dan YOLO akan mendeteksi objek yang cepat dan efisien. Meskipun demikian, keterbatasan komputasi pada Raspberry Pi menimbulkan tantangan dalam hal performa. Untuk menjaga deteksi tetap cepat dan tepat, diperlukan optimasi algoritma, baik dalam hal pengurangan ukuran model, penggunaan teknik *pruning*, maupun *quantization*.

Selain itu, penerapan *Convolutional Neural Network* (CNN) juga menjadi salah satu pendekatan utama dalam pemrosesan visual. CNN efektif untuk mendeteksi tanda-tanda kelelahan atau gangguan pada pengemudi, seperti perubahan ekspresi wajah dan gerakan mata, terutama dalam kondisi pencahayaan rendah. CNN mampu mengekstraksi fitur penting dari gambar secara otomatis, sehingga membuat sistem lebih efisien dalam mendeteksi perilaku pengemudi [14]. Implementasi CNN ini, dengan optimasi yang tepat, dapat lebih lanjut meningkatkan akurasi dan keandalan sistem secara keseluruhan.

1.2.2. Aspek Keselamatan

Distraksi dan kantuk adalah dua faktor kritis yang secara signifikan mempengaruhi keselamatan pengemudi. Distraksi dapat muncul dari berbagai sumber, seperti penggunaan ponsel atau terlibat dalam percakapan saat mengemudi, yang menyebabkan hilangnya fokus pada jalan. Selain itu kantuk dapat menjadi sangat berbahaya karena pengemudi mungkin

akan mengalami *microsleep* yaitu tidak menyadari bahwa mereka tertidur sejenak, sehingga tidak ada waktu untuk bereaksi [15]. 60% dari kecelakaan lalu lintas yang terjadi disebabkan oleh faktor manusia itu sendiri, terutama dalam permasalahan *Distraction* dan *microsleep* [16].

Sistem pemantauan pengemudi yang efektif harus dapat mendeteksi tanda-tanda awal dari gangguan ini melalui analisis sinyal seperti gerakan mata, posisi kepala, atau bahkan detak jantung. Dengan menggunakan teknologi ini, sistem dapat memberikan peringatan *real-time* yang memungkinkan pengemudi mengambil tindakan korektif sebelum kecelakaan terjadi. Optimalisasi teknologi pemantauan ini sangat penting dalam upaya meningkatkan keselamatan berkendara.

1.2.3. Aspek Sosial

Dari sudut pandang sosial, penerapan sistem ini akan membawa perubahan pada cara pengemudi berperilaku di jalan raya. Sistem peringatan dini yang diberikan ketika pengemudi mengalami kelelahan atau terdistraksi dapat meningkatkan kesadaran keselamatan. Hal ini sangat relevan mengingat data kecelakaan lalu lintas di Indonesia periode 2019–2021 menunjukkan bahwa jumlah korban meninggal dunia masih signifikan.

Pada tahun 2019, tercatat 25.671 korban meninggal dunia, yang kemudian menurun menjadi 23.529 korban pada tahun 2020. Penurunan ini mungkin dipengaruhi oleh berkurangnya aktivitas di masa pandemi. Namun, pada tahun 2021, jumlah korban meninggal kembali meningkat menjadi 25.266 orang, hampir setara dengan angka pada tahun 2019 [17]. Meskipun teknologi ini dapat membantu mengurangi jumlah korban, penerapannya mungkin menimbulkan resistensi di kalangan masyarakat, terutama pengemudi yang merasa bahwa sistem tersebut terlalu mengganggu atau mengurangi kenyamanan saat berkendara.

1.2.4. Aspek Ekonomi

Pengembangan dan implementasi sistem pemantauan keselamatan ini menuntut biaya yang cukup tinggi, terutama dalam hal pengadaan perangkat keras, seperti kamera, serta pengembangan perangkat lunak yang memadai. Selain itu, penerapan teknologi ini secara luas pada kendaraan pribadi dan komersial akan memerlukan biaya tambahan bagi pengguna kendaraan. Meskipun biaya awal pengembangan dan pemasangan sistem mungkin tinggi, hal ini perlu dipertimbangkan mengingat kerugian materi akibat kecelakaan lalu lintas pada tahun 2019 mencapai 254.779 juta rupiah, pada tahun 2020 sebesar 198.456 juta rupiah, dan kembali meningkat menjadi 246.653 juta rupiah pada tahun 2021 [17].

Meskipun investasi awal untuk pengembangan dan implementasi sistem pemantauan keselamatan cukup besar, hal ini dapat dilihat sebagai upaya preventif untuk mengurangi kerugian ekonomi yang jauh lebih signifikan akibat kecelakaan lalu lintas di masa mendatang. Dengan menurunnya angka kecelakaan, biaya terkait seperti perbaikan kendaraan, perawatan medis, dan hilangnya produktivitas dapat ditekan, sehingga memberikan dampak positif terhadap stabilitas ekonomi. Penghematan yang dihasilkan dari berkurangnya insiden kecelakaan juga dapat mengalihkan dana untuk investasi lain yang mendukung pertumbuhan ekonomi serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan.

1.2.5. Aspek Hukum dan Regulasi

Penerapan teknologi pemantauan keselamatan ini harus sejalan dengan regulasi yang ada, seperti “Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan” [18]. Didalam regulasi ini disebutkan bahwa pengemudi kendaraan bermotor harus menjaga tingkat konsentrasi mereka serta menghindari mengemudikan kendaraan secara tidak wajar dan melakukan sesuatu yang mempengaruhi tingkat konsentrasi dalam mengemudi. Teknologi ini dapat berperan sebagai alat bantu untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi ini, sekaligus memberikan bukti yang kuat bagi penegakan hukum jika terjadi pelanggaran.

Dalam perspektif privasi, pengumpulan data yang mencakup perilaku dan kondisi pengemudi harus mengikuti ketentuan "Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi." [19]. Data yang diperoleh harus dikelola dengan cermat untuk memastikan bahwa privasi individu tetap terlindungi. Pemanfaatan, penyimpanan, dan pengolahan data tersebut harus selaras dengan prinsip-prinsip perlindungan data pribadi, seperti transparansi, tujuan yang spesifik, persetujuan eksplisit dari pemilik data, serta hak mereka untuk mengakses dan menghapus data yang telah diserahkan. Integrasi teknologi ini diharapkan dapat membantu penegakan hukum secara efektif dan meningkatkan keselamatan di jalan raya, sesuai dengan kerangka hukum Indonesia, tanpa mengorbankan privasi pemilik data.

1.3. Analisa Solusi yang Ada

Solusi teknis untuk mengatasi distraksi dan kantuk pada pengemudi dapat diwujudkan melalui penggunaan teknologi *computer vision* yang mampu memantau pergerakan mata dan ekspresi wajah secara *real-time* [20]. Teknologi ini memungkinkan pendeteksian tanda-tanda kelelahan dan gangguan perhatian pada pengemudi, dengan bantuan algoritma *deep learning*

untuk mengenali pola berbahaya secara cepat dan akurat [20]. Teknologi tersebut sudah digunakan oleh beberapa produsen mobil, hal tersebut dilakukan agar pengemudi dapat perlindungan yang lebih dengan cara pencegahan hal-hal yang tidak diinginkan [21].

Solusi tersebut merupakan salah satu solusi yang efektif bagi sebagian kelompok orang, namun solusi tersebut hanya bisa kita dapati ketika seseorang mampu membeli alat transportasi yang canggih. Dalam kata lain, hanya seseorang dengan penghasilan menengah keatas yang dapat memiliki fasilitas tersebut. Solusi tersebut menjadi masalah ketika ekonomi seseorang belum mencapai titik dimana ia dapat membeli mobil dengan teknologi yang canggih. Dengan adanya permasalahan tersebut, dibutuhkan suatu teknologi dengan harga yang lebih terjangkau namun tetap memiliki kualitas yang sepadan dengan teknologi yang sudah ada.

1.4. Kesimpulan CD 1

Keselamatan berkendara merupakan isu yang sangat krusial dan memerlukan perhatian yang serius, mengingat angka kecelakaan yang disebabkan distraksi dan kantuk pada pengemudi. Aplikasi teknologi *computer vision* dan algoritma machine learning membuka solusi inovatif yang bisa digunakan untuk mendeteksi aspek-aspek kelelahan dan juga gangguan perhatian. Meskipun masalah dalam pengembangan dan juga implementasi sistem sangatlah banyak, tetapi potensi manfaat yang dihasilkan sangatlah besar, terutama dalam aspek biaya akibat kecelakaan yang terjadi serta keselamatan di jalan raya

Untuk memastikan keberhasilan adopsi teknologi ini, diperlukan upaya edukasi publik yang memadai agar masyarakat memahami pentingnya sistem pemantauan keselamatan berkendara. Kesadaran yang tinggi mengenai risiko distraksi dan kantuk, serta penerimaan terhadap teknologi yang dapat membantu mencegah kecelakaan, akan menjadi kunci dalam menciptakan lingkungan berkendara yang lebih aman. Dengan demikian, langkah-langkah ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan bagi semua pengguna jalan dan menurunkan angka kecelakaan di masa mendatang.

BAB II

DESAIN KONSEP SOLUSI

2.1. Dasar Penentuan Spesifikasi

Sebelum melakukan spesifikasi pada pengembangan Driving Safety Monitoring System Using *Distraction* and *Drowsiness* Detection, terdapat beberapa hal yang menjadi poin perhatian. Dengan mempertimbangkan beberapa aspek terkait pengembangan tersebut, spesifikasi diharapkan dapat memenuhi kebutuhan serta tujuan yang telah dipertimbangkan. Berikut merupakan beberapa aspek yang akan disajikan sebagai dasar penentuan spesifikasi dalam proses pengembangannya.

2.1.1. Aturan Pemerintahan

Penetapan spesifikasi didasarkan pada peraturan pemerintah mengenai keselamatan berkendara yang terdapat dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, yang mengatur aspek keselamatan dan keamanan dalam berkendara [18]. Berdasarkan acuan penetapan spesifikasi pertama yaitu Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009, pengemudi diwajibkan untuk berkonsentrasi penuh saat mengemudikan kendaraan di jalan raya dengan menghindari aktivitas yang dapat mengganggu konsentrasi seperti menggunakan *handphone*, menonton video, atau aktivitas lain yang mengganggu [18]. Hal ini berkaitan langsung dengan *driver distraction monitoring system* yang dikembangkan [22].

Mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 55 tahun 2012, kendaraan bermotor yang beroperasi di jalan harus memenuhi persyaratan teknis dan layak jalan, termasuk sistem keselamatan aktif dan pasif. *microsleep monitoring detection system* yang dikembangkan merupakan bagian dari sistem keselamatan aktif yang dapat membantu mencegah kecelakaan akibat *microsleep* [23]. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 77 Tahun 2020 tentang Penyelenggaraan Sistem *Monitoring* Keselamatan Angkutan Umum juga menjadi acuan dalam pengembangan sistem, dimana pemantauan kondisi pengemudi menjadi salah satu aspek penting dalam menjamin keselamatan berkendara [24]. Sistem yang dikembangkan sejalan dengan peraturan ini dalam upaya meningkatkan keselamatan berkendara melalui pemantauan secara *real-time* kondisi pengemudi.

2.1.2. Spesifikasi Solusi yang Sudah Ada

Dalam pengembangan suatu sistem, terutama yang berkaitan dengan teknologi, sangat penting untuk menyelaraskan pendekatan dengan solusi yang telah ada sebelumnya. Tujuan

utama dibuatnya bagian ini adalah untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan dari setiap metode yang sudah diterapkan pada solusi yang telah ada sebelumnya, sehingga solusi hasil pengembangan nantinya akan menjadi solusi yang terbaik dibanding dengan solusi sebelumnya. Saat ini terdapat beberapa solusi untuk mengatasi deteksi distraksi dan kantuk pada pengemudi diantaranya adalah, pendeteksian menggunakan *Electroencephalograph* (EEG) [25], analisis berbasis kamera pada wajah dan mata [26], serta *Driver Behavior Monitoring System* (DBMS) [27], masing-masing memiliki karakteristik khusus yang dapat menjadi acuan dalam merancang solusi yang optimal.

Berikut tabel yang memperlihatkan perbandingan diantara ketiga solusi yang sudah ada,

Tabel 2. 1 Solusi yang sudah ada

No	Nama	Spesifikasi	Kelebihan	Kekurangan
1.	<i>Electroencephalograph</i> (EEG)	• Menggunakan Elektroda untuk mendeteksi gelombang otak • Menggunakan sensor EEG yang langsung terhubung pada perangkat pemrosesan data	• Akurat dalam mendeteksi <i>microsleep</i> • Memberikan peringatan dini • Bekerja baik dalam deteksi kelelahan pengemudi	• Biaya perangkat tinggi. • Sulit dipasang pada kendaraan komersial. • Membutuhkan pelatihan untuk pengguna.
2.	Analisis berbasis kamera pada wajah dan mata	• Menggunakan kamera dengan resolusi tinggi untuk menganalisis gerakan mata dan ekspresi wajah • Menggunakan <i>deep learning</i> dengan model <i>Convolutional Neural Networks</i> (CNN) dan <i>Support Vector Machine</i> (SVM) untuk mendeteksi tanda-tanda <i>microsleep</i>	• Pemantauan non-kontak • Efektif dalam deteksi kelelahan tanpa gangguan pengemudi • Dapat digunakan dalam berbagai kondisi cahaya.	• Terpengaruh oleh kondisi lingkungan, yaitu cahaya dan cuaca • Kinerja dapat terganggu oleh posisi kamera atau gerakan pengemudi.

No	Nama	Spesifikasi	Kelebihan	Kekurangan
3.	<i>Driver Behavior Monitoring System (DBMS)</i>	• Akselerometer untuk mengukur percepatan dalam sumbu X, Y, dan Z untuk mendeteksi pengereman, akselerasi, perubahan jalur, dan kondisi kemiringan jalan. • Giroskop untuk menganalisis gerakan rotasi saat mendeteksi manuver pengemudi. • Kamera dan GPS untuk melacak posisi kendaraan, kecepatan, dan pengambilan data visual. • <i>Neural Networks</i> untuk mempelajari pola perilaku pengemudi, seperti manuver mengemudi dan diagnosis gaya berkendara yang tidak teratur. • <i>Fuzzy Logic</i> dan <i>Bayesian Networks</i> untuk menganalisis pengereman darurat, pola akselerasi, dan kondisi jalan	• Memiliki akurasi yang tinggi dalam memprediksi manuver dan menganalisis perilaku pengemudi • Model lebih fleksibel karena menggunakan algoritma <i>fuzzy logic</i> dan <i>Bayesian Networks</i> yang mampu membuat keputusan kompleks • Sistem mampu bekerja secara <i>real-time</i> untuk memantau pengemudi secara instan.	• Biaya yang tinggi, karena menggunakan perangkat tambahan • Pengujian lebih banyak dilakukan pada simulator, sehingga untuk di jalan raya secara nyata kurang representatif • Pemrosesan data menggunakan <i>Bayesian networks</i> memakan waktu yang lebih lama

Berdasarkan Tabel 2.1, dapat disimpulkan bahwa setiap teknologi deteksi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. *Electroencephalograph* (EEG) sangat akurat dalam mendeteksi kantuk dan memberikan peringatan dini, tetapi harganya tinggi dan sulit dipasang pada kendaraan komersial. Sementara itu, analisis berbasis kamera menawarkan pemantauan non-kontak yang efektif, namun kinerjanya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan posisi kamera. Sedangkan pada *Driver Behavior Monitoring System* (DBMS) memiliki akurasi tinggi dan fleksibilitas, tetapi juga memerlukan biaya yang tinggi dan pengujian yang kurang representatif di jalan raya.

2.2. Batasan dan Spesifikasi

Pada pengembangan *Driving Safety Monitoring System Using Distraction And Drowsiness Detection* ini, batasan dan spesifikasi menjadi bagian yang sangat krusial untuk mendefinisikan ruang lingkup serta fitur-fitur yang dapat dijangkau oleh sistem. Batasan ini bertujuan untuk memastikan bahwa solusi yang diimplementasikan tetap efektif dalam mendeteksi distraksi dan kantuk pada pengemudi. Selain itu, spesifikasi yang jelas akan membantu pengembangan yang lebih spesifik dan pengujian sistem, sehingga solusi yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan dan tujuan keselamatan yang diinginkan.

2.2.1. Batasan

Dalam proses pengembangan suatu alat, penting untuk menentukan batasan spesifikasi yang menjadi acuan dalam perancangan dan implementasi. Batasan ini berfungsi untuk memastikan alat yang dirancang dapat memenuhi kebutuhan utama pengguna, sekaligus mempertimbangkan keterbatasan teknis, biaya dan target pengguna. Berikut batasan-batasan yang ditentukan,

Tabel 2. 2 Batasan

Batasan	
Tujuan	Mengidentifikasi perilaku pengemudi dengan mendeteksi apakah pengemudi terdistraksi atau mengalami gejala kantuk
Target Pengguna	Mobil yang tidak memiliki sistem keamanan berupa <i>Driver Monitoring System</i> (DMS)
Keterbatasan waktu	Karena keterbatasan waktu, hanya fungsi-fungsi yang krusial untuk memenuhi tujuan saja yang diharuskan selesai
Biaya	Pembiayaan yang diperlukan adalah pembelian untuk alat-alat yang digunakan

Berdasarkan tabel 2.2, Pengembangan Driving Safety Monitoring System Using Distraction and drowsiness Detection bertujuan untuk mengidentifikasi perilaku pengemudi dengan mendeteksi distraksi dan gejala kantuk, khususnya pada mobil yang tidak dilengkapi dengan *Driver Monitoring System* (DMS). Proyek ini memiliki batasan waktu yang mengharuskan fokus pada fungsi-fungsi krusial untuk mencapai tujuan. Selain itu, biaya yang diperlukan terbatas pada pembelian alat-alat yang digunakan dalam sistem ini.

2.2.2. Kebutuhan

Setiap alat yang dikembangkan harus didasarkan pada kebutuhan spesifik yang hendak dipenuhi. Kebutuhan ini biasanya muncul dari permasalahan yang dihadapi oleh pengguna atau kondisi tertentu yang memerlukan solusi inovatif. Pada konteks ini, alat yang akan dirancang bertujuan untuk meningkatkan keselamatan berkendara pada jalanan. Berikut beberapa kebutuhan yang telah ditentukan,

Tabel 2. 3 Kebutuhan Sistem dan Perangkat Keras

No	Kebutuhan	Tingkat Kebutuhan
Sistem		
1	Sistem harus dilengkapi dengan kemampuan untuk mendeteksi <i>Drowsiness</i> pada pengemudi dengan tingkat akurasi tinggi dan secara <i>real-time</i> .	Harus
2	Sistem harus dilengkapi dengan kemampuan untuk mendeteksi distraksi pengemudi dengan tingkat akurasi tinggi dan secara <i>real-time</i> .	Harus
3	Sistem harus memberikan peringatan apabila mendeteksi pengemudi mengalami <i>Drowsiness</i> atau terdistraksi dalam rentang waktu tertentu.	Harus
4	Sistem harus memberikan informasi mengenai kondisi pengemudi dan lokasi mereka kepada pihak yang terhubung.	Opsional
5	Sistem harus mencatat seluruh aktivitas deteksi <i>Drowsiness</i> dan distraksi yang terjadi.	Opsional
Perangkat		
Perangkat Mikrokontroler		
1	Perangkat harus memiliki kapasitas komputasi yang memadai untuk menjalankan model dengan performa yang mendekati <i>real-time</i> .	Harus
2	Perangkat harus dilengkapi dengan fitur GPS untuk	Harus

No	Kebutuhan	Tingkat Kebutuhan
	memberikan informasi lokasi secara akurat kepada pengguna yang terhubung.	
3	Perangkat harus dilengkapi dengan kemampuan untuk terhubung ke jaringan internet.	Harus
4	Perangkat harus selalu berada dalam kondisi aktif selama kendaraan dioperasikan.	Harus
Perangkat Kamera		
1	Perangkat kamera harus memiliki resolusi yang memadai untuk menyuplai informasi yang cukup ke dalam model, sehingga model dapat melakukan deteksi dengan akurasi tinggi.	Harus
2	Perangkat harus memiliki kemampuan untuk menangkap <i>frame rate</i> minimal 30 <i>fps</i> guna memastikan informasi dapat direkam dengan jelas.	Harus
3	Perangkat harus dilengkapi dengan kemampuan untuk menangkap gambar dalam kondisi minim cahaya agar tetap dapat berfungsi secara optimal pada malam hari.	Harus

Berdasarkan tabel 2.3, sistem dan perangkat yang diperlukan untuk mendeteksi distraksi dan kantuk pengemudi memiliki beberapa persyaratan penting. Kebutuhan utama mencakup kemampuan deteksi yang akurat dan *real-time*, serta fitur-fitur seperti GPS dan konektivitas internet. Selain itu, perangkat kamera harus memiliki resolusi yang memadai dan kemampuan untuk merekam dengan jelas dalam berbagai kondisi. Kebutuhan ini menekankan pentingnya performa dan keandalan dalam mendukung keselamatan pengemudi.

2.2.3. Perbandingan metode

Pada sub-bab ini, akan dibahas perbandingan antara metode yang digunakan dalam penelitian ini. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kelebihan dan kekurangan masing-masing metode, serta melihat sejauh mana setiap metode dapat memenuhi tujuan yang telah ditetapkan. Pembahasan ini juga akan mempertimbangkan faktor-faktor seperti akurasi, efisiensi, dan aplikasi praktis dari metode-metode tersebut dalam konteks penelitian yang sedang dilakukan.

A. Image Based Measures

Metode *Image Based Measures* dalam mendeteksi kantuk berfokus pada analisis gambar atau video yang diambil dari pengemudi untuk mendeteksi tanda-tanda kantuk. Metode ini memanfaatkan teknik pemrosesan citra dan visi komputer untuk menganalisis fitur-fitur yang ada di wajah pengemudi seperti mata, mulut, ekspresi, dan juga posisi kepala secara *real-time* [28]. Berikut perbandingannya,

Tabel 2. 4 Image Based Measures

Parameter	Fitur yang diekstraksi	Metode klasifikasi	Metrik yang diukur
Mulut	Menguap	Voxel dingin dan Voxel panas	Akurasi: <i>Cold voxels</i> : 71% <i>Hot voxels</i> : 87%
Respirasi	Deviasi standar dan rata-rata tingkat respirasi	SVM dan KNN	Akurasi: SVM: 90% KNN: 83%
Mata	Kelengkungan kelopak mata	Klasifikasi menggunakan seberapa sering mata berkedip	Akurasi: <i>Dataset 1</i> : 95% <i>Dataset 2</i> : 70% <i>Dataset 3</i> : >95%
Mata	Keadaan mata (tertutup / Terbuka)	Korelasi optik dengan filter cacat	Akurasi: Hasil yang berbeda dengan <i>dataset</i> yang berbeda
Mata	Nilai EAR (<i>Eye Aspect Ratio</i>)	<i>Multilayer perceptron</i> , RF, dan SVM	Akurasi: SVM: 94,9%
Wajah dan mata	PERCLOS, frekuensi berkedip, dan durasi maksimum mata tertutup	KNN, SVM, <i>Logistic Regression</i> , dan ANN	Akurasi: KNN: 72,25% ANN: 71,61%
Mata	34 <i>eye-eye tracking features</i>	RF dan <i>non-linear SVM</i>	Akurasi: RF: 88,37% - 91,18% SVM: 77,1% - 82,62%

Parameter	Fitur yang diekstraksi	Metode klasifikasi	Metrik yang diukur
Mata dan Mulut	PERCLOS, durasi mata tertutup, dan rata-rata durasi mulut terbuka	<i>Mamdani Fuzzy inference system</i>	Akurasi: 95,5% Presisi: 93,3%
Mata dan Mulut	Durasi dari mata tertutup serta durasi mulut terbuka.	<i>Circular Hough transform</i>	Akurasi: 94%
Mata dan Kepala	Frekuensi kedipan mata dan frekuensi memiringkan kepala	<i>Templet matching</i> untuk mendeteksi mata dan mengalkulasi frekuensi dari memiringkan kepala dan kedipan untuk mendeteksi kantuk.	Akurasi: 99,59% Presisi: 97,86%
Mulut dan Mata	Proporsi banyaknya <i>frame</i> mata yang tertutup dengan total <i>frame</i> selama 1 menit, banyaknya kedipan, dan banyaknya jumlah kuap.	<i>Face tracking:</i> <i>Multiple CNNs- kernelized correlations filters method</i> <i>Drowsiness detections:</i> <i>Newly proposed algorithm</i>	Akurasi: 92%
Perilaku mulut dan wajah	Ekspresi wajah, perilaku tangan dan kepala.	<i>SoftMax classifier</i>	Akurasi: 85% Sensitivitas: 82% Presisi: 86,3%
Mata, kepala, dan mulut	Durasi mata menutup, mengangguknya kepala, dan menguap	<i>Two-stream CNN</i>	Akurasi: 97.06% Sensitivitas: 96.74% Presisi: 97,03%
Mata, mulut, kepala	Perubahan yang terjadi di mata, kepala, dan mulut. Kondisi pencahayaan saat berkendara, serta penggunaan kaca mata	3D-deep CNN	Akurasi: 76,2%

Parameter	Fitur yang diekstraksi	Metode klasifikasi	Metrik yang diukur
Mata, kepala, dan mulut	Frekuensi kedipan mata, anggukan kepala, dan kuap.	<i>Fisher score</i> untuk fitur seleksi, dan <i>non-linear SVM</i> untuk klasifikasi.	Akurasi: 79,84%
Fitur Wajah	Vektor fitur wajah	SVM	Akurasi: 94,32%
Fitur wajah, dan pergerakan kepala	Fitur seperti tingkat tertutupnya mata, posisi mulut, naiknya dagu atau alis mata. Serta mengerutnya kening atau hidung.	3D CNN	Akurasi: 73,9%
Mata dan mulut	Vektor fitur wajah yang didapatkan dari fitur spasial	LTSM	Akurasi: 84,85%
Mata, mulut, dan kepala	Menguap, tertutupnya mata, dan anggukan kepala.	<i>Multi-layer model-based 3D convolutional networks</i>	Akurasi: 97,3% Presisi: 72%
Mata dan mulut	PERCLOS dan derajat mulut terbuka	CNN untuk mata dan mulut	Akurasi: 93,62%

Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan, beberapa metode menunjukkan akurasi yang baik, seperti *template matching*, *two-stream CNN*, dan *3D Convolutional Network*. Ketiga metode ini memanfaatkan dua atau tiga fitur untuk melakukan deteksi, yaitu mata, mulut, dan kepala. Penggunaan *image based measures* memiliki sejumlah keunggulan, antara lain kompleksitas perangkat keras yang rendah, kemampuan untuk mendeteksi gejala kantuk dengan presisi tinggi, serta aspek kenyamanan, karena tidak memerlukan peralatan pemantauan dan sensor yang dapat mengganggu kenyamanan pengguna. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan, seperti sensitivitas terhadap warna kulit, perbedaan fitur wajah, dan jarak antara wajah pengemudi dengan *dashboard* kendaraan [29]. Melihat dari kelebihan dan kekurangan yang ada, metode ini menjadi salah satu kandidat terkuat untuk diterapkan dalam desain *capstone* ini.

B. Biological Based Measures

Pendekatan menggunakan pengukuran biologis ini melibatkan pemantauan elemen-elemen fisiologis seperti detak jantung, aktivitas otak, pola pernapasan, dan variasi lainnya yang mencerminkan kondisi fisik dan mental individu secara *real-time* [30]. Dengan menggunakan sensor biometrik yang terintegrasi, sistem ini mampu memberikan analisis akurat untuk mencegah kecelakaan akibat pengemudi yang kehilangan fokus atau mengalami *drowsiness*. Berikut beberapa perbandingan metodenya:

Tabel 2. 5 Perbandingan Metode menggunakan Biological Based Measure

Parameter	Fitur yang diekstraksi	Metode klasifikasi	Metrik yang diukur
Aktivitas otak	EEG dengan Bluetooth dan <i>smartwatch</i> komersil	Berbasis SVM	Akurasi: <i>Drowsy case</i> : 91,92% <i>Alert case</i> : 91,25% <i>Warning case</i> : 83,78%
Aktivitas otak	EEG	ANN	Akurasi: 88,2%
Sinyal EEG dan gambar spektrogram	Sensor EEG	Jaringan LTSM	Akurasi: 94,31%
EEG	Sensor EEG	ELM <i>Decision tree</i> , KNN, <i>least squared</i> SVM, ANN, <i>naive bayes</i>	Akurasi: ELM: 92,28% Sensitivitas: 95,45%
EEG	Elektroda basah EEG dan <i>cap-type</i> elektroda kering EEG	<i>Extreme gradient boosting classifier</i>	Akurasi: <i>Wired EEG</i> : 78,51% <i>Wireless EEG</i> : 77,22%
EEG	Sensor EEG	<i>Extra trees classifier</i>	Akurasi: Dataset 1: 94,45% Dataset 2: 85,3%
EEG	Sensor EEG	<i>Ensemble boosted tree classifier</i>	Akurasi: 97,19%
Detak jantung dan perubahan volume darah	ECG dan PPG	CNN	Akurasi: ECG: 70% PPG: 64%
Detak jantung	PPG	<i>Differentiating between two (HF, LF, and HF/LF) patterns</i>	Akurasi: 88,8%