

Pothole Detection System

Proof of Concept (PoC)

Integrasi Video, GPS, dan AI (YOLO + SAM3)

Computer Vision & System Integration Project





Latar Belakang

Dampak Kerusakan Jalan

Kerusakan jalan seperti pothole berdampak langsung terhadap keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, menyebabkan kecelakaan dan kerusakan kendaraan.

Tantangan Inspeksi Manual

Proses inspeksi manual memakan biaya dan waktu yang besar, serta sulit menjaga konsistensi dalam pelaporannya.

Peluang Otomatisasi AI

Ketersediaan data video kendaraan dan GPS membuka peluang besar untuk sistem otomatis berbasis AI yang mendeteksi pothole secara efisien dan terstruktur.



Case Study Pemerintah Daerah (Dinas PU)

Masalah yang dihadapi:

1. *Inspeksi manual yang mahal dan lambat*
 - Dinas perlu mengirim tim survei ke lapangan untuk memetakan kerusakan
 - Biaya operasional tinggi (BBM, tenaga, waktu)
2. *Data tidak lengkap dan tidak terstruktur*
 - Banyak kerusakan tidak terdokumentasi dengan koordinat
 - Penjadwalan perbaikan sulit karena tidak ada prioritas berbasis data
3. *Respon reaktif, bukan proaktif*
 - Perbaikan baru dilakukan setelah ada laporan atau insiden
 - Risiko kecelakaan dan kerusakan kendaraan meningkat

Bagaimana Sistem PoC Membantu:

1. *Dokumentasi otomatis pothole berbasis AI + GPS*
 - Pothole diidentifikasi langsung dari video perjalanan kendaraan
 - Koordinat GPS tersimpan sehingga mudah dipetakan
2. *Efisiensi perencanaan dan budgeting*
 - Data kerusakan dapat digunakan untuk menentukan prioritas perbaikan
 - Membantu penyusunan alokasi anggaran tahunan berbasis bukti
3. *Validasi lapangan lebih cepat*
 - Tim PU hanya perlu cross-check lokasi sebelum eksekusi perbaikan
 - Mengurangi jumlah survei berulang



Tujuan Project

Project ini dikembangkan sebagai **Proof of Concept (PoC)** dengan tujuan utama:

→ *Membuktikan Sistem End-to-End*

Menunjukkan bahwa sistem pendekripsi pothole dapat dibangun secara menyeluruh dari awal hingga akhir.

→ *Integrasi Pipeline Lengkap*

Mengintegrasikan frontend, backend, dan AI inference dalam satu alur kerja yang kohesif.

→ *Demonstrasi Deployment Realistik*

Menyajikan alur deployment yang praktis dan memiliki potensi pengembangan lebih lanjut.

Fokus utama project ini **bukan pada performa model**, melainkan pada **integrasi sistem dan arsitektur deployment**.

Ruang Lingkup PoC

Menjadi fokus pada tahap ini:

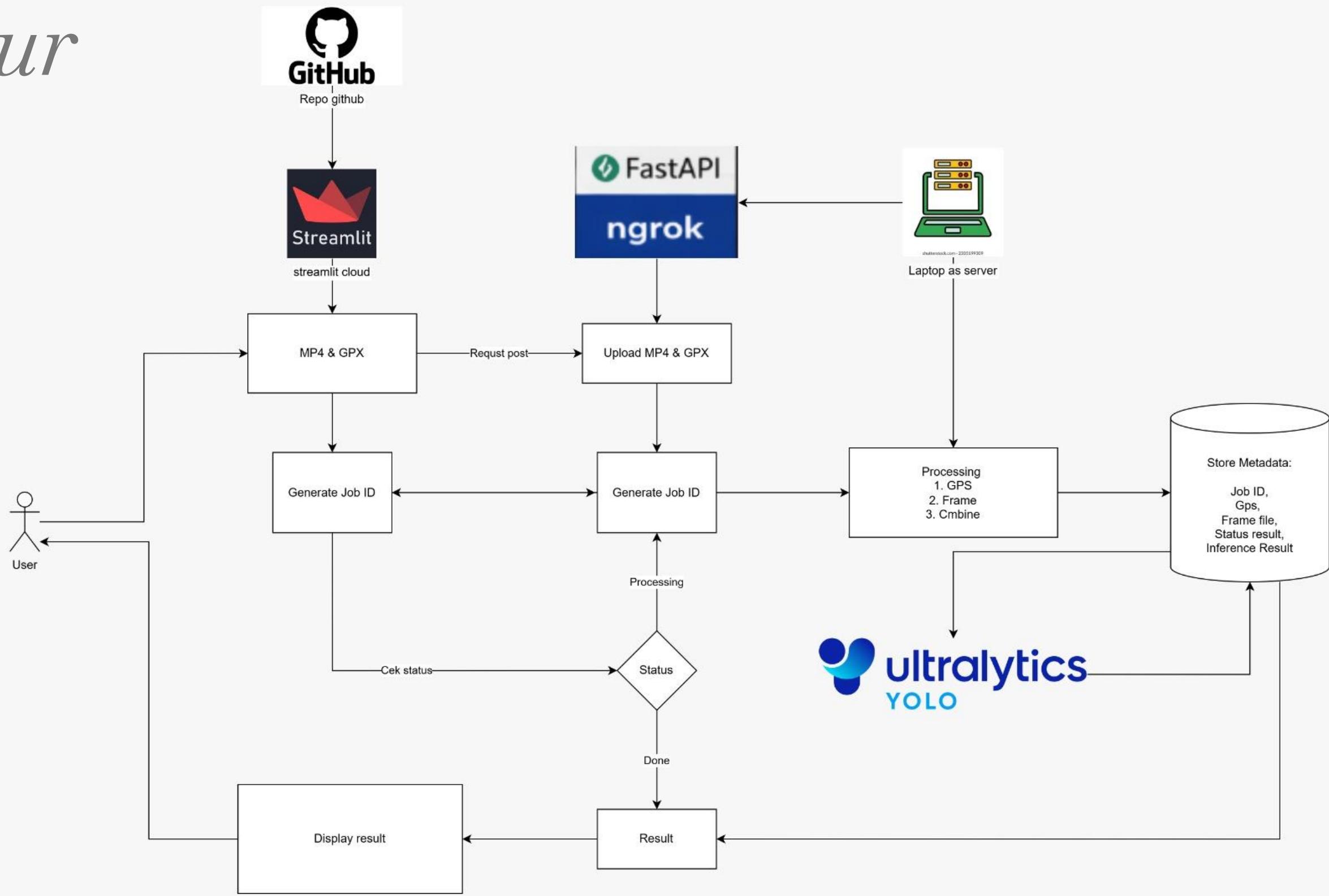
- Alur unggah video dan GPS
- Sistem berbasis job (pemrosesan asinkron)
- Integrasi AI ke dalam backend
- Penyimpanan metadata hasil inference

Belum menjadi fokus:

- Optimasi akurasi model AI
- Pemrosesan real-time
- Skalabilitas untuk produksi

Arsitektur Sistem

Diagram ini menunjukkan alur lengkap sistem, mulai dari user mengunggah data hingga hasil inference ditampilkan kembali. Arsitektur dirancang modular agar setiap komponen dapat dikembangkan atau diganti pada tahap selanjutnya.



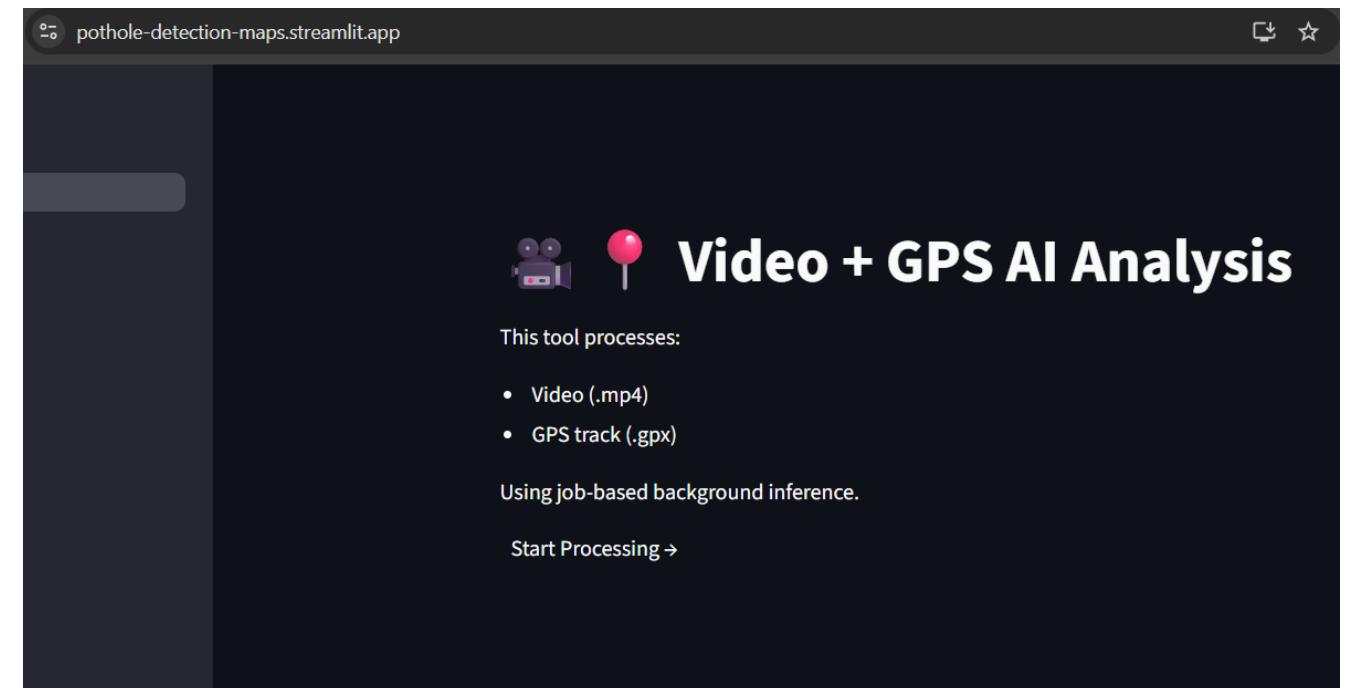
Frontend (Streamlit Cloud)

Frontend dibangun menggunakan **Streamlit** dan di-deploy melalui **Streamlit Cloud** dengan source code dari GitHub.

Fungsi utama frontend:

- Mengunggah file video (MP4)
 - Mengunggah data GPS (GPX)
 - Mengirim request ke backend
 - Menampilkan status dan hasil akhir
-
- (Frontend tidak melakukan proses AI atau komputasi berat.)

<https://pothole-detection-maps.streamlit.app/>



Backend API (FastAPI + Ngrok)

Backend menggunakan **FastAPI** dan dijalankan pada server lokal (laptop) sebagai bagian dari PoC.

Ngrok digunakan untuk:

- Mengekspos server lokal ke internet
- Menghubungkan frontend cloud dengan backend lokal



Backend bertanggung jawab atas:

- Manajemen request
- Pembuatan Job ID
- Pelacakan status
- Orkestrasi pemrosesan



Job-Based Processing

Setiap request yang masuk akan menghasilkan **Job ID** unik. Pendekatan berbasis job ini memberikan beberapa keuntungan:



Proses Asynchronous

Memungkinkan operasi latar belakang tanpa memblokir interaksi pengguna.



Penanganan File Besar

Mampu memproses file video berukuran besar secara efektif.



Pengecekan Status Non-Blocking

Pengguna dapat memeriksa status pekerjaan kapan saja tanpa menunggu proses selesai.

Pendekatan ini penting untuk mensimulasikan sistem di lingkungan produksi.

Processing Server

Processing server adalah jantung dari sistem ini, menjalankan pipeline utama untuk mendeteksi pothole.

Parsing Data GPS

Menguraikan informasi lokasi dari file GPX untuk koordinasi spasial.

Ekstraksi Frame Video

Mengambil gambar individu dari stream video untuk analisis.

Proses Inference AI

Menerapkan model AI untuk mendeteksi pothole pada setiap frame.

Penggabungan Hasil

Mengintegrasikan hasil deteksi AI dengan data GPS untuk konteks lokasi.

- ❑ Pada tahap PoC, processing server masih menggunakan laptop, namun desain sistem memungkinkan migrasi ke server atau cloud yang lebih scalable.

AI Pipeline Overview

Sistem AI kami menggunakan dua model utama untuk mendekripsi dan mensegmentasi pothole:



YOLO (You Only Look Once)



Digunakan untuk mendekripsi pothole secara cepat dalam bentuk **bounding box** pada video, memberikan deteksi awal yang efisien.



SAM3 (Segment Anything Model)



Digunakan untuk memperhalus hasil deteksi YOLO dan menghasilkan **segmentasi yang lebih presisi**, memperjelas bentuk dan ukuran pothole.

Pendekatan ini menggabungkan kecepatan deteksi dengan ketelitian segmentasi untuk hasil yang optimal.



FINE-TUNING (TINGKAT TINGGI)

Pada tahap Proof of Concept (PoC), fokus utama kami adalah validasi pipeline sistem. Proses fine-tuning dilakukan secara strategis untuk mencapai tujuan ini:

1

Fine-tuning YOLO Sederhana

Model YOLO menjalani fine-tuning sederhana menggunakan dataset pothole yang tersedia. Tujuannya adalah untuk memastikan deteksi pothole yang akurat dan meminimalkan tingkat kesalahan deteksi.

2

Fokus pada Deteksi Pothole

Prioritas utama adalah memastikan tidak ada pothole yang terlewatkan oleh sistem. Keandalan deteksi menjadi kunci untuk keberhasilan PoC ini.

3

SAM3 sebagai Refinement

SAM3 (Segment Anything Model 3) digunakan sebagai tahap penyempurnaan. Penting untuk dicatat bahwa SAM3 diintegrasikan tanpa pelatihan dari awal, memanfaatkan kemampuannya untuk menyempurnakan mask pothole yang sudah dideteksi oleh YOLO.

Fine-tuning ini dilakukan secukupnya untuk memvalidasi efektivitas pipeline secara keseluruhan, bukan untuk mencapai performa optimal pada setiap komponen model.

OUTPUT SISTEM

Sistem yang kami kembangkan menghasilkan output yang komprehensif, penting untuk analisis dan tindak lanjut. Output ini dirancang untuk memberikan informasi yang jelas dan terstruktur:

Video Hasil Inference

- Video yang diproses menampilkan **bounding box** di sekitar setiap pothole yang terdeteksi.
- Setiap pothole juga dilengkapi dengan **mask** segmentasi yang presisi, menunjukkan area kerusakan secara detail.
- Video ini menjadi bukti visual dari kemampuan deteksi sistem.

Selain video, setiap hasil dilengkapi dengan metadata kaya untuk analisis lebih lanjut.



Job ID

Identifikasi unik untuk setiap sesi pemrosesan.

Koordinat GPS

Lokasi geografis akurat dari setiap deteksi pothole.

Frame & Timestamp

Informasi waktu dan urutan frame untuk pelacakan yang tepat.



Status Proses

Indikator kemajuan dan hasil pemrosesan.

Hasil Inference

Detail tentang deteksi pothole, termasuk skor kepercayaan dan ukuran.

NILAI TAMBAH PoC

Project Proof of Concept (PoC) ini memberikan nilai strategis yang signifikan, melampaui sekadar demonstrasi teknologi. Ini adalah fondasi kuat untuk implementasi di masa depan.

Validasi Integrasi AI

Project ini berhasil memvalidasi kemampuan integrasi teknologi AI ke dalam sistem yang lebih besar dan berfungsi secara real-time. Ini menunjukkan bahwa AI bukan hanya model di atas kertas, tetapi solusi yang dapat diterapkan.

Arsitektur Modular & Fleksibel

Kami membangun sistem dengan arsitektur modular yang memungkinkan fleksibilitas tinggi. Setiap komponen dapat diperbarui atau diganti tanpa mengganggu keseluruhan sistem, memfasilitasi pengembangan dan pemeliharaan yang efisien.

Pipeline Siap Produksi

Dengan validasi integrasi dan desain modular, pipeline ini siap untuk dikembangkan lebih lanjut menuju tahap produksi. Ini mengurangi waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk implementasi skala penuh.

Nilai inti dari project ini adalah penekanannya pada AI sebagai bagian integral dari sistem secara keseluruhan, bukan entitas yang terisolasi. Ini adalah langkah maju menuju solusi yang lebih holistik dan fungsional.

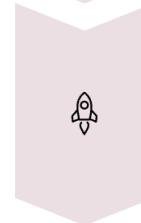
PENGEMBANGAN SELANJUTNYA

Setelah keberhasilan PoC ini, ada banyak peluang untuk pengembangan lebih lanjut yang akan meningkatkan kapabilitas dan efisiensi sistem secara signifikan. Tahap lanjutan ini akan membawa sistem ke tingkat yang lebih canggih dan robust.



Optimasi & Perluasan Dataset

Memperbesar dan memperkaya dataset untuk meningkatkan akurasi dan ketahanan model terhadap variasi kondisi jalan dan jenis pothole.



Peningkatan Performa Model

Melakukan riset dan implementasi model-model AI yang lebih baru dan efisien untuk kecepatan inference yang lebih tinggi dan deteksi yang lebih baik.



Penggunaan Queue System & Cloud Infrastructure

Mengimplementasikan antrian pesan dan manfaatkan infrastruktur cloud untuk skalabilitas, ketahanan, dan pemrosesan data yang lebih besar.



Visualisasi Peta Berbasis GPS

Mengembangkan antarmuka visual untuk menampilkan deteksi pothole secara langsung pada peta, mempermudah pemantauan dan perencanaan perbaikan.



Dashboard Analytics & Reporting

Membangun dashboard interaktif untuk memvisualisasikan data, tren, dan menghasilkan laporan yang berguna bagi pengambilan keputusan.

PENUTUP

Sebagai sebuah Proof of Concept (PoC), proyek ini telah mencapai tujuannya dengan gemilang. Kami berhasil mendemonstrasikan bahwa sistem pendekripsi pothole berbasis AI dapat diintegrasikan secara efektif ke dalam sebuah pipeline aplikasi yang lengkap dan fungsional.



Integrasi AI Berhasil

Sistem ini membuktikan bahwa teknologi AI dapat menjadi bagian yang tak terpisahkan dari solusi praktis, memberikan hasil yang akurat dan relevan.



Desain Modular

Arsitektur modular yang diterapkan menjamin fleksibilitas tinggi, memungkinkan penyesuaian dan pengembangan komponen di masa depan tanpa hambatan.



Siap Dikembangkan

PoC ini bukan akhir, melainkan awal yang kuat. Pipeline yang sudah ada siap untuk diperluas dan ditingkatkan ke tahap produksi, membawa manfaat nyata bagi pemeliharaan infrastruktur.

Dengan hasil ini, kami optimis bahwa sistem deteksi pothole berbasis AI akan menjadi alat yang sangat berharga dalam upaya menjaga kualitas jalan dan meningkatkan keselamatan berkendara.