

ABSTRAK

SISTEM PENGUKURAN LUAS LUBANG JALAN MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA DIGITAL BERBASIS OPENCV

Nama : Nopel Liya

NPM : 2155201050

Pembimbing : Ardi Wijaya, S.Kom., M.Kom.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengukuran luas lubang jalan secara otomatis berbasis pengolahan citra digital menggunakan library OpenCV dan bahasa pemrograman Python. Permasalahan utama yang diangkat adalah keterbatasan metode inspeksi manual yang membutuhkan waktu lama, biaya mobilisasi tinggi, serta hasil pengukuran yang bersifat subjektif. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tahap pengumpulan data sebanyak 50 citra lubang jalan, preprocessing citra (konversi grayscale, Gaussian blur, CLAHE), segmentasi menggunakan global dan adaptive thresholding serta operasi morfologi opening dan closing, deteksi kontur menggunakan `cv2.findContours()`, perhitungan luas lubang dalam satuan piksel yang dikonversi ke cm^2 , serta evaluasi kinerja sistem menggunakan confusion matrix pada tingkat piksel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi keberadaan lubang pada 33 dari 50 citra uji (66%), sementara 17 citra (34%) gagal terdeteksi sama sekali. Berdasarkan confusion matrix global, sistem mencapai rata-rata Accuracy sebesar 54,08%, Precision sebesar 38,18%, Recall sebesar 70,87%, F1-Score sebesar 49,62%, dan IoU sebesar 33,00%. Nilai recall yang relatif tinggi menunjukkan sistem cukup mampu mengenali keberadaan piksel lubang, namun nilai precision yang rendah mengindikasikan kecenderungan sistem melakukan over-segmentasi, yaitu menandai area di luar batas lubang sebenarnya sebagai bagian dari objek lubang, sehingga luas hasil pengukuran cenderung lebih besar dibandingkan luas ground truth dengan rata-rata error sebesar 152,97%. Dengan demikian, sistem pengukuran luas lubang jalan berbasis pengolahan citra digital menggunakan OpenCV yang dikembangkan dalam penelitian ini telah dapat mendeteksi dan mengukur luas lubang jalan secara otomatis, non-kontak, namun masih memerlukan penyempurnaan lebih lanjut pada tahap segmentasi dan thresholding agar tingkat presisi pengukuran dapat ditingkatkan sebelum diterapkan sebagai alat bantu inspeksi jalan yang andal.

Kata Kunci: Pengukuran luas, lubang jalan, pengolahan citra digital, OpenCV, Python, confusion matrix.

ABSTRACT

ROAD POTHOLE AREA MEASUREMENT SYSTEM USING OPENCV-BASED DIGITAL IMAGE PROCESSING

Name : Nopel Liya
NPM : 2155201050
Advisor : Ardi Wijaya S.Kom,M.Kom

This study aims to design and implement an automatic road pothole area measurement system based on digital image processing using the OpenCV library and Python programming language. The main problem addressed is the limitation of manual inspection methods, which require a long time, high mobilization costs, and produce subjective measurement results. The methods used in this study include data collection of 50 road pothole images, image preprocessing (grayscale conversion, Gaussian blur, CLAHE), segmentation using global and adaptive thresholding combined with morphological opening and closing operations, contour detection using cv2.findContours(), pothole area calculation in pixels converted to cm², and system performance evaluation using a pixel-level confusion matrix. The results show that the system successfully detected the presence of potholes in 33 of 50 test images (66%), while 17 images (34%) were not detected at all. Based on the global confusion matrix, the system achieved an average Accuracy of 54.08%, Precision of 38.18%, Recall of 70.87%, F1-Score of 49.62%, and IoU of 33.00%. The relatively high recall indicates that the system is reasonably capable of recognizing pothole pixels, while the low precision indicates a tendency toward over-segmentation, in which the system marks areas beyond the actual pothole boundary, resulting in a measured area that tends to exceed the ground truth area, with an average error of 152.97%. Thus, the developed road pothole area measurement system based on OpenCV digital image processing has been able to automatically and non-contact detect and measure pothole area, but still requires further refinement of the segmentation and thresholding stages to improve measurement precision before it can be reliably applied as a road inspection tool.

Keywords: Area measurement, road pothole, digital image processing, OpenCV, Python, confusion matrix.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu infrastruktur transportasi darat yang keberadaannya tidak dapat dipisahkan dari aktivitas masyarakat sehari-hari. Fungsinya tidak sekadar sebagai jalur penghubung antarlokasi, melainkan juga sebagai penopang distribusi barang, kelancaran logistik, serta pergerakan ekonomi di berbagai wilayah. Tanpa jalan yang memadai, produktivitas masyarakat dan daya saing suatu daerah akan terganggu secara langsung (Pamungkur, 2025).

Kondisi sebagian besar ruas jalan di Indonesia masih jauh dari ideal. Kerusakan permukaan jalan, terutama dalam bentuk lubang atau yang lazim disebut pothole, menjadi permasalahan yang hampir selalu dijumpai di berbagai wilayah, baik perkotaan maupun pedesaan. Lubang jalan tidak hanya menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengguna kendaraan, tetapi juga berpotensi memicu kecelakaan lalu lintas, mempercepat keausan kendaraan, dan pada akhirnya meningkatkan biaya operasional transportasi secara keseluruhan (Ahmad, 2024).

Selama ini, proses identifikasi kerusakan jalan di lapangan masih bertumpu pada metode inspeksi manual. Petugas lapangan melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi jalan, kemudian mencatat dimensi kerusakan secara visual menggunakan alat ukur sederhana. Pendekatan semacam ini memiliki keterbatasan yang cukup signifikan sehingga waktu yang dibutuhkan relatif panjang, biaya mobilisasi tidak sedikit, dan hasil pengukuran sangat bergantung pada subjektivitas

masing-masing pemeriksa. Permasalahan ini mengakibatkan rendahnya efisiensi pemeliharaan infrastruktur jalan dan peningkatan risiko keselamatan publik. Oleh karena itu, diperlukan sistem berbasis komputasi yang mampu melakukan pengukuran secara otomatis dan terstandarisasi dengan memanfaatkan perangkat lunak pengolahan citra seperti OpenCV yang diimplementasikan melalui bahasa pemrograman Python untuk memproses, menganalisis, dan menghitung parameter geometris objek secara sistematis.

Dengan perkembangan teknologi pengolahan citra digital, penelitian ini menawarkan solusi berupa Sistem Pengukuran Luas Lubang Jalan Menggunakan Pengolahan Citra Digital Berbasis OpenCV, yaitu sebuah sistem yang mampu mendeteksi dan mengukur luas lubang jalan secara otomatis dari citra digital tanpa memerlukan pengukuran manual di lapangan. Sistem ini dibangun melalui serangkaian tahapan pengolahan citra, dimulai dari konversi citra ke skala keabuan (grayscale), penghalusan citra menggunakan Gaussian Blur untuk mereduksi noise, peningkatan kontras lokal dengan CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) agar area lubang lebih mudah dibedakan dari permukaan jalan di sekitarnya, segmentasi menggunakan kombinasi adaptive thresholding dan global thresholding untuk mengisolasi area lubang, serta operasi morfologi (opening dan closing) untuk menghilangkan noise dan menyempurnakan bentuk area hasil segmentasi. Selanjutnya, dilakukan ekstraksi kontur untuk mengidentifikasi batas-batas objek lubang, yang luasnya kemudian dihitung dalam satuan piksel dan dikonversi ke satuan luas nyata (cm^2) menggunakan faktor kalibrasi piksel-ke-sentimeter. Dengan pendekatan ini, sistem yang dirancang diharapkan mampu

memberikan hasil pengukuran yang lebih cepat, konsisten, dan objektif dibandingkan metode pengukuran manual yang selama ini digunakan, sekaligus dilengkapi dengan antarmuka berbasis Tkinter agar mudah dioperasikan oleh pengguna di lapangan.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas pendekatan pengolahan citra dalam menangani permasalahan kerusakan jalan. Penelitian oleh (Husain *et al.*, 2024) menunjukkan bahwa model YOLOv5 yang dilatih pada data rekaman drone mampu mendeteksi lubang jalan dengan nilai presisi tinggi, memperlihatkan potensi nyata dari pendekatan berbasis visi komputer untuk inspeksi infrastruktur jalan. Penelitian lain juga mengkaji penggunaan metode segmentasi berbasis thresholding untuk mengukur dimensi objek, termasuk area kerusakan permukaan jalan, dengan hasil yang menunjukkan konsistensi pengukuran yang baik dibandingkan metode manual (Fiyah, 2021).

Penelitian ini dirancang dengan tujuan mengembangkan sebuah sistem berbasis pengolahan citra digital yang mampu mendeteksi dan mengukur luas lubang jalan secara otomatis dari citra digital. Sistem yang dibangun menggunakan OpenCV dan Python ini dilengkapi dengan antarmuka grafis berbasis Tkinter, sehingga memungkinkan pengguna untuk memproses satu citra maupun menjalankan pengujian secara batch terhadap sejumlah data sekaligus. Selain menampilkan hasil deteksi secara visual, sistem ini juga menghitung metrik evaluasi kuantitatif seperti Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, untuk mengukur tingkat akurasi sistem secara terstandarisasi.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi konkret terhadap upaya peningkatan efisiensi inspeksi kondisi jalan, serta proses identifikasi lubang jalan dan menghitung luas area lubang secara otomatis dari citra digital, sehingga memberikan kontribusi terhadap efisiensi inspeksi kondisi jalan serta dukungan data untuk kegiatan pemeliharaan infrastruktur yang lebih terukur dan akurat.

1.2 Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem pengukuran luas lubang jalan secara otomatis berbasis pengolahan citra digital menggunakan library OpenCV dan bahasa pemrograman Python?
2. Seberapa akurat sistem yang dikembangkan dalam mengukur luas lubang jalan, diukur berdasarkan metrik evaluasi Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengimplementasikan sistem pengukuran luas lubang jalan secara otomatis berbasis pengolahan citra digital dengan memanfaatkan library OpenCV dan bahasa pemrograman Python yang dilengkapi antarmuka grafis berbasis Tkinter.
2. Mengevaluasi tingkat akurasi sistem yang dikembangkan dalam mengukur luas lubang jalan menggunakan metrik Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score, pada objek citra jalan berlubang.

1.4 Kerangka Kerja Penelitian (*Research Framework*)

Framework penelitian merupakan kerangka kerja yang menggambarkan alur dan tahapan yang ditempuh secara sistematis dalam pelaksanaan penelitian ini. Kerangka tersebut disusun agar setiap tahapan memiliki keterkaitan yang logis, mulai dari identifikasi masalah hingga diperolehnya kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Secara garis besar, penelitian ini terdiri atas delapan tahapan utama yang saling berurutan sebagaimana dijelaskan berikut ini.

Tabel 1.1 Framework Penelitian

No.	Tahapan Proses	Deskripsi	Input	output
1	Mulai	Titik awal penelitian yang menandai dimulainya seluruh rangkaian proses secara terstruktur.		Kesiapan untuk memulai studi literatur
2	Studi literatur	Kajian terhadap teori dan penelitian terdahulu yang relevan, meliputi konsep pengolahan citra digital, library OpenCV, metode segmentasi, serta studi deteksi lubang jalan menggunakan pendekatan berbasis visi komputer.	Jurnal, prosiding, dokumentasi teknis	Landasan teori dan referensi teknis yang digunakan dalam penelitian
3	Pengumpulan data	Pengumpulan 100 citra lubang jalan beserta anotasi ground truth dalam format JSON yang akan digunakan sebagai data latih dan data uji evaluasi sistem.	Citra jalan	Dataset siap pakai yang terdiri dari 100 citra berlubang
4	Preprocessing & segmentasi	Proses teknis pengolahan citra yang terdiri dari: 1. konversi ke citra grayscale 2. penyaringan noise menggunakan Gaussian blur 3. segmentasi dengan adaptive thresholding 4. morfologi	Citra asli (RGB/grayscale)	Kontur lubang yang terdeteksi dalam bentuk koordinat dan mask biner

		5. ekstraksi kontur menggunakan fungsi findContours pada OpenCV.	
5	Deteksi & perhitungan luas	Penghitungan luas area lubang berdasarkan hasil ekstraksi kontur dalam satuan piksel, yang selanjutnya dikonversi ke satuan sentimeter persegi (cm ²) menggunakan faktor skala yang telah dikalibrasi.	Kontur lubang hasil segmentasi Nilai luas area (piksel dan cm ²) serta jumlah lubang terdeteksi per citra
6	Evaluasi akurasi	Pengujian sistem terhadap 100 citra secara batch dengan membandingkan hasil deteksi terhadap ground truth. Metrik evaluasi yang digunakan meliputi True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), True Negative (TN), Accuracy, Precision, Recall, F1-Score	Mask prediksi Nilai metrik evaluasi (TP, FP, FN, TN, Accuracy, Precision, Recall, F1)
7	Output hasil	visualisasi deteksi yang ditampilkan melalui antarmuka grafis (GUI) berbasis Tkinter, mencakup tampilan mask prediksi, ground truth mask, dan overlay TP/FP/FN.	Hasil evaluasi (metrik) + citra hasil deteksi File CSV/Excel laporan, serta tampilan GUI 4 panel visual
8	Kesimpulan & saran	Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil evaluasi performa sistem dan pemberian saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.	Seluruh hasil analisis dan evaluasi Kesimpulan akhir dan rekomendasi penelitian lanjutan

Tabel di atas menggambarkan delapan tahapan framework penelitian yang dilaksanakan secara berurutan. Penelitian diawali dengan studi literatur sebagai dasar teoritis, dilanjutkan dengan pengumpulan 100 citra lubang jalan beserta anotasi ground truth. Tahap preprocessing dan segmentasi mencakup lima proses teknis pengolahan citra menggunakan OpenCV, yakni konversi grayscale, Gaussian blur, adaptive thresholding, deteksi tepi Canny, dan ekstraksi kontur. Hasil kontur

kemudian digunakan untuk menghitung luas lubang dalam satuan piksel yang dikonversi ke cm^2 . Akurasi sistem dievaluasi secara batch menggunakan metrik TP, FP, FN, TN, Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score terhadap seluruh data uji. Hasil akhir ditampilkan melalui antarmuka GUI berbasis Tkinter dalam bentuk visualisasi mask prediksi, ground truth mask, dan overlay TP/FP/FN.

