

BAB V

KESIMPILAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem pengukuran luas lubang jalan menggunakan pengolahan citra digital berbasis OpenCV pada 50 data citra, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem berhasil diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan library OpenCV dan antarmuka GUI berbasis Tkinter, dan mampu memproses citra jalan secara otomatis melalui tahapan preprocessing (grayscale, Gaussian blur, CLAHE), segmentasi (global dan adaptive thresholding, operasi morfologi opening dan closing), deteksi kontur menggunakan `cv2.findContours()`, hingga perhitungan luas lubang jalan dalam satuan piksel dan cm^2 .
2. Sistem mampu mendeteksi keberadaan lubang pada 33 dari 50 citra uji (66%), namun gagal mendeteksi lubang sama sekali pada 17 citra (34%). Kegagalan deteksi ini menunjukkan bahwa pipeline segmentasi yang digunakan belum cukup robust dalam menangani variasi pencahayaan dan kontras antara permukaan lubang dan aspal pada sebagian kondisi citra.
3. Tingkat akurasi sistem berdasarkan pengujian terhadap 50 citra dataset, dihitung dari confusion matrix global pada tingkat piksel, menunjukkan hasil sebagai berikut: Rata-rata Accuracy : 54,08%, Rata-rata Precision : 38,18%, Rata-rata Recall : 70,87%, Rata-rata F1-Score : 49,62%, Rata-rata IoU :

33,00%. Nilai recall yang relatif tinggi (70,87%) menunjukkan sistem cukup mampu mengenali sebagian besar piksel lubang aktual, tetapi nilai precision yang rendah (38,18%) mengindikasikan sistem cenderung melakukan over-segmentasi, yaitu menandai area di luar batas lubang sebenarnya sebagai bagian dari objek lubang (False Positive mendominasi dengan proporsi 36,6% dari total piksel).

4. Hasil pengukuran luas menunjukkan selisih yang cukup besar terhadap luas ground truth, dengan rata-rata persentase error mencapai 152,97%, yang sejalan dengan tingginya tingkat over-segmentasi pada tahap thresholding dan segmentasi.
5. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah mampu melakukan deteksi dan pengukuran luas lubang jalan secara otomatis dan non-kontak, tetapi performa yang diperoleh masih tergolong sedang hingga rendah dan belum dapat diandalkan sepenuhnya untuk kebutuhan inspeksi jalan secara akurat, sehingga tahap segmentasi dan thresholding pada pipeline saat ini masih memerlukan penyempurnaan lebih lanjut.

5.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan dan hasil yang diperoleh selama penelitian, berikut adalah beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Penambahan metode segmentasi atau klasifikasi berbasis deep learning. Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan metode seperti YOLO, U-Net, Mask R-CNN, atau algoritma klasifikasi lainnya (SVM, Random Forest)

untuk menggantikan atau melengkapi pendekatan thresholding konvensional, sehingga mampu menekan tingkat False Positive dan meningkatkan precision serta F1-Score, terutama pada kondisi pencahayaan yang tidak merata, bayangan, atau lubang dengan kontras rendah terhadap aspal.

2. Perbaiki tahap preprocessing dan thresholding. Perlu dilakukan eksplorasi lebih lanjut terhadap parameter CLAHE, metode thresholding adaptif yang lebih adaptif terhadap variasi tekstur jalan, serta operasi morfologi tambahan untuk mengurangi area segmentasi yang meluas di luar batas lubang sebenarnya (over-segmentation).
3. Penambahan atau perluasan dataset uji. Jumlah data uji perlu ditambah dan diperluas variasinya (kondisi pencahayaan, jenis permukaan jalan, ukuran dan bentuk lubang) agar evaluasi kinerja sistem lebih representatif dan generalisasinya lebih teruji, termasuk penanganan kasus citra tanpa lubang yang terdeteksi.
4. Penambahan fitur pengukuran dimensi lain. Sistem tidak hanya mengukur luas, tetapi dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mengukur parameter lain seperti estimasi kedalaman/volume lubang, panjang, lebar, atau klasifikasi tingkat keparahan kerusakan (ringan, sedang, berat) berdasarkan ukuran lubang.