BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah kerusakan jalan, dengan fokus utama pada jalan berlubang. Penelitian diarahkan pada pengembangan sistem deteksi otomatis berbasis model YOLOv11 dengan dukungan *Convolutional Neural Network* (CNN), yang diharapkan mampu mengenali jalan berlubang secara akurat meskipun citra diperoleh pada kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan yang berbeda.

Penelitian ini memanfaatkan data citra jalan berlubang yang berasal dari dua sumber, yaitu pengambilan langsung di lapangan dan *dataset* publik seperti Kaggle. Seluruh citra tersebut digunakan dalam proses pelatihan dan pengujian model YOLOv11 agar sistem dapat melakukan deteksi secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang baik. Berikut merupakan contoh citra jalan berlubang dan jalan tidak berlubang dalam penelitian ini.



Gambar 3. 1 Contoh Jalan Berlubang



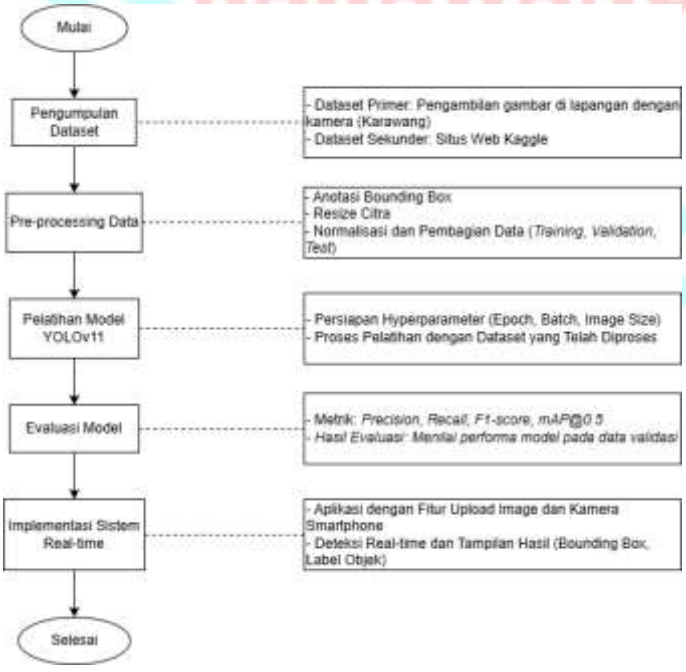
Gambar 3. 2 Contoh Jalan Tidak Berlubang

Untuk itu, penelitian ini menggunakan dua jenis dataset, yakni data primer hasil pengambilan langsung di lapangan dengan kamera *smartphone* serta data sekunder dari sumber publik seperti Kaggle. Penggabungan keduanya dilakukan agar model lebih adaptif terhadap kondisi nyata dan memiliki data yang lebih beragam untuk pelatihan maupun pengujian.

Lokasi penelitian ini terbatas pada beberapa jalan yang berada di daerah Karawang, yang sering mengalami kerusakan jalan berlubang, dengan tujuan untuk meningkatkan efektivitas pemeliharaan jalan di daerah tersebut. Pemilihan lokasi ini dilakukan untuk memperoleh data citra yang representatif dan relevan dengan kondisi jalan di daerah yang sering mengalami masalah kerusakan jalan.

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini disusun secara rinci untuk mengembangkan dan menguji model YOLOv11 dalam mendeteksi jalan berlubang secara otomatis dan *real-time*. Seluruh tahapan penelitian dirancang secara terstruktur dan saling mendukung, yang mencakup pengambilan data, *pre-processing*, pelatihan model, pengujian serta evaluasi, sampai implementasi model di lapangan. Dengan susunan tahapan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan teknologi deteksi objek berbasis *Deep Learning* untuk kebutuhan infrastruktur jalan.



Gambar 3. 3 Alur Prosedur Penelitian

Penelitian ini tidak semata-mata diarahkan pada pembuatan model deteksi yang akurat, tetapi juga agar hasil yang diperoleh dapat menjadi acuan dan diterapkan kembali dalam penelitian sejenis. Semua langkah pada Gambar 3.3 tersebut diharapkan memberikan gambaran yang jelas dan transparan tentang bagaimana model YOLOv11 diterapkan untuk deteksi jalan berlubang dalam berbagai kondisi dunia nyata.

3.2.1 Pengumpulan Dataset

Pengumpulan data merupakan tahap awal yang penting dalam penelitian ini karena data yang digunakan untuk melatih dan menguji model YOLOv11 harus mewakili kondisi sebenarnya serta memiliki kualitas yang baik. Data pada penelitian ini berasal dari dua jenis dataset utama, yaitu:

1. ***Dataset* Primer**

Dataset primer diperoleh secara langsung dari lapangan melalui pengambilan gambar menggunakan kamera *smartphone*. *Dataset* ini berjumlah 537 gambar dan digunakan pada tahap pelatihan serta pengujian model. Citra yang dikumpulkan mencakup berbagai kondisi jalan berlubang dengan perbedaan pencahayaan, sudut pengambilan gambar, jarak kamera, dan jenis permukaan jalan. Variasi tersebut diperlukan agar data yang digunakan dapat menggambarkan kondisi jalan di lapangan secara lebih nyata. *Dataset* primer ini digunakan untuk membantu model mengenali objek jalan berlubang berdasarkan kondisi nyata di wilayah penelitian. Beberapa contoh citra pada *dataset* primer ditampilkan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Contoh *Dataset* Primer Jalan Berlubang

2. *Dataset* Sekunder

Dataset sekunder diperoleh dari sumber publik, yaitu Kaggle, yang menyediakan citra jalan berlubang dengan variasi kondisi visual. *Dataset* ini berjumlah 410 gambar dan digunakan untuk menambah keragaman data pada proses pelatihan serta validasi model. Penggunaan *dataset* sekunder bertujuan untuk memperkaya variasi bentuk lubang, ukuran objek, sudut pengambilan gambar, dan kondisi permukaan jalan. Dengan adanya data tambahan ini, model YOLOv11 diharapkan dapat mempelajari pola jalan berlubang secara lebih luas dan tidak hanya bergantung pada citra yang diperoleh dari lokasi penelitian. Beberapa contoh citra pada *dataset* sekunder ditampilkan pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Contoh *Dataset* Sekunder Jalan Berlubang
(Sumber: Kaggle, 2026. https://www.kaggle.com/datasets/idanbaru/annotated-potholes-with-severity-levels?select=images)

Setelah pengumpulan data, tahap berikutnya adalah anotasi data menggunakan platform Roboflow. Pada platform ini, gambar-gambar yang terkumpul dianotasi dengan menambahkan bounding box untuk menunjukkan lokasi jalan berlubang serta memberikan label kelas objek yang sesuai.

3.2.2 Pre-processing Data

Setelah data terkumpul dan dianotasi, langkah selanjutnya ialah *pre-processing data.* Tahap ini meliputi beberapa proses penting untuk mempersiapkan data agar dapat digunakan dalam pelatihan model. Tahapan *pre-processing* bertujuan untuk meningkatkan kualitas data yang digunakan oleh model YOLOv11 agar dapat mendeteksi objek dengan lebih akurat.

1. Anotasi *Bounding Box*

Setelah data dikumpulkan, setiap citra yang mengandung jalan berlubang diberikan anotasi menggunakan platform Roboflow. Proses anotasi dilakukan dengan menambahkan bounding box pada area jalan berlubang dan memberikan label kelas objek yang sesuai. Tahap ini penting karena model YOLOv11 memerlukan informasi lokasi objek dan kelas objek sebagai dasar pembelajaran saat proses pelatihan. Ketepatan dalam pembuatan bounding box sangat memengaruhi kemampuan model dalam mengenali pola visual jalan berlubang.

2. *Resize* Citra

Gambar yang telah dianotasi kemudian diubah ukurannya menjadi 640x640 piksel untuk disesuaikan dengan ukuran input model YOLOv11. Ukuran ini banyak digunakan dalam penelitian terdahulu, seperti Firgiawan *et al.*, (2024) dan Pradana (2024), karena mampu menjaga keseimbangan antara ketepatan deteksi dan efisiensi komputasi. Dengan ukuran tersebut, model YOLOv11 dapat mendeteksi objek secara presisi sekaligus tetap mempertahankan kecepatan inferensi yang dibutuhkan untuk penerapan *real-time*.

3. Normalisasi Data

Nilai piksel pada citra kemudian dinormalisasi dengan membagi setiap nilai piksel dengan nilai maksimumnya, yaitu 255 pada citra RGB, sehingga rentang nilainya menjadi 0 hingga 1. Proses ini banyak digunakan dalam penelitian terdahulu, seperti Cheng *et al.,* (2024), karena mampu menyeragamkan rentang nilai data sebelum masuk ke tahap pelatihan model. Dengan rentang nilai yang konsisten, proses pembelajaran model dapat berlangsung lebih stabil dan model menjadi lebih efektif dalam mengenali pola pada citra.

3.2.3 Pelatihan Model YOLOv11

Setelah seluruh data melalui tahap pemrosesan, langkah berikutnya adalah melatih model YOLOv11. Model ini dipilih karena mampu mendeteksi objek dengan baik serta mendukung proses deteksi secara *real-time*. Proses pelatihan dijalankan menggunakan GPU (*Graphics Processing Unit*) agar komputasi berlangsung lebih cepat, karena GPU lebih efektif dalam menangani perhitungan matriks yang rumit dan pengolahan data dalam jumlah besar, seperti pada model *Deep Learning*.

1. Pengaturan *Hyperparameter*

Beberapa *hyperparameter* yang penting dan diatur selama pelatihan meliputi *learning rate*, *batch size*, dan *epoch*. Pemilihan parameter ini bertujuan untuk memperoleh hasil yang optimal, menghindari *overfitting*, dan mempercepat proses konvergensi. Pengaturan yang tepat akan mempengaruhi kinerja model, memastikan model belajar dengan baik tanpa kesalahan yang berlebihan, serta mencapai akurasi yang tinggi.

2. Proses Pelatihan

Data pelatihan yang telah melalui tahap pra-pemrosesan kemudian diolah ke dalam model YOLOv11 untuk proses pelatihan. Pada tahap ini, model menghitung *loss function* yang selanjutnya dioptimalkan menggunakan algoritma *Adam optimizer*. Algoritma tersebut membantu model belajar secara lebih efisien, sehingga prediksi bounding box dan label kelas dapat menjadi lebih akurat dalam mendeteksi jalan berlubang.

3.2.4 Evaluasi Model

Setelah pelatihan model selesai, model yang telah dilatih kemudian diuji menggunakan data uji yang diambil dari kondisi lapangan. Pengujian ini dilakukan untuk menilai kemampuan model dalam mendeteksi jalan berlubang dalam kondisi dunia nyata yang bervariasi. Penilaian performa model dilakukan melalui beberapa metrik evaluasi, yaitu:

1. *Precision*, untuk menunjukkan tingkat ketepatan prediksi positif yang dihasilkan model.
2. *Recall*, untuk melihat kemampuan model dalam menemukan objek yang benar-benar ada.
3. *F1-score*, untuk menggambarkan keseimbangan antara nilai *Precision* dan *Recall*.
4. *Mean Average Precision* (mAP), untuk menilai ketepatan prediksi model pada beberapa ambang *Intersection over Union* (*IoU*).

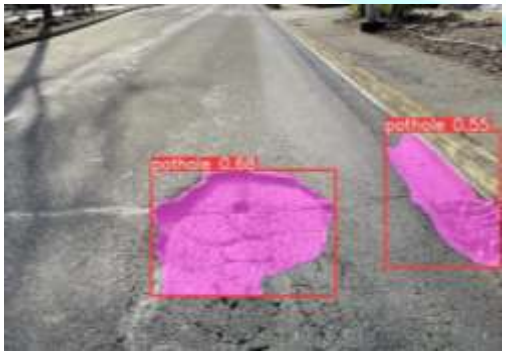
Hasil dari evaluasi tersebut digunakan sebagai dasar untuk menilai apakah model sudah layak diterapkan pada sistem deteksi jalan berlubang secara *real-time*.

3.2.5 Implementasi Sistem *Real-time*

Setelah model dievaluasi dan dinyatakan siap, tahap berikutnya adalah mengimplementasikan model YOLOv11 ke dalam sistem deteksi jalan berlubang berbasis *real-time*. Pada tahap ini, model yang telah dilatih digunakan untuk mendeteksi citra jalan yang diperoleh dari kamera *smartphone*. Citra yang masuk ke sistem diproses secara langsung agar model dapat menghasilkan prediksi mengenai keberadaan dan posisi jalan berlubang.

Cara kerja YOLOv11 dalam sistem ini dimulai ketika citra atau *frame* dari kamera diterima sebagai data masukan. Citra tersebut kemudian disesuaikan dengan ukuran *input* model, yaitu 640 × 640 piksel, agar sesuai dengan format pelatihan. Setelah itu, citra diproses melalui bagian *Backbone* untuk mengekstraksi fitur visual penting, seperti tekstur jalan, batas lubang, area gelap, dan perbedaan warna pada permukaan jalan. Fitur yang diperoleh kemudian diteruskan ke bagian *Neck* untuk digabungkan dalam beberapa skala, sehingga model dapat mengenali lubang jalan dengan ukuran dan bentuk yang berbeda.

Tahap berikutnya dilakukan pada bagian *Head*, yaitu bagian yang menghasilkan prediksi akhir. Pada tahap ini, YOLOv11 menentukan lokasi objek dalam bentuk *bounding box*, memberikan label kelas objek, serta menghitung nilai keyakinan deteksi atau *confidence score*. Hasil prediksi kemudian disaring agar sistem hanya menampilkan deteksi yang paling sesuai. Setelah proses tersebut selesai, sistem menampilkan hasil deteksi pada citra berupa kotak penanda dan label jalan berlubang. Dengan alur ini, YOLOv11 dapat digunakan untuk mendeteksi posisi jalan berlubang secara langsung pada citra yang diperoleh dari kamera *smartphone*.



Gambar 3. 6 Contoh Deteksi Jalan Berlubang Dengan YOLO

Uji implementasi dilakukan pada beberapa variasi kondisi, meliputi perbedaan pencahayaan, sudut pengambilan gambar, jarak kamera, dan kualitas citra. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kemampuan sistem dalam menampilkan hasil deteksi pada kondisi penggunaan nyata. Kinerja sistem diamati berdasarkan kemampuan model dalam menampilkan *bounding box*, label objek, dan status deteksi jalan berlubang. Melalui implementasi tersebut, dapat diketahui bahwa model YOLOv11 tidak hanya bekerja pada tahap pelatihan dan evaluasi, tetapi juga dapat diterapkan pada sistem deteksi jalan berlubang berbasis *real-time*.