

Sistem Deteksi Dini Kantuk pada Pengemudi untuk
Kondisi *Pre-Driving* dengan Menggunakan
Artificial Intelligence

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformasi digital pada saat ini membawa kemajuan yang pesat pada berbagai bidang industri dan penelitian. Teknologi informasi meliputi penggunaan komputer, perangkat lunak, maupun jaringan dalam menyimpan, memproses, serta mengirimkan informasi dalam berbagai bentuk. Perkembangan teknologi pada bidang ini menciptakan inovasi dan otomatisasi proses yang berkelanjutan serta memungkinkan pengolahan data besar sehingga terciptanya efisiensi. Salah satu ilmu pada bidang Teknologi Informasi yang paling signifikan yaitu kecerdasan artifisial (*Artificial Intelligence*). *Artificial Intelligence* merupakan sistem komputer yang mampu melakukan tugas-tugas yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia. Teknologi ini dapat membuat keputusan dengan cara menganalisis dan menggunakan data yang tersedia di dalam sistem (Lubis, 2021). Proses yang terjadi dalam *Artificial Intelligence* mencakup *learning*, *reasoning*, dan *self-correction*. Proses ini mirip dengan manusia yang melakukan analisis sebelum memberikan keputusan pengenalan pola, dan pengambilan keputusan dengan aplikasi yang luas mulai dari perawatan kesehatan hingga otomotif.

Integrasi bidang teknologi informasi dengan ilmu ergonomi yang merupakan studi tentang efisiensi dan optimalisasi kesejahteraan manusia dalam lingkungan kerja dapat menciptakan solusi secara teknologis serta mendukung kesejahteraan dan produktivitas manusia. Pengembangan alat dan sistem yang dapat mempelajari dan menyesuaikan diri dengan kebutuhan pengguna, memfasilitasi desain antarmuka yang lebih intuitif, dan membantu dalam analisis ergonomis untuk identifikasi risiko kesehatan dan keselamatan. Kecerdasan buatan dapat digunakan untuk menganalisis postur kerja, mendeteksi kelelahan, dan bahkan merekomendasikan perubahan untuk mengurangi risiko cedera atau meningkatkan kinerja.

Salah satu tantangan signifikan dalam keselamatan berkendara adalah mengatasi masalah kelelahan dan kantuk pada pengemudi sebelum mereka

memulai berkendara. Kantuk telah diidentifikasi sebagai faktor utama dalam banyak kecelakaan lalu lintas. Kecelakaan lalu lintas akibat kelelahan pengemudi merupakan masalah serius yang mengancam keselamatan di jalan raya di seluruh dunia. Kecelakaan lalu lintas menyebabkan kematian 1,19 juta orang setiap tahunnya (*World Health Organization*, 2023). Selain menyebabkan kematian atau cedera, kecelakaan lalu lintas juga menimbulkan kerugian ekonomi yang timbul dari biaya pengobatan dan hilangnya produktivitas bagi mereka yang meninggal atau cacat akibat cedera tersebut. Kelelahan pengemudi dapat mengurangi kewaspadaan, memperlambat reaksi, dan meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan lalu lintas. Dalam beberapa kasus, kelelahan pengemudi dapat menyebabkan kecelakaan yang mengakibatkan cedera serius atau bahkan kematian. Banyak orang mengemudi dan berkendara dalam keadaan mengantuk sehingga mengakibatkan mengemudi tidak terkendali dan menyebabkan kecelakaan lalu lintas dan kemungkinan meninggal dunia. Data Badan Pusat Statistik mencatat pada tahun 2022 bahwa kecelakaan di Indonesia berjumlah 139.258 kasus dengan korban meninggal dunia tercatat 28.131 korban jiwa, luka berat 13.364 orang, dengan korban luka ringan yaitu 160.449 orang, serta tercatat kerugian materi yaitu Rp 280.009.000 (BPS, 2022).

Terdapat beberapa faktor penyebab kecelakaan lalu lintas, termasuk diantaranya yaitu kondisi jalan raya, cuaca, performa mobil, serta terjadi karena pengemudi itu sendiri. Setiap orang meninggal dalam kecelakaan lalu lintas di jalan raya karena rasa kantuk dari pengemudi. Perilaku tersebut berhubungan dengan kelelahan yang dialami oleh pengemudi. Mengemudi dalam keadaan lelah dan mengantuk merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan lalu lintas di seluruh dunia. Data menunjukkan bahwa sebagian besar kecelakaan lalu lintas disebabkan oleh faktor manusia, seperti kelelahan pengemudi (Cui, Z., Sun, H.-M., Yin, R.-N., Gao, L., Sun, H.-B., & Jia, R.-S, 2021). Menurut penelitian, sekitar 20-30% kecelakaan lalu lintas terjadi akibat pengemudi yang mengalami kelelahan (Sinha, Aneesh & Gopal, 2021).

Upaya pencegahan untuk mengurangi kecelakaan yang disebabkan oleh faktor pengemudi menjadi perhatian utama dalam penelitian ini, dengan

mengembangkan sistem otomatis yang dapat mendeteksi tanda-tanda kelelahan pada pengemudi sebelum berkendara untuk tujuan meningkatkan keselamatan berkendara. Mengemudi dalam keadaan lelah atau kantuk secara signifikan meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas, sehingga dibuat solusi yang dapat mendeteksi dan mengintervensi sebelum pengemudi memulai perjalanan.

Keselamatan dalam berkendara adalah isu penting yang terus menjadi perhatian di Indonesia. Menurut Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, setiap pengemudi wajib mengemudikan kendaraan bermotor dengan penuh konsentrasi dan tidak di bawah pengaruh alkohol atau zat lain yang dapat mengganggu kemampuan mengemudi (Pasal 106 Ayat 1 dan 3). Hal ini penting untuk mengurangi risiko kecelakaan yang sering terjadi akibat kelalaian atau kondisi fisik dan mental pengemudi yang tidak optimal (Wikisumber bahasa Indonesia, 2009).

Selain itu, Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan mengatur bahwa pengemudi harus memenuhi persyaratan kesehatan jasmani dan rohani, serta lulus uji kesehatan secara berkala (Pasal 52). Kondisi fisik yang prima, seperti tidak mengantuk atau kelelahan, sangat ditekankan untuk memastikan bahwa pengemudi dapat bereaksi cepat dan tepat dalam berbagai situasi di jalan (Database Peraturan JDIH BPK, 1993). Peraturan Pemerintah dan undang-undang yang ada bertujuan untuk memastikan bahwa setiap pengemudi berada dalam kondisi yang layak sebelum memulai perjalanan, guna mengurangi risiko kecelakaan dan meningkatkan keselamatan di jalan raya.

Deteksi kantuk biasanya bergantung pada penilaian subjektif seperti *self-reporting* atau pengamatan perilaku oleh pihak ketiga. Hal ini menyebabkan tidak praktis atau kurang akurat untuk pencegahan kecelakaan sebelum berkendara. Pendekatan *pre-driving* dalam deteksi kantuk bertujuan untuk menilai kesiapan dan keadaan pengemudi dalam kondisi optimal untuk mengemudi. Kebutuhan akan solusi otomatis yang dapat mendeteksi tanda-tanda awal kantuk dengan akurat menjadi sangat penting untuk meningkatkan keselamatan di jalan. Deteksi dini kantuk pada pengemudi sebelum berkendara atau *pre-driving* menjadi penting untuk mencegah terjadinya potensi kecelakaan.

Beberapa tahun terakhir, kemajuan dalam bidang *computer vision* dan *deep learning* telah membuka peluang baru dalam deteksi kelelahan pengemudi. Sistem yang menggunakan kamera kendaraan dan teknik *deep learning* dapat mengenali ekspresi wajah, gerakan mata, dan tanda-tanda fisik lainnya yang mengindikasikan kelelahan pengemudi. Teknologi ini memiliki potensi untuk memberikan peringatan dini kepada pengemudi, mengurangi risiko kecelakaan, dan meningkatkan keselamatan di jalan raya. Deteksi wajah merupakan salah satu teknologi yang sekarang ini banyak dikembangkan seiring berkembangnya teknologi komputer. Berkembangnya teknologi deteksi wajah, penelitian mengenai *eyes detection* juga ikut berkembang pesat. Beberapa teknologi yang menggunakan deteksi mata yaitu digunakan untuk deteksi kedipan mata (W. Zhang, B. Cheng, and Y. Lin, 2012).

Meskipun perkembangan pada bidang ini signifikan, namun masih ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Tingkat akurasi deteksi maupun respons waktu sistem, masih menjadi fokus penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas dan mengembangkan metode dalam mendeteksi kelelahan pengemudi dengan memanfaatkan *Artificial Intelligence* yang digunakan untuk menganalisis data visual dan fisiologi pengemudi sebelum berkendara. Analisis berupa ekspresi wajah, pola pernapasan atau detak jantung, serta tingkat oksigen dalam darah dapat menunjukkan tingkat kesiapan atau kelelahan pengemudi.

Penelitian ini akan membahas dan mengembangkan metode dalam mendeteksi kelelahan pengemudi dengan memanfaatkan kecerdasan artifisial melalui metode CNN yang digunakan untuk menganalisis data visual dan fisiologi pengemudi sebelum berkendara. Penggunaan CNN dalam sistem *pre-driving* memungkinkan analisis otomatis terhadap fitur visual yang terkait dengan kelelahan, seperti ekspresi wajah dan gerakan mata pengemudi. Penelitian dengan menggabungkan data visual dan fisiologis dapat menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi.

Penelitian pengembangan teknologi pada kecerdasan artifisial menggunakan metode *deep learning* merupakan interaksi manusia dengan komputer sebagai proses aplikasi sistem yang efektif (L. Zahara, P. Musa, E. Prasetyo Wibowo, I.

Karim, and S. Bahri Musa, 2020). Penggunaan metode *deep learning* seperti *Convolutional Neural Networks* (CNN) banyak digunakan pada penelitian karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Model CNN sangat efektif dalam melakukan tugas untuk mengklasifikasi gambar, karena metode ini secara otomatis dapat mempelajari serta mengekstrak fitur yang relevan dari input data (S. Ahlawat & A. Choudhary, 2019). Hal ini berhasil digunakan dalam sistem deteksi kelelahan pengemudi dengan tingkat akurasi tinggi dalam mendeteksi pola gerakan wajah dan mata (Hasan, Shafri, & Habshi, 2019). Dengan mempelajari dan mengenali pola-pola tertentu yang menunjukkan kelelahan, sistem dapat memberikan peringatan dini kepada pengemudi, sehingga pengemudi dapat mengambil tindakan pencegahan sebelum memulai berkendara, seperti beristirahat atau menunda perjalanan.

Terdapat penelitian mengenai penggabungan CNN dengan *Long-Short Term Memory* (LSTM). CNN digunakan dalam ekstraksi fitur visual dari gambar wajah pengemudi. LSTM digunakan untuk menganalisis data sekuensial dalam memahami pola perilaku pengemudi (JM Guo, H Markoni, 2019). Selain CNN, terdapat model *Support Vector Machines* (SVM) yang merupakan algoritma dari *machine learning* memiliki tingkat klasifikasi gambar yang kuat dan dapat digunakan untuk data linier maupun non-linier. SVM dapat dikombinasikan dengan CNN untuk meningkatkan akurasi klasifikasi yang tinggi termasuk dalam pengenalan tulisan tangan (S. Ahlawat & A. Choudhary, 2019), klasifikasi gambar hiperspektral (Hasan et al., 2019), dan pengenalan gulma di bidang pertanian (Tao & Wei, 2022).

Kinerja dari model SVM dan CNN dilakukan perbandingan dalam mengklasifikasi citra hiperspektral dan menghasilkan bahwa metode SVM memiliki kemampuan generalisasi yang kuat dan memberikan hasil identifikasi dengan akurasi terbaik (Hasan et al., 2019). Penelitian lain mengenai pendeteksi gulma di ladang lobak pada musim dingin menunjukkan bahwa pengklasifikasian hibrida CNN-SVM memiliki kinerja lebih baik dibandingkan model lain dan mencapai tingkat akurasi klasifikasi dengan rata-rata sebesar 92,7% (Tao & Wei, 2022). CNN dapat digunakan untuk menganalisis gambar wajah pengemudi,

mengidentifikasi tanda-tanda visual kelelahan atau kantuk. LSTM memanfaatkan data sekuensial seperti pola pernafasan atau detak jantung yang direkam sepanjang waktu serta tingkat oksigen dalam darah dengan tujuan untuk memahami keadaan fisiologis pengemudi yang mengidentifikasi tanda-tanda kantuk atau lelah. SVM digunakan sebagai langkah klasifikasi akhir untuk menentukan apakah pengemudi teridentifikasi kantuk atau tidak berdasarkan fitur yang diekstraksi oleh CNN dan LSTM.

Sehingga pada penelitian ini menggunakan kombinasi dari model CNN, LSTM, dan SVM bertujuan untuk memanfaatkan kekuatan dari masing-masing model. CNN efektif dalam mengekstraksi fitur visual dari gambar wajah pengemudi, LSTM mengolah data sekuensial untuk mengidentifikasi pola kantuk berdasarkan data fisiologis, dan SVM mengklasifikasikan status kantuk dengan menggunakan fitur yang diekstraksi oleh kedua model tersebut. Pendekatan ini diharapkan mengatasi keterbatasan sistem deteksi kantuk pada pengemudi sebelum berkendara dengan meningkatkan akurasi dan keandalan sistem. Integrasi teknologi sistem *pre-driving* bertujuan untuk menyediakan solusi yang proaktif daripada reaktif, mengidentifikasi risiko sebelum terjadi kecelakaan, dan memfasilitasi intervensi tepat waktu. Melalui pendekatan berbasis kecerdasan artifisial dengan CNN, sistem tidak hanya meningkatkan keselamatan individu dan pengemudi lain di jalan, tetapi juga berkontribusi pada upaya yang lebih luas dalam mencegah kecelakaan lalu lintas akibat kelelahan dan kantuk, mendukung kesejahteraan pengemudi, dan meningkatkan keselamatan jalan raya secara keseluruhan. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan lalu lintas dengan mengurangi insiden yang disebabkan oleh kelelahan pengemudi, sekaligus meningkatkan kesejahteraan pengemudi melalui deteksi kantuk yang lebih efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang penelitian yang telah diuraikan di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yang ingin dipecahkan untuk mencapai tujuan penelitian. Berikut merupakan rumusan masalah dari penelitian ini.

1. Bagaimana membangun dataset baru berdasarkan data citra wajah dan data fisiologis?
2. Apa saja parameter visual dan fisiologis yang digunakan dalam sistem deteksi dini kantuk berbasis kecerdasan artifisial?
3. Bagaimana merancang sistem deteksi dini kantuk yang akurat mengidentifikasi tanda-tanda kelelahan pada pengemudi sebelum berkendara?
4. Bagaimana implementasi sistem deteksi dini kantuk dalam lingkungan *predriving* pengemudi?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian adalah mengembangkan sistem deteksi kantuk *predriving* yang inovatif dengan menggunakan kecerdasan artifisial untuk meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan pengemudi. Tujuan khusus penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Membangun dataset baru dari data citra wajah dan data fisiologis untuk pelatihan dan pengujian model deteksi kantuk *pre-driving*.

Berdasarkan penelitian-penelitian dalam tabel di atas menjelaskan mengenai peran dari teknologi *Artificial Intelligence* dalam mengembangkan solusi yang canggih untuk mengidentifikasi kelelahan pada pengemudi. Melalui pemrosesan visual secara mendalam dan pemahaman pola, teknologi tersebut mampu

mendeteksi tanda-tanda kelelahan pada area mata, mulut, dan kepala pengemudi dengan tingkat akurasi yang semakin tinggi. Studi diatas menunjukkan bahwa terdapat potensi dalam meningkatkan keselamatan di jalan raya melalui pendekatan berbasis teknologi yang cerdas dan efektif.

Penelitian-penelitian sejenis yang merupakan peneltian terdahulu antara lain implementasi pemanfaatan kecerdasan buatan dalam bidang teknologi informasi untuk mendeteksi kelelahan seperti pada tahun 2019 dengan mengusulkan sistem pengenalan aktivitas pengemudi berbasis deep learning dengan akurasi 93,2% untuk mengenali pengemudi menjawab telepon dan 94,5% mengirim pesan (Xing, Y., Lv, C., Wang, H., Cao, D., Velenis, E., & Wang, F.-Y. (2019). Pada tahun 2020 terdapat dua penelitian yang mengusulkan deteksi kelelahan berbasis multi-fitur wajah untuk meningkatkan akurasi deteksi. Algoritma yang digunakan yaitu YOLOv3-tiny dengan akurasi 95,10% (Li, K., Gong, Y., & Ren, Z., 2020). Serta penggunaan algoritma EM-CNN dengan akurasi 97,913% (Zhao, Z., Zhou, N., Zhang, L., Yan, H., Xu, Y., & Zhang, Z., 2020). Pada tahun selanjutnya, terdapat penelitian mengembangkan metode deteksi kelelahan pengemudi menggunakan CNN dengan parameter yang diukur yaitu posisi kepala dan mata. Nilai akurasi yang didapat rata-rata 89,55% (Li, X., Xia, J., Cao, L., Zhang, G., & Feng, X, 2021). Tahun 2022 terdapat dua penelitan pengembangan sistem untuk meningkatkan akurasi deteksi kelelahan dan memperbaiki kinerja sistem. Deteksi pada kondisi siang hari saat pengemudi menggunakan kacamata memiliki nilai akurasi 98% (Alharbey, R., Dessouky, M. M., Sedik, A., Siam, A. I., & Elaskily, M. A, 2022). Terdapat juga kombinasi metode CNN dan SVM untuk mendeteksi kelelahan pengemudi mencapai akurasi pengujian 99,65% (Salma Anber, Wafaa Alsaggaf, &Wafaa Shalash, 2022). Tahun 2023 terdapat penelitian deteksi kantuk berdasarkan perilaku pengemudi menggunakan pengukuran fisiologis sensor Galvanic Skin Response (GSR) dengan akurasi 91% (Bajaj, J.S.; Kumar, N.; Kaushal, R.K.; Gururaj, H.L.; Flammini, F.; Natarajan, R, 2023).

Penelitian terkini menunjukkan bahwa penggunaan CNN dalam pengenalan pola dan citra memiliki akurasi yang tinggi, namun pengaplikasian dalam sistem deteksi dini kantuk pada kondisi pre-driving masih terbatas. Kebaruan dari

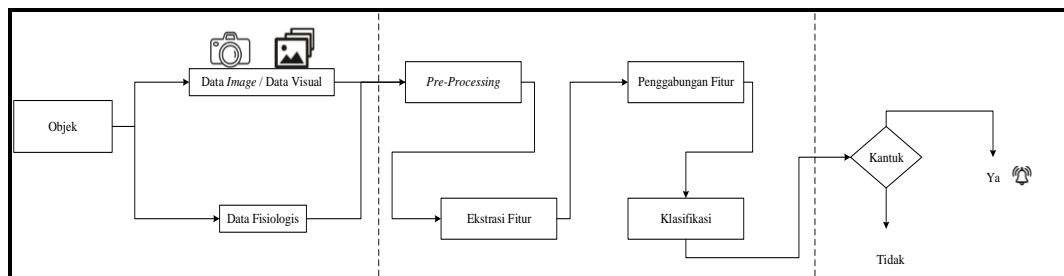
penelitian ini terletak pada pengembangan algoritma yang dioptimalkan untuk deteksi dini kantuk dengan memanfaatkan penggabungan data citra gambar dan data fisiologis untuk meningkatkan keakuratan deteksi, serta integrasinya dalam lingkungan pre-driving belum banyak dilakukan. Inovasi penelitian ini yaitu pembuatan dataset primer yang dibangun khusus untuk penelitian ini. Melibatkan berbagai kelompok pengemudi dalam pengumpulan data memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi tanda-tanda kantuk dengan lebih tepat, mengatasi keterbatasan dataset yang umumnya digunakan yang cenderung homogen dan terbatas. Dataset yang khusus dan beragam ini memperkuat basis data untuk pelatihan dan pengujian model yang digunakan, serta meningkatkan kinerja dan reliabilitas sistem deteksi dini kantuk secara keseluruhan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi dini kantuk sebelum berkendara dengan menggunakan kombinasi data visual berupa data citra wajah dan data fisiologis. Kondisi *pre-driving* mengacu pada kondisi sebelum pengemudi memulai perjalanan, sehingga sistem ini sangat penting untuk mencegah risiko kecelakaan di jalan. Sistem ini mengintegrasikan teknologi pengenalan wajah dan analisis data fisiologis untuk memberikan deteksi yang lebih akurat. Blok diagram secara umum yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 Blok Diagram.



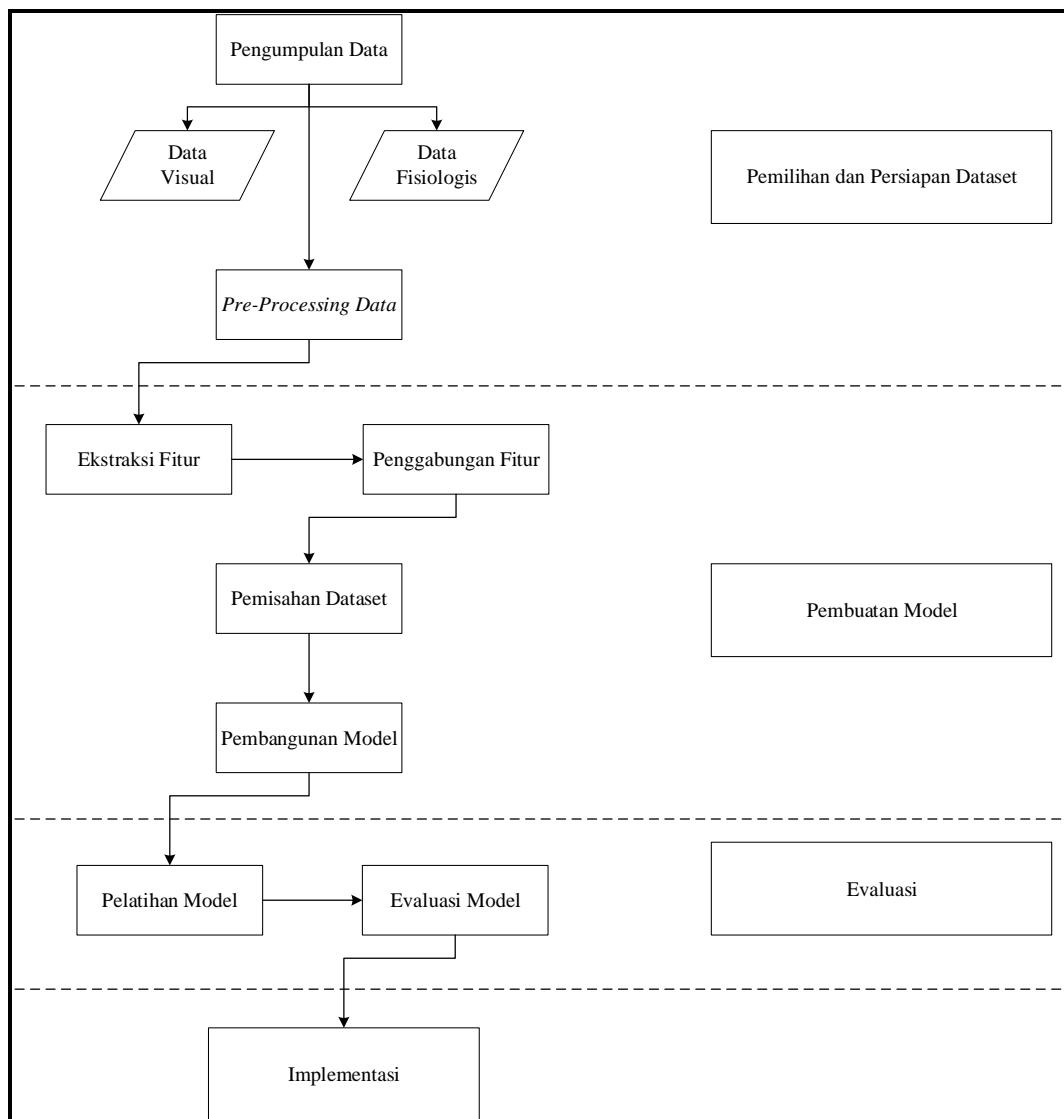
Gambar 3.1 Blok Diagram

Model ini terdiri dari tiga tahapan yaitu input, proses, dan output. Penelitian deteksi dini kantuk untuk kondisi *pre-driving* menggabungkan data visual yaitu pengumpulan data citra wajah pengemudi yang diambil menggunakan kamera, serta data fisiologis yang diukur berupa data EKG menggunakan perangkat *wearable* yaitu *smartwatch* dan *pulse oximeter* untuk mengukur saturasi oksigen (SpO_2). Tahapan *pre-processing* dan ekstraksi fitur dilakukan pada kedua jenis data yaitu data citra gambar dan data fisiologis. Model *Convolutional Neural Network* (CNN) digunakan untuk mengekstraksi fitur dari data citra wajah yang merupakan data visual, sementara *Long Short-Term Memory* (LSTM) digunakan untuk memproses data fisiologis yang bersifat *time-series*. Fitur-fitur yang diekstraksi dari kedua model ini digabungkan untuk menghasilkan vector fitur gabungan. Vektor fitur ini kemudian digunakan sebagai input untuk model *Support Vector Machine*

(SVM) yang melakukan klasifikasi akhir untuk mendeteksi kantuk. Hasil deteksi kemudian digunakan untuk memberikan peringatan kepada pengemudi layak tidak nya pengemudi untuk berkendara.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan urutan atau langkah-langkah yang dilakukan secara terstruktur dan sistematis pada penelitian ini, secara garis besar terbagi menjadi empat tahapan. Berikut adalah Gambar 3.2 Tahapan Penelitian yang dilakukan pada penelitian ini.



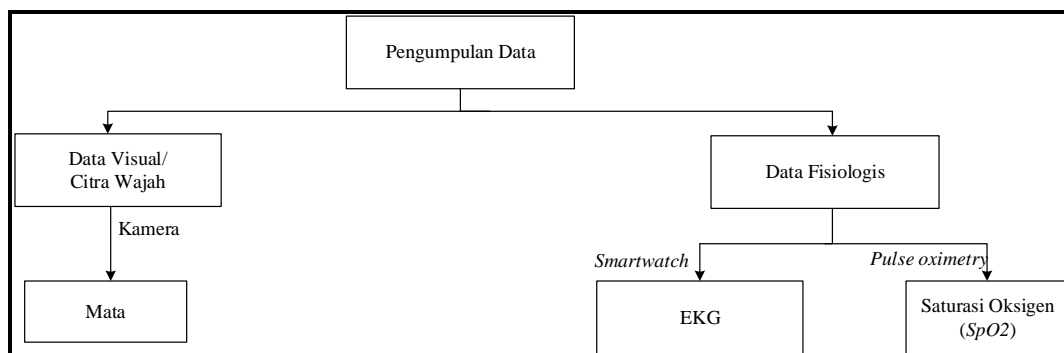
Gambar 3.2 Tahapan Penelitian

3.3. Pemilihan dan Persiapan Dataset

Tahapan ini merupakan tahapan identifikasi awal dari penelitian meliputi identifikasi masalah penelitian yang berfokus pada masalah utama yaitu mendeteksi kantuk pada pengemudi menggunakan pemrosesan citra dan fisiologis. Tahapan ini dilakukan untuk memastikan bahwa hanya data yang relevan, berkualitas tinggi, dan siap untuk diproses lebih lanjut yang digunakan. Pemilihan dataset memastikan bahwa dataset yang dikumpulkan relevan dengan tujuan penelitian, yaitu hanya menggunakan data yang berkaitan dengan kondisi *pre-driving*, serta memastikan bahwa data visual dan data fisiologis diambil pada waktu yang sama. Tahapan pengumpulan data dan *pre-processing data* merupakan tahap awal untuk mempersiapkan dataset yang akan digunakan.

3.3.1 Pengumpulan Data

Data dibagi menjadi dua kategori utama yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh berdasarkan pengumpulan dan pengamatan langsung oleh peneliti berdasarkan kondisi subjek penelitian dan rekaman aktivitas fisik atau ekspresi wajah menggunakan kamera, serta pengukuran fisiologis yang menggunakan perangkat *wearable*. Data primer ini berupa data objektif dengan mengumpulkan data citra wajah dan pengukuran fisiologis. Berikut merupakan Gambar 3.3 Pengumpulan Data.



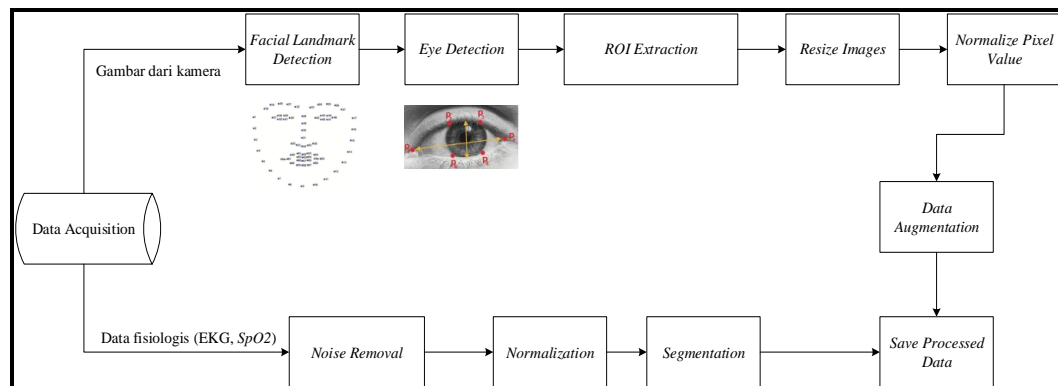
Gambar 3.3 Pengumpulan Data

Dataset visual berupa citra wajah yang berfokus pada wajah pengemudi yang diambil menggunakan kamera dengan spesifikasi 12 MP. Data visual dan fisiologis berupa data yang diambil dari partisipan dalam kondisi terjaga dan mengantuk. Data fisiologis mencakup pengukuran langsung dari respons tubuh berupa sinyal

EKG (Elektrokardiogram) yang merekam detak jantung (HR), variabilitas detak jantung atau *Heart Rate Variability* (HRV) menggunakan perangkat *wearable* dan pengukuran saturasi oksigen dalam darah (*SpO2*) yang diukur menggunakan *pulse oximeter*.

3.3.2 Pre-Processing Data

Melakukan analisis eksploratif data untuk memahami karakteristik dataset sehingga meningkatkan kualitas deteksi. *Pre-Processing* yang dilakukan yaitu *pre-processing* citra dan *pre-processing* data fisiologis. *Pre-processing* citra yaitu dengan mendeteksi wajah dan mata, normalisasi pencahayaan, pemotongan area wajah yang relevan. Ekstraksi frame dari video menggunakan OpenCV. *Pre-processing* data fisiologis yaitu dengan normalisasi data, dan segmentasi. Berikut merupakan Gambar 3.4 *Pre-Processing* Data.



Gambar 3.4 *Pre-Processing* Data

Dataset yang dikumpulkan kemudian diolah, yang meliputi normalisasi, penghilangan noise, dan teknik pra-pemrosesan lainnya untuk membuat data siap digunakan dalam ekstraksi fitur. Langkah ini melibatkan pembersihan dan penyiapan data untuk analisis.

Proses *pre-processing* untuk data visual atau data gambar, yaitu:

1. Pengumpulan data visual dengan mengambil gambar wajah pengemudi menggunakan kamera berfokus pada mata.
2. Deteksi wajah dan deteksi mata, menggunakan algoritma deteksi wajah seperti *Haar Cascades* atau *Dlib* untuk mendeteksi dan melokalisasi wajah dalam gambar.
3. Deteksi mata, yaitu mendeteksi mata dalam area wajah yang terdeteksi.

4. Ekstraksi *ROI (Region of Interest)* dengan mengambil area mata dari gambar.
5. Teknik normalisasi untuk mengubah ukuran gambar mata menjadi dimensi yang konsisten misal nya 64x64 pixel, serta menormalisasi nilai pixel gambar dalam rentang [0, 1] atau [-1, 1].
6. Augmentasi gambar dilakukan untuk meningkatkan variasi data, seperti rotasi, *flipping* horizontal atau vertikal, *zooming*, dan perubahan cahaya
7. Penyimpanan data yang diproses dengan menyimpan gambar yang telah diproses dan fitur yang diekstraksi dalam format terstruktur (CSV atau *database*).

Proses *pre-processing* untuk data fisiologis yaitu:

1. Pengumpulan data fisiologis menggunakan *wearable* untuk merekam detak jantung (HR), variabilitas detak jantung (HRV), dan saturasi oksigen (SpO2).
2. Pembersihan data dengan menghilangkan *noise* dengan menggunakan teknik *filtering*, dan imputasi data hilang dengan mengisi data yang hilang menggunakan metode seperti *mean*, *median*, atau *interpolasi*.
3. Normalisasi data dengan Min-Max sehingga menyesuaikan dengan skala data ke rentang yang konsisten [0, 1].
4. Segmentasi data dilakukan dengan membagi data menjadi segmen dengan ukuran waktu tetap (yaitu 30 detik).
5. Normalisasi data untuk memastikan konsistensi skala antar subjek dan pengukuran.
6. Penyimpanan data yang diproses yaitu data fisiologis dalam format terstruktur.

Langkah selanjutnya yaitu sinkronisasi data dengan menggabungkan data visual serta data fisiologis berdasarkan *timestamp*. Selanjutnya memastikan bahwa data visual dan fisiologis yang telah disinkronkan mencerminkan kondisi yang sama pada waktu yang sama. Selanjutnya yaitu menyimpan data yang telah disinkronkan dalam format yang mudah diakses untuk dianalisis lebih lanjut.

3.4. Pembuatan Model

Pembuatan model merupakan proses implementasi dari desain arsitektur yang telah direncanakan. Langkah dari pembuatan model yaitu penulisan kode untuk membangun model sesuai dengan desain arsitektur yaitu CNN, LSTM, dan SVM.

Selanjutnya, mengonfigurasi model dengan *optimizer*, fungsi *loss*, dan metrik evaluasi. Kemudian melakukan pelatihan model menggunakan dataset yang telah dibagi menjadi *training set* dan *validation set* pada tahapan *pre-processing*. Selanjutnya dilakukan validasi serta *tuning hyperparameters* untuk mengoptimalkan kinerja model.

3.4.1 Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur dilakukan untuk menangkap karakteristik penting dari data yang telah diproses. Fitur ini akan digunakan sebagai input untuk model pembelajaran mesin. Ekstraksi fitur dilakukan pada data visual berupa data gambar, dan data fisiologis.

1. Data Visual

- a. *Eye Aspect Ratio* (EAR), digunakan untuk mendeteksi apakah mata terbuka atau tertutup.

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

Di mana p_i adalah titik-titik landmark mata.

- b. *Pupil Dilation*, digunakan untuk mengukur perubahan ukuran pupil.
- c. *Redness of Eyes*, mengukur tingkat kemerahan pada mata.
- d. *Eye Openess*, mengukur bukaan mata berdasarkan jarak vertikal antara kelopak mata atas dan bawah.

2. Data Fisiologis

- a. *Heart Rate* (HR), mengukur detak jantung per menit.
- b. *Heart Rate Variability* (HRV), mengukur variabilitas detak jantung.
- c. *Respiratory Rate* (RR), mengukur laju pernapasan.
- d. *SpO2*, saturasi oksigen dalam darah

Ekstraksi fitur dengan *Convolutional Neural Network* (CNN) adalah proses yang menggunakan lapisan konvolusi dan *pooling* untuk menangkap fitur penting dari data gambar. Langkah-langkah ekstraksi fitur dengan CNN:

1. *Convolutional Layer*: Menggunakan filter untuk menangkap fitur spasial dari gambar.

2. *Pooling Layer*: Mengurangi dimensi peta fitur sambil mempertahankan fitur penting.
3. *Fully Connected Layer*: Menghubungkan peta fitur yang telah diratakan untuk melakukan klasifikasi atau ekstraksi fitur.
4. Pelatihan Model: Menyesuaikan bobot filter melalui *backpropagation* dengan data latih.
5. Ekstraksi Fitur: Menggunakan model yang telah dilatih untuk mengekstraksi fitur dari gambar baru.

Ekstraksi fitur dengan *Long Short-Term Memory* (LSTM) adalah proses yang menggunakan jaringan LSTM untuk menangkap pola temporal dan hubungan jangka panjang dalam data sekuensial, seperti data fisiologis (EKG, HR, HRV, RR, dan SpO2). LSTM sangat efektif dalam menangani data yang memiliki ketergantungan waktu. Ekstraksi fitur dengan LSTM melibatkan beberapa langkah penting:

1. Menyiapkan Data: Menyiapkan data sekuensial dalam bentuk yang sesuai untuk input ke LSTM.
2. Membangun Model LSTM: Membangun model LSTM dengan lapisan LSTM dan Dense untuk ekstraksi fitur.
3. Melatih Model LSTM: Melatih model menggunakan data sekuensial untuk menyesuaikan bobot jaringan.
4. Ekstraksi Fitur: Menggunakan model yang telah dilatih untuk mengekstraksi fitur dari data sekuensial baru.

3.4.2 Penggabungan Fitur

Fitur-fitur yang telah diekstraksi dari ekstraksi fitur dengan model CNN yaitu dari gambar visual dengan mengekstraksi bagian mata dan ekstraksi fitur dari data sekuensial dengan menggunakan LSTM berupa data fisiologis. Selanjutnya, penggabungan fitur visual dan fitur sekuensial menggunakan metode penggabungan (*concatenation*) digabungkan membentuk satu set fitur komprehensif yang akan digunakan untuk pelatihan model yaitu klasifikasi akhir menggunakan model SVM.

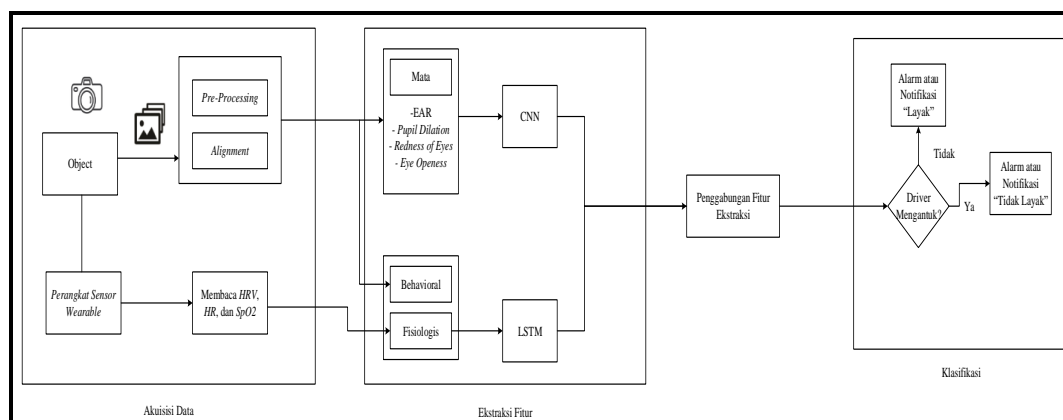
3.4.3 Pemisahan Dataset

Pembagian dataset merupakan langkah penting dalam proses pelatihan dan evaluasi model. Merujuk pada penelitian (Li, K., Gong, Y., & Ren, Z., 2020) untuk pembagian dataset dibagi menjadi tiga bagian yaitu *training set* (40%), *validation set* (10%), dan *test set* (50%), namun pada penelitian ini pembagian dataset yang terdiri dari data gambar dan data fisiologis dibagi menjadi berikut:

1. *Training Set* (75%), data yang digunakan untuk melatih melatih model.
2. *Validation Set* (15%), digunakan untuk *tuning hyperparameters* dan memilih model terbaik.
3. *Test Set* (15%), digunakan untuk mengevaluasi kinerja akhir model.

3.4.4 Desain Arsitektur

Desain arsitektur merupakan proses menentukan struktur dan komponen model yang akan dibangun, yang terdiri dari jenis model, jumlah dan jenis layer, fungsi aktivasi, teknik regularisasi, dan konfigurasi model. Jenis model penelitian ini melibatkan dua model utama yaitu *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk data visual dan *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk data fisiologis. Hasil dari kedua model digabungkan dan diklasifikasikan menggunakan *Support Vector Machine* (SVM). Model ini terdiri dari tiga tahapan yaitu akuisisi data, *pre-processing* data, ekstraksi fitur, penggabungan fitur, dan klasifikasi dengan SVM, dan *output* sistem. Berikut merupakan Gambar 3.5 Arsitektur Model.



Gambar 3.5 Arsitektur Model

Tahap ini mencakup perancangan arsitektur CNN yang akan digunakan, termasuk pemilihan jumlah dan jenis layer, fungsi aktivasi, dan teknik regularisasi.

Digunakan untuk mengolah data visual, seperti mengenali mata tertutup atau mulut menguap sebagai indikator kantuk. LSTM digunakan untuk menganalisis data fisiologis yang berurutan, seperti pola detak jantung yang menunjukkan kelelahan atau penurunan kewaspadaan. Menggabungkan fitur yang diekstrak dari CNN dan LSTM untuk mendapatkan representasi data yang komprehensif, memastikan bahwa model dapat mengidentifikasi kantuk berdasarkan kombinasi indikator visual dan fisiologis. Selanjutnya yaitu menggunakan *Support Vector Machines* (SVM) untuk mengklasifikasikan data sebagai "kantuk" atau "tidak kantuk". SVM dipilih karena kemampuannya dalam mengklasifikasikan data yang kompleks dan memberikan batas keputusan yang jelas “layak” atau “tidak layak” pengemudi untuk berkendara. Jika pengklasifikasi mendeteksi keadaan mengantuk, maka pengklasifikasi menghasilkan alarm atau notifikasi pemberitahuan untuk memberi tahu bahwa pengemudi tidak layak untuk berkendara atau kembali ke fase pertama dan memulai ulang prosedur.

3.4.5 Pelatihan Model dengan Dataset

Pelatihan model dilakukan dengan menggunakan *training set*, dengan *tuning hyperparameters* berdasarkan kinerja pada *validation set*. Pelatihan model dilakukan dengan model SVM menggunakan *training set*.

3.5 Evaluasi

Model gabungan ini dievaluasi menggunakan metrik seperti akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score* untuk memastikan performa dan keandalannya. Implementasi sistem ini diharapkan dapat memberikan notifikasi atau peringatan kepada pengemudi jika tanda-tanda kantuk terdeteksi selama kondisi *pre-driving*, sehingga dapat meningkatkan keselamatan berkendara secara signifikan. Berdasarkan hasil validasi, model dapat *di-tune* atau dioptimalkan untuk meningkatkan performa, misalnya dengan mengubah arsitektur, parameter, atau teknik *training*.

3.6 Implementasi

Setelah penyempurnaan, model dianggap siap untuk digunakan. Model ini harus dapat secara akurat mendeteksi kantuk pengemudi dalam berbagai kondisi dengan minimal kesalahan. Langkah selanjutnya yaitu penerapan model dalam sistem nyata dan pemantauan efektivitasnya dalam kondisi pengemudi pada

3.7 Rencana Kegiatan

No	Nama Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Kajian Literatur												
2.	Perencanaan Penelitian												
3.	Pengumpulan Data												
4.	Pra-pemrosesan Data												
5.	Pembuatan Model												
6.	Pelatihan dan Evaluasi Model												
7.	Penyusunan Laporan Akhir												
8.	Presentasi Laporan Akhir												
9.	Publikasi Jurnal Ilmiah Internasional												
10.	Pengajuan HKI												