

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Jalan Berlubang

Kerusakan jalan (*pavement distress*) merupakan indikasi menurunnya kualitas lapisan perkerasan akibat beban lalu lintas, pengaruh iklim, dan mutu material konstruksi yang tidak sesuai standar. Kondisi tersebut menyebabkan permukaan jalan kehilangan fungsi struktural dan kenyamanan berkendara. Jenis kerusakan jalan dapat diklasifikasi berdasarkan bentuk visual, penyebab, serta tingkat keparahannya. Beberapa jenis kerusakan jalan yang umum ditemukan antara lain [10]:

1. Retakan (*Cracking*)

Retakan adalah kerusakan berupa pecahan atau garis patah pada lapisan aspal yang disebabkan oleh kelelahan material, perubahan suhu, serta beban kendaraan yang berulang. Bentuk retakan dapat berupa *alligator cracking* (pola menyerupai kulit buaya), *longitudinal cracking* (retak sejajar arah lalu lintas), dan *transverse cracking* (retak melintang terhadap arah jalan). Kerusakan ini menjadi tahap awal sebelum munculnya deformasi dan lubang jalan.

2. Lubang Jalan (*Potholes*)

Lubang jalan merupakan kerusakan berbentuk cekungan pada permukaan jalan akibat perkembangan retakan yang tidak tertangani dan terkikis oleh air serta tekanan kendaraan.

3. Deformasi Permukaan (*Surface Deformation*)

Deformasi merupakan perubahan bentuk permukaan jalan akibat ketidakstabilan lapisan perkerasan yang terus menerus menerima beban berat. Jenis deformasi yang umum adalah *rutting* (lekukan di jalur roda), *depression* (penurunan lokal), dan *corrugation* (permukaan bergelombang).

4. Kerusakan Permukaan (*Surface Distress*)

Kerusakan permukaan termasuk keausan aspal (*ravelling*), kelebihan aspal (*bleeding*), dan permukaan halus (*polishing*). Walaupun tidak selalu mempengaruhi struktur jalan secara langsung, jenis kerusakan ini dapat menurunkan daya cengkaman ban dan kenyamanan pengguna jalan.

Kondisi jalan yang rusak memiliki dampak yang signifikan terhadap berbagai aspek diantaranya [15]:

1. keselamatan Berkendara (*Driving Safety*)

Kerusakan jalan dapat menurunkan keselamatan berkendara karena membuat pengemudi harus melakukan pengereman mendadak atau berpindah jalur secara tiba-tiba untuk menghindari permukaan jalan yang tidak rata. Kondisi ini meningkatkan waktu reaksi dan berpotensi menyebabkan kecelakaan, terutama pada jalan dengan tingkat kerusakan yang berat.

2. Kenyamanan Berkendara (*Driving Comfort*)

Permukaan jalan yang rusak menurunkan kenyamanan berkendara karena menyebabkan guncangan dan getaran berlebih. Pada kondisi kerusakan yang parah, pengemudi dapat mengalami kelelahan fisik akibat penurunan stabilitas kendaraan.

3. Dampak Struktural dan Manajerial Jalan

Jalan rusak yang tidak segera diperbaiki dapat mempercepat penurunan kualitas lapisan perkerasan dan mengurangi umur layanan jalan. Kondisi ini juga berdampak pada meningkatnya biaya operasional kendaraan dan kebutuhan pemeliharaan.

2.2 Computer Vision

Computer Vision merupakan salah satu cabang ilmu dari *Artificial Intelligence* (AI) dan *Image Processing* yang berfokus pada kemampuan komputer untuk melihat, mengenali, dan menafsirkan dunia visual layaknya manusia [16]. Tujuan utamanya adalah membuat sistem yang dapat mengekstraksi informasi bermakna dari gambar atau video untuk kemudian digunakan dalam pengambilan keputusan otomatis [17]. Dalam praktiknya, *computer vision* bekerja dengan memproses *input* visual (citra digital) menjadi representasi numerik, kemudian menggunakan algoritma matematis dan pembelajaran mesin untuk mengenali pola tertentu, seperti bentuk objek, warna, tekstur, atau gerakan.

2.2.1 Alur Kerja Computer Vision

Secara umum, alur kerja *Computer Vision* melibatkan beberapa tahap pemrosesan yang saling berkesinambungan, mulai dari pengambilan data visual hingga interpretasi makna dari citra tersebut. Setiap tahap memiliki fungsi yang berbeda, namun semuanya bertujuan untuk mengubah citra digital menjadi informasi yang dapat dimengerti dan diolah oleh sistem komputer.

Sistem *Computer Vision* dirancang untuk meniru cara kerja penglihatan manusia. Proses persepsi visual manusia melibatkan tahapan: menangkap citra melalui retina, memproses sinyal di otak bagian visual *cortex*, mengenali objek berdasarkan pengalaman

sebelumnya, dan akhirnya menafsirkan konteks dari lingkungan. Prinsip serupa diterapkan dalam sistem komputer melalui serangkaian tahapan algoritmik [18], secara detail sebagai berikut:

1. Akuisisi Citra (*Image Acquisition*)

Tahap awal adalah pengambilan citra digital melalui perangkat kamera atau sensor optik. Kualitas citra seperti resolusi, pencahayaan, dan sudut pandang akan memengaruhi keakuratan analisis di tahap berikutnya.

2. Pra-pemrosesan (*Preprocessing*)

Pada tahap ini dilakukan peningkatan kualitas citra melalui metode seperti *noise reduction*, *contrast enhancement*, dan *normalization* agar citra siap dianalisis. Pra-pemrosesan berperan penting dalam menjaga konsistensi data dan mengurangi gangguan visual.

3. Ekstraksi Fitur (*Feature Extraction*)

Fitur merupakan representasi numerik dari karakteristik penting dalam citra. Metode tradisional seperti *SIFT* dan *HOG* digunakan untuk mengekstraksi fitur manual, sedangkan pendekatan modern menggunakan *Convolutional Neural Networks (CNN)* yang mampu mempelajari fitur secara otomatis.

4. *Analysis*

Setelah fitur diperoleh, tahap selanjutnya adalah analisis menggunakan model pembelajaran mesin atau *deep learning*. Pada tahap ini, sistem melakukan pengenalan pola dan pengambilan keputusan awal berdasarkan fitur yang telah diekstraksi. Misalnya, model dapat mengidentifikasi keberadaan objek tertentu seperti lubang jalan.

5. Interpretasi dan Pengambilan Keputusan (*Interpretation and Decision Making*)

Tahap terakhir merupakan proses untuk menafsirkan hasil analisis yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya yaitu *analysis*. Data yang dihasilkan dari proses analisis kemudian dikonversi menjadi informasi yang lebih spesifik dan dapat digunakan sesuai dengan tujuan sistem. Pada tahap ini, sistem *Computer Vision* menampilkan hasil deteksi atau klasifikasi dalam bentuk keluaran yang mudah dipahami, seperti label objek, peta lokasi, atau status kondisi tertentu. Informasi tersebut kemudian dimanfaatkan untuk mendukung proses pengambilan keputusan atau tindakan otomatis pada sistem berbasis kecerdasan buatan, misalnya dalam sistem pemetaan, pengawasan, maupun deteksi objek secara real-time.

2. *Two Stage Detector*

Two stage detector merupakan metode *object detection* yang bekerja melalui dua tahap utama. Pada tahap pertama, sistem menghasilkan sejumlah *region proposals* yang berpotensi mengandung objek menggunakan algoritma seperti *Selective Search* atau *Region Proposal Network* (RPN). Tahap kedua kemudian melakukan klasifikasi terhadap setiap wilayah tersebut sekaligus melakukan regresi koordinat untuk memperbaiki posisi *bounding box* agar lebih presisi. Contoh arsitektur yang termasuk kategori ini adalah R-CNN, Fast R-CNN, dan Faster R-CNN. Model-model ini membutuhkan waktu pemrosesan yang lebih lama dikarenakan melalui proses dua tahap.

2.3 Deep Learning

Deep Learning merupakan sub-bidang *Machine Learning* (ML) yang menggunakan jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network – ANN*) dengan banyak lapisan tersembunyi (*hidden layers*) untuk mempelajari representasi data secara hierarkis dan otomatis. Model *deep learning* mampu mengekstraksi fitur-fitur kompleks dari data mentah tanpa memerlukan rekayasa fitur manual yang ekstensif, dimulai dari fitur abstrak di lapisan yang lebih dalam. Proses tersebut meniru cara kerja sistem visual atau kognitif biologis dan menghilangkan kebutuhan akan rekayasa fitur manual yang sering diperlukan dalam ML tradisional [25].

Pembelajaran *Deep Learning* terjadi melalui penyesuaian parameter (bobot) jaringan berdasarkan data latih, menggunakan algoritma optimasi seperti *gradien descent* untuk meminimalkan fungsi kerugian (*loss function*) yang mengukur kesalahan prediksi model [25]. Secara umum arsitektur *Deep Learning* merujuk pada struktur jaringan syaraf tiruan yang memiliki banyak lapisan (lebih dari satu lapisan tersembunyi) antara lapisan input dan output.

dalam citra dengan nilai median dari piksel-piksel di lingkungan lokalnya, dan secara khusus efektif dalam mempertahankan tepi objek sambil menghilangkan noise garam-merica (*salt-and-pepper*), sehingga membuat model lebih tangguh terhadap data yang berisik. Formulasinya dinyatakan sebagai:

$$s(x, y) = \frac{\text{median}}{(s,t) \in S_{xy}} \{f(x + s, y + t)\} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

S_{xy} = himpunan koordinat piksel dalam jendela kernel yang berpusat di (x,y)

c. ToGray

Augmentasi ToGray diterapkan untuk mengonversi citra menjadi grayscale selama training. Dengan melatih model pada citra *grayscale*, model belajar mengidentifikasi objek dan pola semata-mata berdasarkan intensitas daripada warna, yang dapat meningkatkan ketangguhan model terhadap variasi warna dan kondisi pencahayaan karena model menjadi lebih fokus pada fitur bentuk dan tekstur yang independen terhadap warna. Konversi ini dilakukan melalui kombinasi linear terbobot dari ketiga kanal warna.

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

Y = Intensitas *grayscale* hasil konversi
R = Nilai intensitas pada kanal merah
G = Nilai intensitas pada kanal hijau
B = Nilai intensitas pada kanal biru

d. CLAHE

CLAHE adalah teknik peningkatan kontras citra dengan melakukan histogram equalisation pada wilayah-wilayah kecil dan lokal dalam citra. Pendekatan ini membagi citra menjadi *tile-tile* dan menyesuaikan kontras secara lokal pada tiap *tile*, sehingga membantu meningkatkan visibilitas fitur pada citra dengan kondisi

