

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi industri modern, *Deep learning* dan *Computer vision* saat ini berada di garda terdepan dalam kemajuan teknologi industri, menawarkan kemampuan yang luar biasa dalam otomatisasi proses kontrol kualitas. Sebagai sub bidang dari machine learning, *Deep learning* memanfaatkan jaringan saraf berlapis untuk mempelajari data dalam jumlah besar, sehingga memungkinkan sistem mendeteksi atau mengklasifikasikan cacat [1]. Sementara itu, teknologi *Computer vision* berperan dalam memberikan kemampuan bagi mesin untuk menginterpretasikan dan memahami informasi visual dari dunia nyata, sehingga cacat pada manufaktur dapat diidentifikasi, dilokalisasi, dan diklasifikasikan melalui analisis gambar maupun video [1].

Tantangan utama muncul ketika sistem harus menangani objek dengan bentuk tidak beraturan (*Irregular Shapes*), seperti struktur yang tipis, melengkung, atau memiliki batas geometri yang sangat kompleks [2]. Tantangan utama dalam deteksi objek jenis ini adalah potensi adanya tumpang tindih (*overlap*) yang besar antar area objek target yang berdekatan, yang sering kali memicu kegagalan pada mekanisme *Non-Maximum Suppression* (NMS) [2]. Masalah NMS ini dapat menyebabkan sistem mengabaikan objek target atau gagal membedakan fitur objek dari latar belakang yang memiliki tekstur serupa, sehingga mengakibatkan penurunan akurasi deteksi yang signifikan [2].

Tantangan tersebut relevan ketika dikaitkan dengan kasus nyata, seperti kerusakan infrastruktur jalan. Jalan berperan penting dalam menghubungkan berbagai Lokasi dan menjaga mobilitas barang dan manusia. Namun tetapi kerusakan infrastruktur jalan khusus nya jalan berlubang merupakan sebuah permasalahan di banyak wilayah. Berdasarkan data kondisi jalan menurut Direktorat Bina Marga, sekitar 6,35% atau 3.021,48 km kondisi jalan di Indonesia masih dalam keadaan tidak mantap (rusak ringan maupun rusak berat) [3]. Jalan yang berada pada kondisi tidak mantap memerlukan kegiatan pemeliharaan maupun rehabilitasi agar kerusakan tidak berkembang menjadi lebih parah. Kerusakan ini tidak hanya menurunkan kenyamanan berkendara, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas,

mempercepat kerusakan kendaraan, serta meningkatkan biaya pemeliharaan apabila tidak segera ditangani. Oleh karena itu, pemantauan kondisi jalan secara berkala menjadi bagian penting dalam pengelolaan infrastruktur transportasi [3].

Sebagian besar proses pendeteksian kerusakan jalan masih dilakukan secara manual oleh petugas lapangan. Di Indonesia sendiri menurut peraturan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 13/Prt/M/2011, penilikan jalan dilakukan dengan cara pelaporan pengamatan atas kondisi jalan, pengusulan tindakan, dan menerima keluhan dari masyarakat atau pengguna jalan [3]. Proses ini akan memakan waktu dan biaya yang tinggi, dan hasilnya seringkali bersifat subjektif dan bergantung kepada inspektor [4], [5].

Pendekatan seperti Convolutional Neural Network (CNN), yang populer dalam kemampuan nya dalam mengekstraksi fitur [4]. Arsitektur CNN modern umumnya dibangun sebagai kombinasi modul yang terdiri atas *backbone*, neck, dan detection head, di mana *backbone* menjadi komponen utama untuk meningkatkan performa [6]. Namun demikian, keterbatasan mendasar tetap ada. CNN cenderung hanya mampu menangkap informasi lokal sehingga pemanfaatan konteks global dan multiskala tidak optimal. [7]. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam membedakan objek target dari latar belakang yang kompleks, terutama ketika citra mengandung noise, bayangan, atau tekstur yang mirip dengan objek yang dideteksi [7]. Dalam penelitian lain yang menerapkan deteksi kerusakan jalan, model YOLO V4-Tiny dengan nilai mAP sebesar 78,8% mampu mendeteksi jalan berlubang secara cukup baik. Meskipun demikian, model ini masih memiliki keterbatasan pada tingkat kepercayaan, khususnya dalam mendeteksi lubang berukuran kecil yang berada pada jarak jauh [8].

Perkembangan teknologi *Transformer* yang awalnya terkenal dalam pemrosesan bahasa alami, kini mendapatkan perhatian luas karena kemampuan nya dalam ekstraksi fitur secara global yang semakin banyak diterapkan dalam *Computer vision* [4], [7]. Namun kompleksitas dan biaya komputasi yang tinggi dari *transformer* menjadi tantangan secara langsung yang signifikan dalam meningkatkan tuntutan komputasi [4].

Hal ini memicu evolusi dengan di rilis nya model dengan arsitektur *transformer* yang kuat seperti RF-DETR, yang dikembangkan oleh Robflow [9]. RF-DETR

menggabungkan inovasi dari Deformable DETR dengan LW-DETR serta memasukan *backbone* Dino V2 untuk meningkatkan pemodelan latar belakang serta meningkatkan pencocokan domain [10]. Menurut Roboflow model RF-DETR telah terbukti melampaui model YOLO v8 dan merupakan model pertama yang mendapatkan lebih dari 60 mAP pada tolak ukur Microsoft COCO [11]. Pada penelitian lain RF-DETR dibandingkan dengan YOLO v12 dalam deteksi *green fruits in commercial orchards with complex visual environments* yang menunjukkan bahwa RF-DETR mencapai mAP sebesar 94,64% melampaui YOLOv12 dengan konvergensi yang lebih cepat dan mencapai kinerja yang stabil dengan sedikit epoch [9].

RF-DETR dipandang memiliki potensi dalam tugas deteksi jalan berlubang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa model tersebut dalam konteks deteksi kerusakan jalan, sehingga memberikan wawasan keunggulan dan kekurangan dari model ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengimplementasikan model RF-DETR untuk mendeteksi objek bentuk geometri tidak beraturan?
2. Bagaimana kinerja model RF-DETR dalam mendeteksi objek bentuk geometri tidak beraturan?
3. Bagaimana tingkat *robustness* RF-DETR terhadap perubahan kualitas gambar?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga ruang lingkup penelitian tetap fokus dan terarah, batasan batasan berikut ditetapkan:

1. Fokus deteksi pada objek jalan berlubang dalam citra 2D, tanpa analisis tingkat keparahan seperti kedalaman, atau volume.
2. Model utama yang digunakan adalah RF-DETR varian Base untuk mendeteksi objek.
3. Analisis *robustness* model dilakukan hanya menggunakan transformasi degradasi citra sintesis, dan tingkat *robustness* dievaluasi berdasarkan analisis sensitivitas (*slope*).

4. Implementasi dan pengujian dilakukan di Jupyter Notebook, tanpa mencakup deployment ke perangkat edge.

1.4 Tujuan

Untuk menjaga ruang lingkup penelitian tetap fokus dan terarah, batasan batasan berikut ditetapkan:

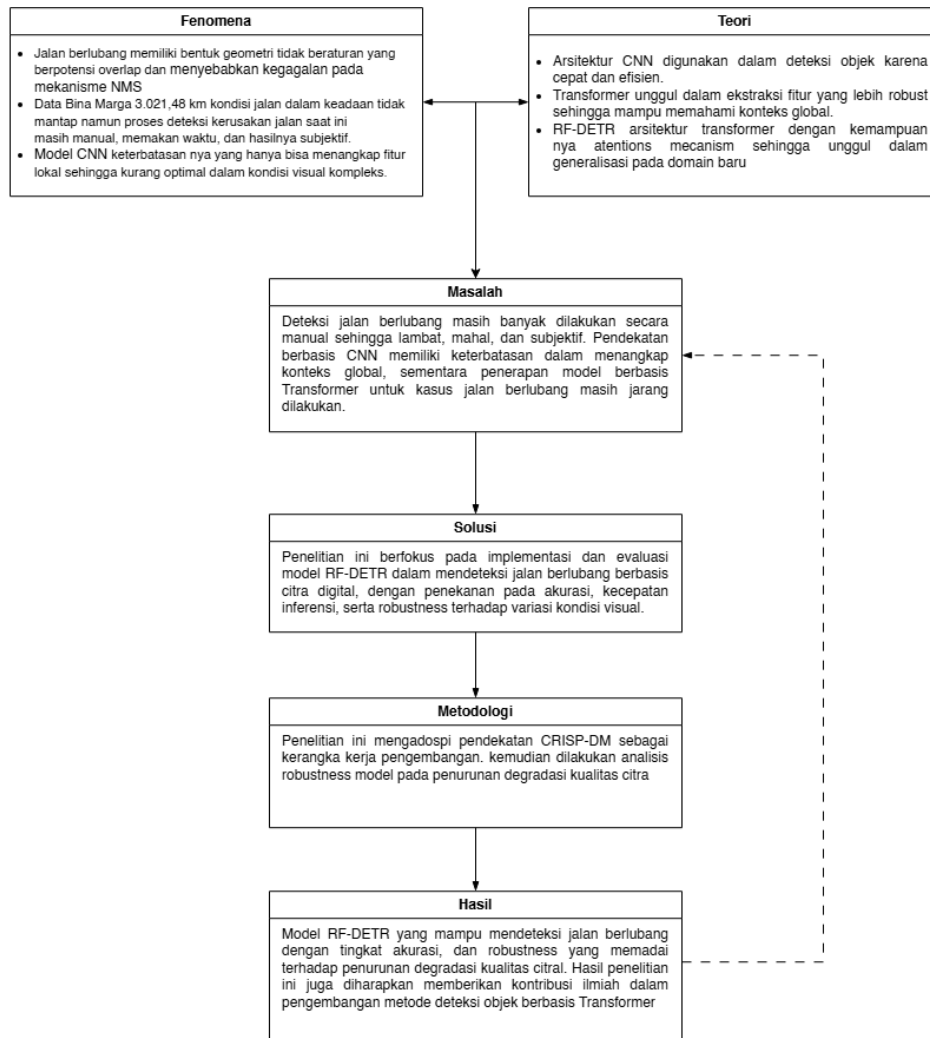
1. Implementasi model RF-DETR dalam mendeteksi objek dengan geometri tidak beraturan menggunakan citra digital
2. Mengevaluasi kinerja model RF-DETR dalam mendeteksi jalan berlubang berdasarkan hasil deteksi yang dihasilkan.
3. Menilai *robustness* RF-DETR terhadap penurunan kualitas gambar.

1.5 Manfaat

- 1 Memberikan referensi bagi pengembangan penelitian di bidang *Computer vision*, khususnya penerapan model *transformer* RF-DETR untuk deteksi jalan berlubang serta analisis performa dan *robustness* terhadap berbagai kondisi degradasi citra.
- 2 Menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan model deteksi jalan berlubang dengan memanfaatkan variasi *dataset*, strategi *data splitting*, dan pengujian *robustness*.
- 3 Memberikan informasi mengenai karakteristik ketahanan (*robustness*) model RF-DETR terhadap berbagai jenis degradasi citra sehingga dapat menjadi acuan dalam pengembangan model deteksi objek yang lebih tangguh pada kondisi lingkungan nyata.
- 4 Memberikan alternatif pendekatan otomatis dalam proses deteksi jalan berlubang yang berpotensi membantu proses pemantauan kondisi jalan secara lebih efisien dibandingkan inspeksi manual.

1.6 Kerangka Berfikir

Berikut ini adalah kerangka berpikir yang menggambarkan alur penelitian, berdasarkan fakta, literatur, permasalahan, solusi, metodologi yang digunakan, dan hasil yang diharapkan.



Gambar 1.1 Kerangka Berfikir

Penelitian ini berangkat dari fakta bahwa *Object Irregular Shape* memiliki keterbatasan untuk di deteksi secara otomatis yang berpotensi overlap dan menyebabkan kegagalan mekanisme NMS. kerusakan jalan berlubang dianggap sebagai objek geometri tidak beraturan karena bervariasi, baik dari ukuran, maupun pola kerusakannya. Selain itu juga jalan berlubang masih menjadi masalah serius yang berdampak pada keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Proses deteksi yang saat ini masih mengandalkan inspeksi manual oleh petugas lapangan dinilai lambat, dan subjektif. Di sisi lain, kemajuan teknologi *deep learning* telah membuka

peluang untuk mengembangkan sistem deteksi otomatis berbasis citra digital. Pendekatan berbasis CNN seperti YOLO telah banyak digunakan karena efisien, namun terbatas dalam menangkap konteks visual secara global. Sementara itu, arsitektur *Transformer* menawarkan kemampuan ekstraksi fitur global yang lebih robust, meskipun memiliki beban komputasi tinggi. Tantangan utamanya adalah belum adanya penerapan model *Transformer* yang ringan dan efisien untuk mendeteksi jalan berlubang dalam kondisi visual yang bervariasi.

Penelitian ini mengimplementasikan dan mengevaluasi model RF-DETR, sebuah arsitektur *Transformer* yang dirancang lebih ringan namun tetap mampu mengekstraksi fitur global secara efektif. Penelitian ini mengikuti kerangka CRISP-DM yang mencakup pemahaman konteks dan tujuan, analisis karakteristik *dataset* citra jalan berlubang, praproses dan anotasi data, pembangunan model RF-DETR, evaluasi performa berdasarkan hasil deteksi model, serta pengujian *robustness* model terhadap degradasi citra, serta penyusunan hasil sebagai dasar pengembangan sistem deteksi otomatis di masa depan. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu menghasilkan model deteksi jalan berlubang yang akurat, serta memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi *Computer vision* untuk infrastruktur transportasi.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan memuat sistematika penulisan laporan tugas akhir dengan memberikan gambaran kandungan setiap bab, urutan penulisan, serta keterkaitan antara satu bab dengan bab lainnya dalam sebuah laporan tugas akhir. Berikut sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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 SIMPULAN 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.

