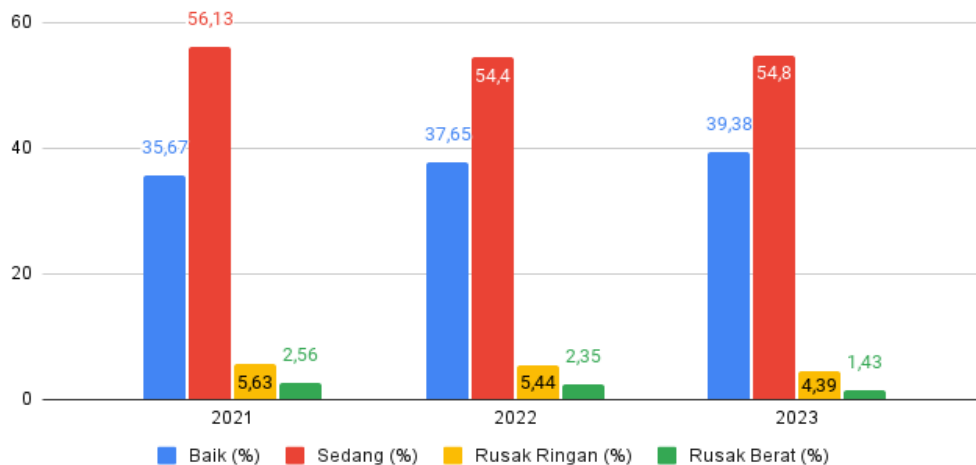


BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Jalan raya diatur dalam Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 sebagai infrastruktur transportasi yang penting untuk pembangunan nasional, fungsinya mencakup penguatan konektivitas wilayah dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Meskipun data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan peningkatan panjang jaringan jalan nasional dalam tiga tahun terakhir, meskipun panjang jaringan jalan nasional telah meningkat dari 546.624 km pada tahun 2021 telah menjadi 550.735 km pada tahun 2023, permasalahan terkait kualitas jalan masih menjadi isu yang signifikan. Berdasarkan data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, hanya 39,38% jalan yang dalam kondisi baik, sementara sisanya masuk kategori sedang, rusak ringan, atau rusak berat. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan kualitas jalan memerlukan perhatian lebih, terutama karena berdampak langsung pada efisiensi transportasi dan keselamatan pengguna jalan. Untuk memberikan gambaran visual mengenai kondisi permukaan jalan nasional selama tiga tahun terakhir, Gambar I-1 berikut menyajikan data statistik berdasarkan laporan resmi dari Kementerian PUPR.

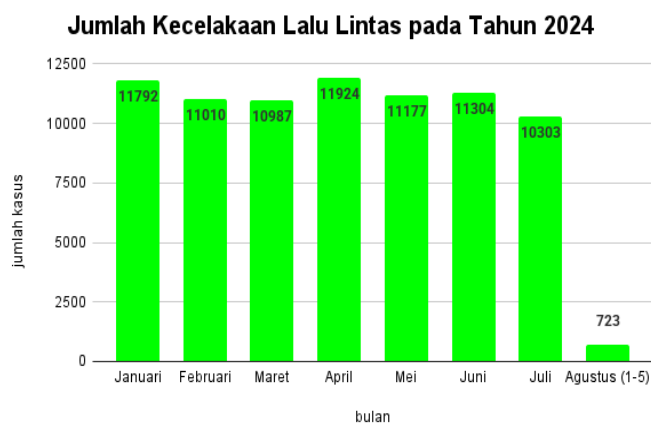


Gambar I-1. Data kondisi permukaan jalan nasional tahun 2021 – 2023

Salah satu bentuk kerusakan jalan yang paling sering dijumpai adalah lubang jalan. Di wilayah ibu kota saja, Dinas Bina Marga DKI Jakarta mencatat 21.442 titik jalan berlubang selama periode Desember 2022 hingga Maret 2023, dengan

konsentrasi tertinggi di Jakarta Timur sebanyak 6.738 titik (Muhammad Isa Bustomi, 2023). Jumlah ini mencerminkan bahwa kerusakan jalan bukan hanya terjadi secara sporadis, tetapi telah menyebar secara luas bahkan di pusat pemerintahan. Jika kerusakan seperti ini terjadi dalam skala besar di Jakarta, maka besar kemungkinan bahwa daerah-daerah lain di Indonesia juga menghadapi tantangan serupa dalam pemeliharaan infrastruktur jalan.

Fenomena ini diperkuat dengan berbagai insiden fatal yang terjadi di sejumlah daerah di Indonesia. Berdasarkan laporan Jarrak Pos Bali (2024), seorang pengendara motor tewas setelah terjatuh akibat lubang jalan di Bali. Hal serupa juga dilaporkan oleh Batam Pos (2025) dan Pikiran Rakyat Bogor Raya (2024), di mana kecelakaan akibat jalan berlubang di Batam dan Bogor mengakibatkan hilangnya nyawa pengendara. Selain itu, laporan dari Detik.com (2022), mencatat insiden tragis di mana sebuah mobil menabrak pengendara motor hingga menyebabkan tiga orang meninggal dunia saat mencoba menghindari jalan berlubang.



Gambar I-2. Sebaran data jumlah kecelakaan lalu lintas pada tahun 2024

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR pada 23 September 2024, pemantauan jalan nasional hanya dilakukan dua kali per semester, menggunakan rekaman video yang kemudian dianalisis manual oleh petugas. Proses ini memakan waktu dan berpotensi menghasilkan penilaian yang tidak konsisten, sehingga belum mampu merespons kerusakan jalan dengan cepat. Pada **Error! Reference source not found.**, sepanjang Januari hingga awal A

gustus 2024, jumlah kecelakaan lalu lintas di Indonesia telah mencapai lebih dari 78.000 kejadian, dengan puncak tertinggi terjadi pada bulan April sebanyak 11.924 kasus.

Selain tingginya angka kecelakaan lalu lintas, faktor penyebabnya juga patut menjadi perhatian utama. Berdasarkan data Korlantas Polri yang dikutip oleh Kementerian Perhubungan, terdapat tiga penyebab utama kecelakaan lalu lintas di Indonesia, yaitu: 61% disebabkan oleh faktor manusia, 30% disebabkan faktor prasarana dan lingkungan, serta 9% faktor kondisi kendaraan (Biro Komunikasi dan Informasi Publik, 2023). Penjelasan lebih lanjut menyebut bahwa faktor prasarana dan lingkungan mencakup kondisi jalan yang rusak, seperti lubang jalan, serta minimnya penerangan pada malam hari, yang dapat membahayakan pengendara. Angka ini cukup tinggi dan menjadi indikator perlunya implementasi perbaikan serta pemantauan kondisi jalan secara sistematis dengan memanfaatkan teknologi pengolahan citra berbasis kecerdasan buatan untuk mendeteksi kerusakan secara lebih cepat dan akurat.

Dari sudut pandang pengemudi, jalan berlubang tidak hanya memengaruhi kenyamanan berkendara, tetapi juga menjadi ancaman signifikan terhadap keselamatan di jalan. Penelitian yang dilakukan oleh Sanjeeva Rao (2023) menjelaskan bahwa kondisi jalan yang buruk, seperti permukaan yang rusak dan keberadaan lubang, dapat meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas dan menurunkan tingkat keselamatan pengguna jalan, sehingga memerlukan prioritas penanganan untuk mitigasi risiko. Hal ini terjadi terutama ketika pengemudi harus membagi fokus mereka antara menghindari lubang dan merespons situasi lain di sekitar mereka. Akibatnya, hal ini meningkatkan kemungkinan kecelakaan, terutama di jalan dengan volume lalu lintas tinggi. Selain itu, kedalaman lubang yang lebih besar secara signifikan memperpanjang waktu reaksi pengemudi, bahkan pada kecepatan rendah, sehingga meningkatkan risiko kecelakaan (Yalew, Virgianto, Inagi, & Tomiyama, 2023).

Masalah ini semakin kompleks bagi kendaraan besar, seperti truk, mobil, dan bus, yang memiliki area pandang terbatas. Ini membuat pengemudi kesulitan untuk melihat kondisi jalan dengan jelas, terutama di area dengan lubang atau kerusakan.

Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada pendeteksian keberadaan lubang tanpa memperhitungkan klasifikasi posisi lubang terhadap jalur kendaraan (kanan, tengah, kiri). Padahal, informasi ini sangat krusial dalam mendukung pengambilan keputusan pengemudi, khususnya dalam kondisi visibilitas rendah atau pada kendaraan besar.

Teknologi deteksi jalan berlubang berbasis *computer vision* dengan *deep learning*, seperti metode *You Only Look Once* (YOLO), telah digunakan secara luas karena kemampuannya dalam mendeteksi objek secara *real-time* dengan akurasi tinggi (Redmon, Divvala, Girshick, & Farhadi, 2016). Yahyapour & Babazadeh (2023) mengembangkan sistem deteksi lubang berbasis YOLOv8 yang diintegrasikan dengan *drone* untuk mendeteksi dan mengirimkan koordinat lubang secara otomatis ke *server* atau melalui SMS. Studi ini menunjukkan bahwa model YOLOv8 mampu mendeteksi lubang secara akurat dengan waktu inferensi rendah.

Penelitian lain oleh Zanevych, Yovbak, Basystiuk, Shakhovska, Fedushko, & Argyroudis (2024) mengevaluasi berbagai model YOLO dalam kondisi cahaya rendah dan menyimpulkan bahwa YOLOv11 yang dikombinasikan dengan *Feature Pyramid Network* (FPN) dan Grad-CAM++ mampu memberikan performa deteksi yang lebih unggul dibandingkan YOLOv8, dengan peningkatan mAP50 hingga 88%. Sementara itu Kocatepe, İlişkinin, & Kaya (2024) menjelaskan bahwa lubang jalan merupakan ancaman serius bagi keselamatan transportasi karena dapat menyebabkan kecelakaan dan kerusakan kendaraan. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian mereka menggunakan YOLOv8 untuk mendeteksi lubang jalan pada berbagai kondisi pencahayaan secara *real-time* dan menunjukkan hasil deteksi yang akurat dengan waktu inferensi yang cepat.

Mayoritas studi sebelumnya masih berfokus pada deteksi keberadaan lubang jalan tanpa mempertimbangkan informasi tambahan seperti posisi relatif lubang (kanan, tengah, kiri) atau estimasi jarak terhadap kendaraan. Padahal, fitur-fitur ini penting untuk mendukung pengambilan keputusan cepat oleh pengemudi, terutama bagi kendaraan besar dengan keterbatasan visibilitas atau dalam kondisi cuaca buruk. Estimasi jarak secara presisi umumnya membutuhkan sensor

eksternal seperti LiDAR yang mahal dan sulit diimplementasikan secara luas. Oleh karena itu, alternatif yang lebih terjangkau namun tetap relevan adalah dengan mengembangkan klasifikasi posisi spasial lubang berdasarkan pandangan kamera, sehingga dapat membantu pengemudi memperkirakan jarak secara relatif dalam berkendara.

Untuk menjawab keterbatasan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem deteksi lubang jalan berbasis YOLOv11 yang tidak hanya mendeteksi keberadaan lubang, tetapi juga mengklasifikasikan posisinya (kiri, tengah, kanan) dan memberikan notifikasi suara kepada pengemudi. Fitur klasifikasi posisi spasial ini bertujuan mendukung pengemudi dalam mengambil keputusan cepat, seperti mengurangi kecepatan atau menghindari jalur tertentu, sehingga dapat meminimalkan risiko kecelakaan.

Sistem ini dibangun berbasis aplikasi *mobile* karena mempertimbangkan tingginya penetrasi *smartphone* di Indonesia. Berdasarkan laporan Digital 2025: Indonesia, terdapat lebih dari 356 juta koneksi seluler aktif di Indonesia, dengan 98,9% pengguna internet mengakses melalui *smartphone* (Simon Kemp, 2025). Fakta ini menjadikan *platform mobile* sebagai media yang paling efisien dan mudah dijangkau oleh masyarakat luas, termasuk pengguna jalan. Selain itu, *smartphone* juga menyediakan akses langsung terhadap kamera dan sistem audio, sehingga memungkinkan penerapan sistem deteksi lubang dan notifikasi secara *real-time* tanpa memerlukan perangkat tambahan. Dengan pendekatan ini, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi solusi pendukung keselamatan berkendara serta bagian dari pengembangan sistem transportasi cerdas berbasis data yang adaptif terhadap kondisi jalan di Indonesia.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, berikut ini adalah perumusan masalah yang menjadi fokus dalam penelitian ini:

1. Banyaknya lubang di jalan Indonesia belum terdeteksi secara cepat dan belum terdapat sistem peringatan yang praktis serta mudah diakses, seperti melalui perangkat *mobile*, untuk membantu pengendara menghindari bahaya tersebut.

2. Belum adanya sistem yang mampu mengidentifikasi posisi spasial lubang (kiri, tengah, kanan) secara akurat untuk mendukung pengambilan keputusan pengemudi saat berkendara.

I.3 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan yang harus dicapai dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengembangkan sistem deteksi lubang jalan berbasis YOLOv11 yang tidak hanya mendeteksi keberadaan lubang, tetapi juga mengklasifikasikan posisinya ke dalam tiga kategori (kiri, tengah, kanan) berdasarkan posisi lubang terhadap jalur kendaraan.
2. Menguji performa sistem deteksi lubang jalan berbasis YOLOv11 dalam mendeteksi lubang jalan pada kondisi nyata.
3. Menguji kemampuan sistem dalam mengidentifikasi posisi spasial lubang (kiri, tengah, kanan) serta memberikan notifikasi suara secara responsif pada kondisi nyata.

I.4 Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat yang harus dicapai dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagi pengemudi: memberikan peringatan dini melalui notifikasi suara untuk meningkatkan kewaspadaan pengemudi terhadap lubang di jalan, sehingga dapat mengurangi potensi kerusakan kendaraan tanpa mengganggu konsentrasi pengemudi karena sistem berbasis audio dan tidak memerlukan pengalihan pandangan dari jalan.
2. Bagi masyarakat umum: membantu meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan masyarakat dengan mengurangi risiko kecelakaan akibat jalan berlubang, serta meningkatkan kesadaran publik akan pentingnya infrastruktur jalan yang layak untuk mendukung keselamatan berkendara.
3. Bagi mahasiswa: Melalui penelitian ini, mahasiswa berkesempatan untuk mengasah keterampilan penting, seperti kemampuan analisis data, penyelesaian masalah, serta keahlian teknis dalam implementasi *computer vision*, yang selaras dengan kebutuhan industri teknologi masa kini.

4. Bagi peneliti dan akademisi Menjadi referensi dalam penerapan teknologi *computer vision* untuk deteksi lubang jalan menggunakan metode YOLOv11, sekaligus mendorong pengembangan riset lanjutan di bidang *deep learning*, *computer vision*, dan sistem keselamatan transportasi cerdas.

I.5 Batasan dan Asumsi Tugas Akhir

Adapun batasan penelitian yang disusun agar penelitian ini lebih fokus dan mendalam adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada deteksi lubang jalan (*pothole detection*), tanpa mencakup jenis kerusakan jalan lainnya seperti retakan halus, permukaan jalan tidak rata, atau keretakan struktural.
2. *Dataset* yang digunakan terdiri dari gabungan data sekunder (diambil dari *dataset* publik seperti Roboflow) dan data primer (diperoleh melalui proses dokumentasi lapangan menggunakan perangkat pribadi).
3. Pengambilan data primer dilakukan menggunakan kamera *smartphone*, dengan berbagai permukaan jalan untuk menciptakan variasi visual yang realistis.
4. Posisi kamera bersifat dinamis dan tidak terkalibrasi, dengan variasi dalam sudut kemiringan, ketinggian, dan jarak terhadap permukaan jalan, sehingga sistem dikembangkan untuk tetap *robust* terhadap variasi tersebut.
5. Notifikasi yang digunakan adalah berbasis *Text-to-Speech* (TTS) yang dikonfigurasi untuk memberikan peringatan suara saat lubang jalan sudah terdeteksi.
6. Peringatan suara terbatas pada informasi posisi lubang jalan terhadap bidang pandang kendaraan (kanan, tengah, atau kiri), tanpa menampilkan informasi tambahan seperti ukuran atau kedalaman lubang.
7. Sistem tidak melakukan penyimpanan data deteksi secara lokal maupun *cloud*. Semua proses deteksi dan peringatan dilakukan secara langsung di perangkat *mobile* (*on-device inference*) menggunakan model yang telah dikonversi ke TensorFlow Lite (.tflite).
8. Validasi implementasi sistem dilakukan pada kecepatan kendaraan maksimal 5 km/jam agar bisa mendeteksi lubang dengan tepat.

9. Sistem berjalan secara *real-time*, namun mengalami keterbatasan *frame rate* karena beban komputasi model YOLO yang cukup berat untuk diproses secara cepat pada perangkat *mobile* dengan sumber daya terbatas.
10. Penelitian ini dibatasi pada pengujian sistem deteksi lubang jalan berbasis YOLOv11 hanya pada kondisi cuaca cerah dan berawan dengan pencahayaan cukup, sehingga belum mencakup kondisi hujan lebat dan *low-light* ekstrem.

I.6 Sistematika Laporan

Untuk mempermudah penggambaran isi dari laporan tugas akhir ini, berikut ringkasan sistematika laporan:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran awal mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan dan manfaat dari tugas akhir, serta sistematika penulisan laporan. Bab ini menjadi dasar dalam memahami urgensi dan arah dari penelitian yang dilakukan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas teori-teori, konsep, model, dan kerangka standar yang relevan dengan topik penelitian. Seluruh teori dikaji secara kritis dan disesuaikan dengan kebutuhan dalam menyusun solusi terhadap permasalahan. Teori-teori ini diperoleh dari pustaka ilmiah yang relevan dan digunakan sebagai fondasi metodologi dalam penyelesaian masalah.

BAB III METODE PENYELESAIAN MASALAH

Bab ini menguraikan langkah-langkah sistematis yang digunakan dalam merancang dan menyusun solusi terhadap permasalahan yang telah diidentifikasi. Termasuk didalamnya adalah alur pemikiran, strategi pemecahan masalah, serta tahapan- tahapan pelaksanaan penelitian.

BAB IV PENYELESAIAN PERMASALAH

Bab ini membahas pelaksanaan dari metode yang telah dirancang sebelumnya, mulai dari proses pengumpulan data, pengolahan informasi, perancangan sistem, hingga pengembangan dan penerapan solusi. Penjabaran dilakukan secara kronologis sesuai tahapan implementasi.

BAB V VALIDASI, ANALISIS HASIL, DAN IMPLIKASI

Bab ini menyajikan hasil yang diperoleh dari proses validasi dan analisis terhadap sistem yang dikembangkan. Disertai dengan pembahasan mengenai efektivitas hasil, serta dampak atau implikasi yang ditimbulkan dari penerapan solusi terhadap permasalahan yang ada.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini memuat kesimpulan umum dari hasil penelitian serta saran-saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk pengembangan lebih lanjut di masa mendatang.