

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Transportasi jalan raya merupakan salah satu infrastruktur utama yang menopang mobilitas masyarakat, kelancaran distribusi barang, dan aktivitas ekonomi [1]. Namun, sistem transportasi darat nasional masih dibayangi oleh tingginya angka kecelakaan lalu lintas yang menimbulkan kerugian material maupun korban jiwa dalam skala besar. Berdasarkan data Korps Lalu Lintas (Korlantas) Polri, jumlah kecelakaan lalu lintas nasional tercatat sebanyak 150.096 kejadian pada tahun 2024 dan menurun menjadi 141.608 kejadian pada tahun 2025, atau turun sekitar 6,16%, dengan penurunan korban meninggal dunia sekitar 19,8% [2], [3]. Di sisi lain, pengolahan data yang dilakukan *Road Safety Association* (RSA) Indonesia menunjukkan bahwa sepanjang 2025 terjadi lebih dari 158.000 kecelakaan dengan sekitar 24.296 korban meninggal, 19.311 luka berat, dan 195.271 luka ringan, serta menimbulkan beban ekonomi yang diperkirakan melampaui Rp 3 triliun per tahun [4].

Investigasi yang dilakukan Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) bahkan menunjukkan bahwa sekitar 80% kecelakaan angkutan darat disebabkan oleh *human error*, dengan kelelahan (*fatigue*) pengemudi sebagai faktor yang paling dominan [5]. Sebagai salah satu bentuk *human error* tersebut, kelelahan dan kantuk pengemudi menempati posisi yang sangat kritis karena dapat memicu fenomena *microsleep*, yaitu episode tidur singkat dalam rentang sepersekian detik hingga sekitar 30 detik yang menyebabkan hilangnya kewaspadaan terhadap lingkungan sekitar [6], [7]. Dalam konteks Operasi Ketupat 2024, Korlantas Polri mencatat 3.286 kecelakaan selama periode mudik Lebaran dan melaporkan bahwa mayoritas insiden tersebut disebabkan oleh pengemudi yang mengantuk atau mengalami *microsleep* [7]. Pusat Informasi Kriminal Nasional (Pusiknas) Polri, mengutip kajian media nasional, bahkan menempatkan *microsleep* sebagai penyebab utama kecelakaan berkendara selama mudik 2024 dan mengaitkannya dengan kasus kecelakaan bus antarkota di ruas Tol

Batang Semarang [8]. Tren ini berlanjut pada tahun 2025, ketika Menteri Kesehatan Republik Indonesia menegaskan bahwa kelelahan dan kantuk pengemudi yang tetap memaksakan diri berkendara merupakan penyebab utama kecelakaan selama periode mudik Lebaran 2025, sehingga masyarakat diminta lebih waspada terhadap risiko *microsleep* saat menempuh perjalanan jarak jauh [9].

Selain itu, sejumlah kecelakaan besar pada tahun 2025 juga dikaitkan langsung dengan fenomena *microsleep*. Salah satunya adalah kecelakaan beruntun di KM 52 Tol Jakarta Cikampek pada 29 Maret 2025, ketika sebuah bus menabrak beberapa kendaraan dan sopirnya diduga tertidur sesaat (*microsleep*) saat mengemudi [10]. Kasus lain adalah kecelakaan yang melibatkan anggota DPR RI di Tol Pemalang Batang KM 316A pada Mei 2025, di mana sopir diduga mengalami *microsleep* hingga kendaraan oleng dan menabrak truk sehingga menimbulkan korban jiwa [11].

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mendeteksi kantuk pengemudi, terutama melalui pemantauan sinyal fisiologis dan perilaku visual. Metode berbasis sinyal fisiologis seperti *Electroencephalogram* (EEG), *Electrocardiogram* (ECG), dan *Electrooculogram* (EOG) sering disebut sebagai *gold standard* dalam penelitian klinis karena mampu menangkap perubahan keadaan kewaspadaan secara langsung dari aktivitas otak, detak jantung, dan gerakan mata [12]. Meskipun menawarkan akurasi tinggi, metode ini menuntut pemasangan elektroda pada kulit kepala atau tubuh pengemudi, memerlukan peralatan khusus yang mahal, dan membutuhkan proses kalibrasi yang kompleks sehingga tidak praktis untuk diimplementasikan secara luas pada kendaraan komersial maupun pribadi. Keterbatasan inilah yang mendorong pergeseran ke pendekatan non-invasif berbasis visi komputer yang memanfaatkan kamera untuk memonitor kondisi wajah dan mata pengemudi secara terus-menerus [13].

Generasi awal sistem deteksi kantuk berbasis visi komputer banyak mengandalkan fitur geometri manual, salah satunya *Eye Aspect Ratio* (EAR) yang menghitung rasio jarak Euclidean antar titik *landmark* pada kelopak mata untuk membedakan kondisi mata terbuka dan tertutup [14]. Metode ini relatif ringan secara komputasi dan dapat berjalan pada perangkat dengan daya komputasi terbatas, namun performanya sangat bergantung pada akurasi

deteksi *landmark* wajah yang mendasarinya. Dalam kondisi pencahayaan rendah (misalnya berkendara malam hari), adanya oklusi seperti kacamata dan masker, serta variasi pose kepala yang ekstrem, detektor wajah dan *landmark* konvensional (misalnya berbasis HOG dan *shape predictor* Dlib) kerap mengalami kegagalan sehingga meningkatkan risiko *false positive* maupun *false negative* dalam deteksi kantuk [15]. Revolusi *Deep Learning*, khususnya melalui pemanfaatan *Convolutional Neural Networks* (CNN), menawarkan kemampuan untuk mempelajari fitur visual secara *end-to-end* langsung dari citra mata mentah sehingga dapat mencapai akurasi deteksi kantuk yang lebih tinggi dan lebih *robust* terhadap variasi lingkungan dibandingkan metode berbasis fitur geometri sederhana [14]. Namun, banyak arsitektur CNN populer seperti VGG-16 dan ResNet-50 memiliki jutaan parameter dan memerlukan operasi komputasi yang besar sehingga sulit dijalankan secara *real-time* pada perangkat dengan sumber daya terbatas tanpa bantuan unit pemrosesan grafis (GPU) [12].

Menjawab tantangan tersebut, berbagai penelitian terbaru mengarahkan perhatian pada model CNN ringan (*lightweight CNN*) yang dirancang khusus untuk memastikan efisiensi komputasi yang tinggi, sehingga mampu berjalan secara *real-time* tanpa membebani sistem pada lingkungan komputasi standar maupun sistem *infotainment* kendaraan. Keluarga MobileNet, khususnya MobileNetV3, dikembangkan dengan menggabungkan inovasi *inverted residuals*, *linear bottlenecks*, modul *Squeeze-and-Excitation*, serta fungsi aktivasi *hard-swish* yang dioptimasi melalui *Neural Architecture Search* sehingga menghasilkan model yang efisien secara komputasi dengan ukuran parameter yang jauh lebih kecil [16], [17]. Studi pada Raspberry Pi membuktikan bahwa MobileNetV3-Small mampu bekerja optimal meski pada perangkat bersumber daya rendah. Dengan tingkat efisiensi tersebut, implementasi model pada komputasi standar diharapkan akan menghasilkan pemrosesan *real-time* yang sangat mulus tanpa membebani sistem [18]. Di sisi lain, MediaPipe Face Mesh yang dikembangkan oleh Google menyediakan solusi *face geometry* yang mampu memprediksi 468 titik *landmark* wajah 3D secara *real-time* hanya dengan satu kamera RGB, tanpa memerlukan sensor kedalaman tambahan. Dokumentasi dan implementasi referensi menunjukkan bahwa Face Mesh dirancang dengan model ringan yang dapat

berjalan secara efisien pada CPU dan GPU perangkat mobile, sekaligus menyediakan kepadatan *landmark* yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan klasik seperti *landmark* 68 titik Dlib, sehingga memungkinkan ekstraksi *Region of Interest* (ROI) mata yang lebih presisi pada berbagai pose kepala dan kondisi pencahayaan [19], [20].

Berdasarkan uraian di atas, terdapat kesenjangan (*research gap*) dalam metodologi sistem deteksi kantuk saat ini. Pendekatan yang mengandalkan sensor fisiologis memang memberikan akurasi tinggi, namun sifatnya yang invasif membuatnya tidak praktis untuk penggunaan sehari-hari. Sebaliknya, metode visi komputer konvensional yang mengandalkan ekstraksi geometri wajah menawarkan komputasi yang ringan, tetapi performanya sangat tidak stabil pada kondisi pencahayaan dinamis dan oklusi. Di sisi lain, penggunaan model *Deep Learning* konvensional mampu memecahkan masalah akurasi visual tersebut, namun beban komputasinya terlalu berat untuk dijalankan secara *real-time* tanpa perangkat keras berspesifikasi tinggi. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak akan sebuah sistem penengah yang bersifat non-invasif, seakurat *Deep Learning*, namun tetap sangat efisien secara komputasi.

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem deteksi kantuk pengemudi berbasis klasifikasi kondisi mata secara *real-time* menggunakan arsitektur MobileNetV3-Small sebagai model CNN ringan (*lightweight* CNN) dan MediaPipe Face Mesh sebagai komponen deteksi wajah dan ekstraksi ROI mata yang cepat dan presisi. Sistem yang diusulkan diharapkan mampu mencapai akurasi klasifikasi yang tinggi sekaligus mempertahankan *frame rate* yang memadai pada perangkat komputasi standar. Hal ini membuatnya realistis untuk diimplementasikan sebagai sistem pemantauan dalam kabin (*in-vehicle monitoring system*) pada kendaraan pribadi maupun komersial. Secara konseptual, penelitian ini juga selaras dengan agenda *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 3 (*Good Health and Well-being*) Target 3.6 yang menargetkan pengurangan jumlah kematian dan cedera akibat kecelakaan lalu lintas, serta SDG 11 (*Sustainable Cities and Communities*) Target 11.2 yang menekankan pentingnya sistem transportasi yang aman, terjangkau, dan berkelanjutan [21], [22]. Dengan demikian, pengembangan sistem deteksi kantuk

berbasis visi komputer yang efisien ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan keselamatan jalan raya dan pengurangan risiko kecelakaan akibat kantuk dan *microsleep* di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan permasalahan utama sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem *Deep Learning* dengan integrasi *two-stage pipeline* berbasis MediaPipe Face Mesh dan MobileNetV3 yang mampu mengklasifikasikan indikator visual kantuk (mata terbuka/tertutup) menggunakan MRL Eye Dataset?
2. Bagaimana kinerja sistem peringatan dini deteksi kantuk yang diusulkan jika dievaluasi berdasarkan metrik klasifikasi dan parameter operasional *real-time*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan spesifik yang ingin dicapai melalui pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang dan mengembangkan sistem *Deep Learning* dengan integrasi *two-stage pipeline* berbasis MediaPipe Face Mesh dan MobileNetV3-Small yang dilatih menggunakan MRL Eye Dataset untuk mendeteksi indikator visual kantuk (kondisi mata terbuka/tertutup) secara *real-time*.
2. Mengevaluasi dan memvalidasi kinerja sistem peringatan dini yang diusulkan berdasarkan metrik klasifikasi seperti Akurasi, Presisi, *Recall*, dan *F1-Score* serta parameter operasional seperti Waktu Inferensi dan *Frames Per Second/FPS*.

1.4 Batasan Masalah Penelitian

Untuk menjaga fokus dan kedalaman analisis, penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup sebagai berikut:

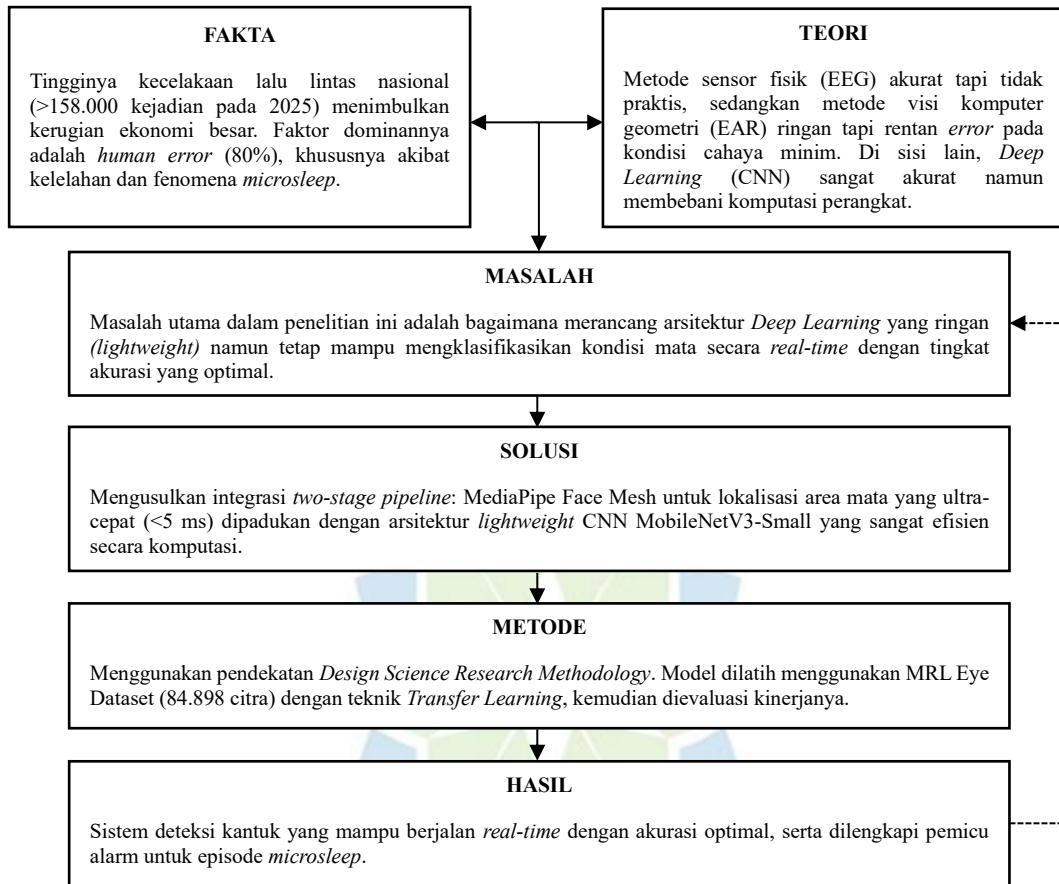
1. Penelitian ini memfokuskan deteksi kantuk pada parameter visual kondisi mata (terbuka vs tertutup) sebagai indikator utama yang berkorelasi dengan kejadian *microsleep*.
2. Pelatihan, validasi, dan pengujian model dilakukan menggunakan MRL Eye Dataset, yang sengaja dipilih karena mencakup citra variasi pencahayaan

ekstrem dan modalitas inframerah (IR) untuk mewakili kondisi mengemudi nyata, termasuk di malam hari

3. Sistem dibangun menggunakan arsitektur MobileNetV3-Small dengan pendekatan *Transfer Learning* untuk klasifikasi, serta pustaka MediaPipe Face Mesh untuk deteksi wajah dan ekstraksi area mata.
4. Luaran sistem dibatasi pada deteksi status mata secara real-time dan pemicu alarm peringatan kritis (*microsleep alert*) ketika kondisi mata tertutup berturut-turut melebihi ambang durasi 1000 milidetik (1 detik).
5. Evaluasi prototipe sistem menggunakan metrik klasifikasi dan pengujian kinerja *real-time* (FPS dan waktu inferensi) dilakukan menggunakan perangkat komputasi dengan spesifikasi prosesor Intel(R) Core(TM) i7-12700H, RAM 32 GB, 720P HD Camera, dan akselerasi GPU NVIDIA GeForce RTX 3050 Ti.



1.5 Kerangka Pemikiran Penelitian



Gambar 1. 1 Kerangka Pemikiran Penelitian

Gambar 1.1 memvisualisasikan alur berpikir penelitian ini dimulai dari fakta empiris tingginya angka kecelakaan akibat kantuk, yang menuntut adanya solusi teknologi. Namun, kajian teori menunjukkan bahwa metode yang ada saat ini entah terlalu rumit (sensor fisik) atau kurang akurat (metode geometri sederhana). Hal ini memunculkan masalah utama: "Bagaimana mendapatkan akurasi setara Deep Learning tapi seringan metode geometri?". Sebagai Solusi, penelitian ini mengusulkan integrasi pemrosesan dua tahap (*two-stage pipeline*) yang menggunakan detektor wajah tercepat (MediaPipe) untuk ekstraksi area mata, kemudian diklasifikasikan oleh model *Deep Learning* yang sangat efisien (MobileNetV3). Metode kemudian dijalankan dengan melatih model tersebut menggunakan dataset variatif (MRL Eye Dataset) untuk memastikan performanya.

Akhirnya, Hasil yang diharapkan adalah sebuah sistem yang seimbang (*trade-off*) antara kecepatan dan ketepatan, yang berpotensi untuk diimplementasikan pada perangkat kendaraan nyata sebagai fitur keselamatan tambahan.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design Science Research Methodology* (DSRM) yang diadaptasi dari Peffers, dkk [23], [24]. Penggunaan metode ini didasarkan pada fokus penelitian yang mengarah pada perancangan, pengembangan, dan evaluasi sebuah artefak teknologi informasi berupa sistem cerdas. Merujuk pada kerangka kerja DSRM, tahapan inti penyelesaian masalah berada pada fase perancangan dan pengembangan (*Design and Development*). Pada fase tersebut, artefak direpresentasikan dalam bentuk arsitektur sistem pemrosesan waktu nyata (*real-time*).

1.7 Sistem Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan penelitian bertujuan untuk memudahkan pembaca dalam memahami alur dan isi dari setiap bagian skripsi. Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, kerangka pemikiran penelitian, dan sistematika penulisan

BAB II: KAJIAN LITERATUR

Pada bab ini membahas terkait literatur atau penelitian terdahulu, konsep konsep, teori-teori, model, dan rumus yang menjadi landasan dalam proses analisis permasalahan dengan topik masalah yang diambil.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisi penjelasan langkah-langkah dan teknik yang diterapkan dalam penelitian, diuraikan secara sistematis dan terstruktur.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan dua hal utama, yang pertama adalah pemaparan tentang temuan atau hasil penelitian berdasarkan langkah-langkah penelitian yang telah dilakukan. Selanjutnya adalah pembahasan hasil atau temuan penelitian sebagai jawaban terhadap rumusan masalah penelitian.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berfokus pada penarikan simpulan dari hasil penelitian yang diperoleh serta menjawab pertanyaan penelitian atau rumusan masalah. Selain itu, bab ini juga memberikan saran untuk penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan agar meningkatkan kualitas dari penelitian tersebut.

