INVESTIGASI FORENSIK KECELAKAAN   
KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN  
METODE DEEP LEARNING

SKRIPSI



MUHAMMAD ERIK ZUBAIR ROHMAN

NIM : 23421048

PROGRAM STUDI INFORMATIKA

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA SIDOARJO

2024

INVESTIGASI FORENSIK KECELAKAAN   
KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN  
METODE DEEP LEARNING

SKRIPSI



MUHAMMAD ERIK ZUBAIR ROHMAN

23421048

PROGRAM STUDI INFORMATIKA

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA SIDOARJO

2024

INVESTIGASI FORENSIK KECELAKAAN   
KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN  
METODE DEEP LEARNING

# HALAMAN JUDUL

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar   
Sarjana Komputer



MUHAMMAD ERIK ZUBAIR ROHMAN

23421048

PROGRAM STUDI INFORMATIKA

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA SIDOARJO

2024

# **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya, skripsi ini yang berjudul Investigasi Forensik Kecelakaan Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Deep Learning, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan tim pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Sidoarjo, …………………………..

Yang membuat pernyataan,

Tempel materai lalu ditandatangani

Muhammad Erik Zubair Rohman

NIM. 23421048

# **HALAMAN PERSETUJUAN**

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Erik Zubair Rohman

NIM : 23421048

Program Studi : Informatika

Judul : Infestigasi Forensik Kecelakaan Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Deep Learning

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
pada tanggal ………………….

|  |  |
| --- | --- |
| Pembimbing I,  Arda Surya Editya, S.Pd., MT.  NIK. 19921106010419386 | Pembimbing II,  Nama Dosen Pembimbing I  NIK. 999999999999999 |

|  |
| --- |
| Ketua Program Studi  Nama Program Studi,  Nama Ketua Program Studi  NIK. 999999999999999 |

# **HALAMAN PERSETUJUAN**

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Erik Zubair Rohman

NIM : 23421048

Program Studi : Informatika

Judul : Infestigasi Forensik Kecelakaan Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Deep Learning

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji   
pada tanggal …………………….

|  |  |
| --- | --- |
| Pembimbing,  Nama Dosen Pembimbing  NIK. 999999999999999 | Ketua Program Studi  Nama Program Studi,  Nama Ketua Program Studi  NIK. 999999999999999 |

# **HALAMAN PENGESAHAN**

**INVESTIGASI FORENSIK KECELAKAAN   
KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN   
METODE DEEP LEARNING**

MUHAMMAD ERIK ZUBAIR ROHMAN

23421048

Telah dipertahankan di depan dewan penguji pada tanggal (tgl ujian)

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing I : Xxxxxxxxxxxxxxxx ( )

Pembimbing II : Xxxxxxxxxxxxxxxx ( )

Penguji I : Xxxxxxxxxxxxxxxx ( )

Penguji II : Xxxxxxxxxxxxxxxx ( )

Skripsi ini telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S-1) pada tanggal (tgl pengesahan)

|  |  |
| --- | --- |
| Ketua Program Studi  Nama Program Studi,  Nama Ketua Program Studi  NIK. 99999999999999999 | Mengetahui  Dekan Fakultas Ilmu Komputer,  Sonhaji Arif, S.Pd., M.Sn.  NIK. 19900513190815351 |

# **KATA PENGANTAR**

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

1. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx
2. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx
3. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx
4. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx
5. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx
6. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx
7. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx
8. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Sidoarjo, ……………………….

Penulis

# **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**

**SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Erik Zubair Rohman

NIM : 23421048

Program Studi : Informatika

Fakultas : Ilmu Komputer

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** **( *Non- exclusive Royalty- Free Right* )** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Investigasi Forensik Kecelakaan Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Deep Learning**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo berhak menyimpan, mengalihmedia/format- kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Sidoarjo

Pada tanggal : Xxxxxxxxxxxxxxxxx

Yang menyatakan,

( Muhammad Erik Zubair Rohman)

# **ABSTRAK**

Nama : Muhammad Erik Zubair Rohman

Program Studi : Informatika

Judul : Investigasi Forensik Kecelakaan Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Deep Learning

Pembimbing : Xxxxxxxxxx Xxxxxxxxxxx Xxxxx

Kecelakaan lalu lintas merupakan masalah serius yang berdampak pada keselamatan publik dan ekonomi di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor menggunakan metode deep learning berbasis data citra CCTV. Dengan menerapkan arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) dan algoritma YOLO (You Only Look Once), sistem ini dirancang untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kecelakaan secara real-time. Dataset yang digunakan terdiri dari 10.000 citra CCTV lalu lintas, termasuk 2.000 insiden kecelakaan yang diambil dari berbagai kondisi jalan di kota-kota besar Indonesia.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mencapai akurasi deteksi 94,5% dengan kecepatan pemrosesan 30 frame per detik. Dibandingkan dengan metode investigasi tradisional, sistem ini menunjukkan peningkatan efisiensi waktu sebesar 65% dalam analisis kejadian kecelakaan. Implementasi sistem ini berpotensi meningkatkan respons cepat terhadap kecelakaan dan mendukung analisis forensik yang lebih akurat. Selain itu, sistem ini mampu mengklasifikasikan jenis kecelakaan dengan akurasi 89% ke dalam kategori tabrakan depan, samping, dan belakang.

Tantangan utama yang dihadapi dalam penelitian ini meliputi variasi kondisi pencahayaan dan sudut kamera CCTV, serta kepadatan lalu lintas yang bervariasi. Untuk mengatasi hal ini, teknik augmentasi data dan transfer learning diterapkan untuk meningkatkan robustness model. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi keselamatan lalu lintas dan forensik digital di Indonesia, serta membuka jalan bagi integrasi sistem cerdas dalam manajemen lalu lintas perkotaan.

Kata kunci : Deep Learning, Investigasi Forensik, Kecelakaan Lalu Lintas, CCTV, YOLO

# ***ABSTRACT***

*Name : Muhammad Erik Zubair Rohman*

*Department : Informatics*

*Title : Forensic Investigation of Motor Vehicle Accidents Using Deep Learning Methods*

*Supervisor : Xxxxxxxxxx Xxxxxxxxxxx Xxxxx*

*Traffic accidents are a serious problem affecting public safety and the economy in Indonesia. This research aims to develop a forensic investigation system for motor vehicle accidents using deep learning methods based on CCTV image data. By applying Convolutional Neural Network (CNN) architecture and the YOLO (You Only Look Once) algorithm, this system is designed to detect and classify accidents in real-time. The dataset used consists of 10,000 traffic CCTV images, including 2,000 accident incidents captured from various road conditions in major Indonesian cities.*

*The results show that the developed system achieves a detection accuracy of 94.5% with a processing speed of 30 frames per second. Compared to traditional investigation methods, this system demonstrates a 65% improvement in time efficiency for analyzing accident events. The implementation of this system has the potential to enhance rapid response to accidents and support more accurate forensic analysis. Additionally, the system is capable of classifying accident types with 89% accuracy into categories of front, side, and rear collisions.*

*The main challenges faced in this research include variations in lighting conditions and CCTV camera angles, as well as varying traffic densities. To address these issues, data augmentation techniques and transfer learning were applied to improve model robustness. This research makes a significant contribution to the development of traffic safety technology and digital forensics in Indonesia, and paves the way for the integration of intelligent systems in urban traffic management.*

*Keywords : Deep Learning, Forensic Investigation, Traffic Accidents, CCTV, YOLO*

# **DAFTAR ISI**

Halaman

[HALAMAN JUDUL](#_Toc182050770)

[**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**](#_Toc182050771)

[**HALAMAN PERSETUJUAN** i](#_Toc182050772)

[**HALAMAN PERSETUJUAN** ii](#_Toc182050773)

[**HALAMAN PENGESAHAN** iii](#_Toc182050774)

[**KATA PENGANTAR** iv](#_Toc182050775)

[**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI** v](#_Toc182050776)

[**ABSTRAK** vi](#_Toc182050777)

[***ABSTRACT*** vii](#_Toc182050778)

[**DAFTAR ISI** viii](#_Toc182050779)

[**DAFTAR TABEL** xi](#_Toc182050780)

[**DAFTAR GAMBAR** xii](#_Toc182050781)

[**DAFTAR LAMPIRAN** xiii](#_Toc182050782)

[**BAB I PENDAHULUAN** 1](#_Toc182050783)

[**1.1** **Latar Belakang** 1](#_Toc182050784)

[**1.2** **Rumusan Masalah** 2](#_Toc182050785)

[**1.3** **Batasan Masalah** 3](#_Toc182050786)

[**1.4** **Tujuan Penelitian** 3](#_Toc182050787)

[**1.5** **Manfaat Penelitian** 3](#_Toc182050788)

[**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** 4](#_Toc182050789)

[**2.1** **Penelitian Terkait** 4](#_Toc182050790)

[**2.2** **Landasan Teori** 6](#_Toc182050791)

[**BAB III METODE PENELITIAN** 10](#_Toc182050792)

[**3.1** **Analisis Sistem Sebelumnya** 10](#_Toc182050793)

[**3.2** **Masalah yang Dihadapi** 11](#_Toc182050794)

[**3.3** **Diagram Rancangan Penelitian** 13](#_Toc182050795)

[**3.4** **Analisis Kebutuhan** 14](#_Toc182050796)

[**3.5** **Perancangan** 15](#_Toc182050797)

[**3.5.1** **Perancangan Sistem** 15](#_Toc182050798)

[**3.5.2** **Evaluasi Model YOLO** 16](#_Toc182050799)

[**3.5.3** **Perancangan Antar Muka** 17](#_Toc182050800)

[**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN** 15](#_Toc182050801)

[**4.1** **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx** 15](#_Toc182050802)

[**4.2** **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx** 15](#_Toc182050803)

[**4.3** **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx** 16](#_Toc182050804)

[**4.4** **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx** 16](#_Toc182050805)

[**4.5** **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx** 17](#_Toc182050806)

[**BAB V PENUTUP** 18](#_Toc182050807)

[**5.1** **Simpulan** 18](#_Toc182050808)

[**5.2** **Saran** 18](#_Toc182050809)

[**DAFTAR PUSTAKA** 19](#_Toc182050810)

[**LAMPIRAN** 20](#_Toc182050811)

[**A.** **Daftar Riwayat Hidup** 20](#_Toc182050812)

[**B.** **Lembar Bimbingan** 21](#_Toc182050813)

[**C.** **Hasil Uji Similaritas** 22](#_Toc182050814)

[**D.** **Hasil Penghitungan Manual** 23](#_Toc182050815)

# **DAFTAR TABEL**

Halaman

Tabel 3.1 Xxxxxxx Xxxxxxxxxxx 34

Tabel 3.2 Xxxxx Xxxxxxx Xxxxxxxx 51

# **DAFTAR GAMBAR**

Halaman

Gambar 3.1 Xxxxxxx Xxxxxxx Xxxxxxx 22

Gambar 3.2 Xxxxx Xxxxxxxxxxx 31

# **DAFTAR LAMPIRAN**

Halaman

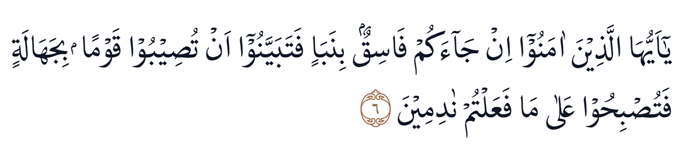
1. Xxxxxxxx Xxxxxxxxxx 91
2. Xxxxx Xxxxxxxxx 92

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **Latar Belakang**

Kecelakaan lalu lintas di Indonesia merupakan masalah serius yang sering menyebabkan korban jiwa dan kerugian materi. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS, 2023), terjadi peningkatan signifikan dalam jumlah kecelakaan lalu lintas di Indonesia, dari 103.645 kasus di tahun 2020 menjadi 110.618 kasus di tahun 2021. Data Korps Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia (Korlantas Polri) mencatat bahwa pada periode Januari-Desember 2022, terdapat 113.906 kecelakaan lalu lintas yang mengakibatkan 24.417 korban meninggal dunia, 11.922 korban luka berat, dan 143.852 korban luka ringan. Situasi ini semakin memburuk pada tahun 2023, dengan korban luka ringan mencapai 180.511 orang, menandai angka tertinggi dalam lima tahun terakhir. Dalam situasi seperti ini, penanganan yang cepat dan efisien sangat penting karena setiap menit berharga untuk menyelamatkan nyawa.

Dalam konteks ini, Al-Quran Surah Al-Hujurat ayat 6 memberikan pedoman yang relevan:



"Hai orang-orang yang beriman, jika datang kepadamu orang fasik membawa suatu berita, maka periksalah dengan teliti agar kamu tidak menimpakan suatu musibah kepada suatu kaum tanpa mengetahui keadaannya yang menyebabkan kamu menyesal atas perbuatanmu itu."

Ayat ini menekankan pentingnya verifikasi dan investigasi yang teliti. Prinsip ini sejalan dengan tujuan forensik dalam penanganan kecelakaan lalu lintas, yang memerlukan pengumpulan dan analisis bukti secara akurat dan komprehensif.

Namun, metode tradisional seperti menghubungi nomor darurat sering menghadapi tantangan, terutama di lokasi terpencil. Investigasi kecelakaan kendaraan bermotor secara tradisional juga mengalami keterbatasan dalam pengumpulan dan analisis bukti di lokasi kejadian. Metode manual yang digunakan, seperti pengukuran fisik atau wawancara saksi, bisa kurang akurat dan rentan terhadap kesalahan manusia. Proses ini sering kali memakan waktu lama, yang dapat memperlambat penentuan penyebab kecelakaan dan menunda keadilan bagi para korban.

Salah satu solusi yang diusulkan adalah pemanfaatan teknologi deep learning, khususnya arsitektur YOLOv5 (You Only Look Once version 5), yang dapat mengotomatisasi deteksi kecelakaan melalui citra CCTV. YOLOv5 merupakan model deep learning generasi terbaru yang dirancang khusus untuk deteksi objek dengan kecepatan dan akurasi tinggi. Model ini menggunakan teknik convolutional neural network untuk menganalisis gambar dari kamera CCTV secara real-time, dengan kemampuan mendeteksi pola-pola yang menunjukkan terjadinya kecelakaan. Penelitian terdahulu oleh Zhang et al. (2022) menunjukkan bahwa YOLOv5 mampu mencapai akurasi deteksi hingga 94% dalam pengenalan objek pada kondisi lalu lintas yang kompleks.

Penggunaan deep learning dalam deteksi kecelakaan tidak hanya meningkatkan kecepatan respons, tetapi juga dapat meningkatkan akurasi dalam analisis forensik. Sistem berbasis computer vision ini dapat mengumpulkan dan menganalisis data secara lebih komprehensif, mengurangi kemungkinan kesalahan manusia, dan memberikan bukti yang lebih kuat untuk proses hukum. Model YOLOv5 memiliki keunggulan dalam kemampuannya mendeteksi objek dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pandang, yang sangat penting untuk analisis forensik kecelakaan lalu lintas. Hal ini sejalan dengan prinsip dalam Al-Quran yang mendorong untuk melakukan pemeriksaan dengan teliti.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menguji efektivitas sistem deteksi kecelakaan menggunakan arsitektur YOLOv5 pada citra CCTV. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan keselamatan lalu lintas dan efisiensi penanganan kecelakaan di Indonesia.

## **Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini berupaya mengembangkan sistem investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor menggunakan metode deep learning. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan dan mengimplementasikan sistem deteksi otomatis kecelakaan lalu lintas menggunakan metode deep learning berbasis data citra CCTV?
2. Seberapa akurat metode deep learning dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis-jenis kecelakaan kendaraan bermotor dibandingkan dengan metode investigasi forensik tradisional?

## **Batasan Masalah**

Untuk memfokuskan penelitian dan memastikan hasil yang optimal, beberapa batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem deteksi kecelakaan kendaraan bermotor menggunakan metode deep learning, khususnya dengan memanfaatkan data citra dari CCTV lalu lintas.
2. Sistem yang dikembangkan hanya melakukan deteksi dan klasifikasi kecelakaan, tidak termasuk prediksi atau pencegahan kecelakaan.
3. Evaluasi akurasi sistem akan dibandingkan dengan metode investigasi forensik tradisional yang umum digunakan di Indonesia.
4. Implementasi sistem terbatas pada lingkungan pengujian (test environment) dan tidak mencakup integrasi langsung dengan sistem keamanan lalu lintas yang ada.

## **Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem deteksi otomatis kecelakaan kendaraan bermotor menggunakan metode deep learning berbasis data citra CCTV.
2. Mengevaluasi akurasi sistem deep learning yang dikembangkan dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis-jenis kecelakaan kendaraan bermotor.

## **Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam bidang keselamatan lalu lintas dan investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses investigasi forensik kecelakaan lalu lintas melalui implementasi sistem deteksi otomatis berbasis deep learning.
2. Mempercepat waktu respons terhadap kecelakaan lalu lintas, sehingga dapat mengurangi risiko korban jiwa dan meningkatkan peluang penyelamatan.
3. Membuka peluang inovasi dan pengembangan teknologi baru dalam bidang keamanan lalu lintas dan sistem transportasi cerdas.

Dengan tercapainya manfaat-manfaat tersebut, diharapkan penelitian ini dapat berkontribusi pada peningkatan keselamatan lalu lintas dan efektivitas penanganan kecelakaan di Indonesia.

# **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

## **Penelitian Terkait**

Dalam upaya meningkatkan keselamatan lalu lintas, beberapa peneliti Indonesia telah melakukan studi terkait pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan untuk deteksi kecelakaan.

Penelitian terbaru oleh Alaydrus dan Santoso (2024) dari Universitas Mataram mengembangkan sistem deteksi kecelakaan yang mengimplementasikan algoritma YOLOv8 dan terintegrasi dengan sistem notifikasi otomatis melalui platform Telegram. Sistem ini mencapai mean Average Precision (mAP) sebesar 96.7% dalam mendeteksi kecelakaan lalu lintas dan memiliki kemampuan mengirim notifikasi real-time ke petugas terkait melalui Telegram bot, dengan rata-rata waktu respons 1.5 detik. Penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam kecepatan deteksi dan akurasi dibandingkan dengan versi YOLO sebelumnya.

Zebua dan Rosyani (2024) dari Universitas Budi Luhur melakukan penelitian tentang deteksi objek kendaraan bermotor menggunakan kombinasi metode Histogram of Oriented Gradients (HOG) dan Support Vector Machine (SVM) berbasis OpenCV Python. Sistem yang mereka kembangkan mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan kendaraan bermotor dengan akurasi mencapai 87.5%. Keunggulan dari pendekatan ini adalah kemampuannya dalam mengenali berbagai jenis kendaraan dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pandang. Sistem ini juga memiliki performa yang baik dalam hal kecepatan pemrosesan, dengan waktu deteksi rata-rata 0.05 detik per frame, membuatnya cocok untuk implementasi analisis lalu lintas secara real-time.

Rezky dkk. (2023) dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengembangkan sistem deteksi kecelakaan lalu lintas otomatis yang dikhususkan untuk kondisi jalan di Indonesia menggunakan rekaman CCTV. Penelitian ini mengimplementasikan metode deep learning dengan arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) yang dioptimasi untuk mendeteksi kecelakaan dalam berbagai kondisi lalu lintas Indonesia. Sistem yang dikembangkan mencapai akurasi sebesar 85.6% dalam mendeteksi kejadian kecelakaan dari rekaman CCTV dengan waktu pemrosesan rata-rata 0.08 detik per frame. Keunggulan dari sistem ini adalah kemampuannya untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi pencahayaan dan kepadatan lalu lintas yang umum ditemui di jalan raya Indonesia.

Pratama dan Wicaksono (2023) dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengembangkan sistem prediksi kecelakaan lalu lintas menggunakan ensemble learning dengan kombinasi Random Forest dan XGBoost, berhasil mencapai akurasi 92.3% dalam memprediksi tingkat keparahan kecelakaan berdasarkan berbagai faktor seperti kondisi jalan, cuaca, dan waktu kejadian. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Kusuma et al. (2023) dari Universitas Indonesia mengintegrasikan XGBoost dengan data real-time dari sensor IoT untuk sistem peringatan dini kecelakaan lalu lintas, mencapai akurasi prediksi 90.5% dengan lead time 15 menit sebelum potensi kejadian.

Penelitian Taufiq et al. (2022) dari Universitas Muhammadiyah Surakarta mengembangkan sistem deteksi golongan kendaraan pada gerbang tol menggunakan arsitektur YOLOv4. Sistem ini menggunakan Darknet-53 sebagai backbone network dan Cross Stage Partial Network (CSPNet) untuk ekstraksi fitur, dilengkapi dengan Spatial Pyramid Pooling (SPP) untuk meningkatkan receptive field dan Path Aggregation Network (PAN) untuk agregasi fitur multi-skala. Implementasi model berhasil mencapai mean Average Precision (mAP) sebesar 89.5% dalam klasifikasi 5 golongan kendaraan dengan waktu inferensi 0.03 detik per frame. Dalam proses training, model dilatih menggunakan dataset yang terdiri dari 2000 gambar kendaraan yang diambil dari CCTV gerbang tol dengan variasi waktu dan kondisi pencahayaan yang berbeda. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model memiliki performa yang stabil dalam berbagai kondisi pencahayaan dengan tingkat akurasi di atas 85% untuk setiap golongan kendaraan.

## **Landasan Teori**

Investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor menggunakan metode deep learning merupakan bidang yang menggabungkan beberapa konsep kunci dalam ilmu komputer dan analisis forensik. Berikut ini adalah landasan teori yang mendasari penelitian ini :

1. **Forensik Digital**

Forensik digital merupakan cabang ilmu forensik yang membahas pemulihan dan investigasi materi yang terkandung dalam perangkat digital, yang terkait dengan investigasi kecelakaan kendaraan bermotor (Prawiranegara & Kusuma, 2019). Dalam konteks investigasi kecelakaan, forensik digital berfokus pada analisis dan pemeriksaan bukti digital untuk merekonstruksi rangkaian kejadian yang mengakibatkan kecelakaan.

Data visual dari CCTV menyediakan rekaman kronologis kejadian secara real-time yang sangat berharga untuk investigasi. Rekaman ini mencakup timestamp yang akurat, sudut pandang yang konsisten, dan kemampuan untuk mengamati kondisi lalu lintas sebelum, selama, dan setelah kecelakaan. Selain itu, foto-foto digital dari lokasi kejadian memberikan detail tambahan tentang kerusakan kendaraan, posisi akhir, dan kondisi lingkungan yang mungkin berkontribusi pada kecelakaan.

Dalam proses investigasi, rekaman CCTV dan foto digital ini melalui serangkaian tahap analisis. Tahap pertama adalah akuisisi data, di mana rekaman CCTV diunduh dari DVR (Digital Video Recorder) dengan mempertahankan kualitas aslinya, sementara foto-foto digital dikumpulkan dengan metadata EXIF yang lengkap. Integritas data dijaga melalui prosedur chain of custody yang ketat untuk memastikan validitas bukti digital.

Tahap berikutnya adalah preprocessing data, di mana kualitas gambar dan video ditingkatkan untuk analisis yang lebih akurat. Proses ini mencakup perbaikan kontras, pengurangan noise, dan stabilisasi video jika diperlukan. Dalam kasus rekaman CCTV dengan resolusi rendah atau kondisi pencahayaan yang buruk, teknik enhancement khusus diterapkan untuk mengoptimalkan visibilitas objek-objek penting.

1. **Kecelakaan Bermotor**

Kecelakaan lalu lintas, sebagaimana didefinisikan dalam Pasal 1 angka 24 UU Nomor 22 Tahun 2009, merupakan peristiwa tidak terduga dan tidak disengaja di jalan yang melibatkan kendaraan dengan atau tanpa pengguna jalan lain, yang mengakibatkan korban manusia dan/atau kerugian harta benda. Definisi ini mencakup berbagai bentuk tabrakan atau benturan antara kendaraan bermotor dengan kendaraan lain atau pejalan kaki yang mengakibatkan kerusakan (Triana & Enri, 2022).

1. Definisi dan Konsep Dasar Kendaraan Bermotor

Kendaraan merupakan perpanjangan kemampuan manusia untuk berpindah dan menjelajah, memungkinkan manusia mengatasi keterbatasan fisik dalam hal jarak dan kecepatan. Lebih dari sekadar alat transportasi, kendaraan mencerminkan perkembangan teknologi dan budaya masyarakat, yang terus berevolusi seiring perubahan kebutuhan dan nilai-nilai manusia.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, kendaraan diklasifikasikan menjadi dua kategori utama:

a. Kendaraan bermotor: setiap kendaraan yang digerakkan oleh peralatan mekanik berupa mesin selain kendaraan yang berjalan di atas rel.

b. Kendaraan tidak bermotor: setiap kendaraan yang digerakkan oleh tenaga manusia dan/atau hewan (Amwin, 2021).

3. Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan

Kecelakaan lalu lintas merupakan hasil dari interaksi kompleks berbagai faktor yang saling berkaitan. Faktor manusia menjadi penyebab dominan dalam mayoritas kasus kecelakaan lalu lintas. Kelelahan dan penurunan konsentrasi saat mengemudi sering kali menjadi awal dari rangkaian kejadian yang berujung pada kecelakaan. Pengemudi yang lelah cenderung memiliki waktu reaksi yang lebih lambat dan kemampuan pengambilan keputusan yang menurun. Situasi ini diperparah ketika pengemudi melakukan pelanggaran aturan lalu lintas atau terdistraksi oleh penggunaan alat komunikasi saat berkendara. Kondisi kesehatan pengemudi juga berperan penting, dimana gangguan kesehatan mendadak seperti serangan jantung atau stroke dapat menyebabkan pengemudi kehilangan kendali atas kendaraannya. Tingkat pengalaman dan kemampuan mengemudi yang berbeda-beda antar pengguna jalan turut berkontribusi pada risiko kecelakaan, terutama dalam situasi yang membutuhkan pengambilan keputusan cepat atau manuver darurat.

Kondisi kendaraan merupakan faktor teknis yang tidak kalah pentingnya dalam rantai penyebab kecelakaan. Sistem pengereman yang tidak berfungsi optimal dapat memperpanjang jarak pengereman dan mengurangi kemampuan kendaraan untuk menghindari tabrakan. Keadaan ban yang sudah aus atau tidak sesuai spesifikasi mempengaruhi daya cengkeram kendaraan terhadap permukaan jalan, terutama dalam kondisi basah atau licin. Sistem suspensi yang rusak tidak hanya mengurangi kenyamanan berkendara tetapi juga mempengaruhi stabilitas kendaraan saat bermanuver. Fungsi lampu dan sistem penerangan yang tidak memadai meningkatkan risiko kecelakaan pada malam hari atau kondisi cuaca buruk. Performa mesin dan transmisi yang tidak optimal dapat menyebabkan kendaraan kehilangan tenaga pada saat-saat kritis, seperti ketika mendaki atau melakukan percepatan untuk menghindari bahaya.

Faktor lingkungan memiliki pengaruh signifikan terhadap terjadinya kecelakaan lalu lintas. Kondisi cuaca yang buruk seperti hujan lebat atau kabut tebal secara drastis mengurangi jarak pandang pengemudi dan mengubah karakteristik permukaan jalan. Keadaan permukaan jalan yang berlubang, bergelombang, atau licin akibat genangan air atau tumpahan oli menciptakan situasi berbahaya bagi pengendara. Geometri dan desain jalan yang tidak sesuai standar, seperti tikungan tajam tanpa peringatan yang memadai atau tanjakan curam tanpa jalur khusus, meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan. Rambu dan marka jalan yang tidak jelas atau tertutup vegetasi mengurangi kemampuan pengemudi untuk mengantisipasi kondisi jalan di depan. Pencahayaan jalan yang kurang memadai pada malam hari membuat pengemudi kesulitan mengidentifikasi objek atau bahaya di jalan.

Pemahaman mendalam tentang interaksi antar faktor-faktor ini menjadi kunci dalam pengembangan sistem pencegahan kecelakaan yang efektif. Pendekatan holistik yang mempertimbangkan semua aspek ini diperlukan dalam merancang solusi keselamatan lalu lintas, termasuk implementasi teknologi modern seperti sistem deteksi berbasis deep learning yang dapat memantau dan menganalisis kondisi lalu lintas secara real-time untuk mengidentifikasi potensi bahaya sebelum terjadi kecelakaan.

1. **Image Procesing**

Citra merupakan representasi visual dari suatu objek pada bidang dua dimensi. Dalam konteks pengolahan citra, dikenal dua jenis citra yang fundamental: citra kontinu dan citra digital. Citra kontinu dihasilkan oleh sistem optik yang menerima sinyal analog, seperti mata manusia dan kamera analog, memberikan representasi yang menerus (continuous) dari objek atau pemandangan. Sementara itu, citra digital merupakan hasil digitalisasi dari citra kontinu, yang terdiri dari kumpulan piksel-piksel diskrit yang dapat diproses oleh komputer (Pratama et al., 2024).

Dalam konteks investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor, pengolahan citra digital memegang peranan vital dalam menganalisis bukti visual dari rekaman CCTV dan foto kejadian. Proses digitalisasi memungkinkan penerapan berbagai teknik analisis canggih untuk mengekstrak informasi penting dari bukti visual tersebut, seperti posisi kendaraan, kecepatan, dan pola tabrakan.

1. **Deep Learning**

Deep Learning merupakan teknologi kecerdasan buatan yang meniru cara kerja otak manusia dengan menggunakan lapisan-lapisan jaringan saraf tiruan yang saling terhubung untuk memproses dan memahami informasi secara mendalam. Dalam penerapannya, teknologi ini mampu melakukan pembelajaran secara mandiri dari data yang diberikan untuk menemukan pola-pola kompleks yang sulit diidentifikasi oleh metode konvensional.

Menurut penelitian Amwin (2021), deep learning bekerja dengan prinsip hierarki pembelajaran, di mana konsep-konsep rumit dipecah menjadi konsep yang lebih sederhana dan dipelajari secara bertahap melalui berbagai lapisan pemrosesan. Pendekatan bertingkat ini memungkinkan sistem untuk membangun pemahaman yang komprehensif terhadap data yang dianalisis.

Keunggulan utama deep learning terletak pada kemampuannya dalam mengolah data yang bersifat non-linear. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Hanafi (2020), teknologi ini dapat mentransformasi data yang sulit dipisahkan secara linear menjadi bentuk yang dapat dipisahkan melalui serangkaian proses di lapisan tersembunyi. Proses ini memungkinkan sistem untuk menemukan batasan keputusan yang kompleks dan memahami interaksi rumit antar fitur dalam data.

Deep Learning merupakan evolusi dari jaringan saraf tiruan tradisional dengan peningkatan signifikan pada jumlah lapisan dan kompleksitas koneksi antar neuron. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk mengenali pola-pola tersembunyi yang tidak dapat dideteksi oleh sistem neural network sederhana. Dalam prosesnya, deep learning menggunakan metode pembelajaran balik (back propagation) untuk terus menyempurnakan akurasi prediksinya berdasarkan hasil analisis sebelumnya.

1. **Yolo**

You Only Look Once (YOLO) merupakan salah satu metode dalam bidang deep learning yang digunakan untuk deteksi objek secara real-time dan berbasis pada arsitektur jaringan syaraf tiruan Convolutional Neural Network (CNN). Berbeda dengan metode lain yang biasanya membagi proses deteksi menjadi dua tahap, yaitu ekstraksi fitur dan prediksi, YOLO menggabungkan kedua tahap tersebut dalam satu jaringan tunggal. YOLO menggunakan fitur dari keseluruhan gambar untuk memprediksi bounding box, yaitu kotak pembatas, dan probabilitas kelas secara langsung dalam satu evaluasi. Pendekatan ini memungkinkan YOLO untuk mencapai kecepatan tinggi dalam melakukan deteksi objek pada citra maupun video (Amwin, 2021). juga memiliki berbagai versi dengan perbaikan pada arsitektur CNN-nya, salah satunya adalah YOLOv8. Pada versi ini, YOLO memecah gambar menjadi grid yang biasanya memiliki dimensi 7x7 atau 13x13. Setiap sel dalam grid bertugas untuk memprediksi beberapa bounding box, yang terdiri dari lima elemen utama: koordinat titik tengah (x, y), lebar dan tinggi bounding box, skor kepercayaan yang menunjukkan keberadaan objek dalam bounding box, dan probabilitas kelas yang menunjukkan kemungkinan keberadaan setiap kelas dalam bounding box tersebut (Sandler et al., 2018).

Proses YOLO terdiri dari tiga tahap utama. Tahapan pertama adalah membagi citra menjadi grid. Kedua, setiap sel pada grid memprediksi bounding box dan skor kepercayaan. Ketiga, prediksi tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kelas objek di dalam bounding box. (Ramadhani et al., 2024).

1. Membagi Citra Menjadi Grid Pada tahap pertama, YOLO membagi citra input menjadi grid berukuran S×S, di mana setiap sel dalam grid bertanggung jawab untuk mendeteksi keberadaan objek pada bagian citra yang sesuai. Grid ini memecah citra menjadi beberapa area kecil, memungkinkan YOLO untuk mendeteksi objek secara paralel di seluruh citra. Pendekatan ini membantu YOLO melakukan deteksi beberapa objek sekaligus dengan efisiensi yang tinggi.

2. Prediksi Bounding Box dan Skor Kepercayaan : Setelah pembagian grid, setiap sel dalam grid memprediksi bounding box yang mencakup lima parameter: 𝑥 dan 𝑦 sebagai titik tengah bounding box, lebar 𝑤, tinggi ℎ, dan skor kepercayaan 𝑐. Skor kepercayaan ini dihitung berdasarkan probabilitas keberadaan objek serta nilai Intersection Over Union (IOU) antara bounding box prediksi dan ground truth. IOU mengukur tingkat tumpang tindih antara bounding box prediksi dengan kotak sebenarnya (ground truth) menggunakan rumus berikut:

(2.1)

Semakin tinggi nilai IOU, semakin akurat bounding box dalam mendeteksi objek. Skor kepercayaan atau confidence score selanjutnya dihitung dengan rumus:

(2.2)

Di sini, 𝑃𝑟 (Class) Pr (Class) menunjukkan probabilitas bahwa objek tertentu ada di dalam wilayah tersebut.

3. Penentuan Kelas Objek dalam Bounding Box : Pada tahap akhir, prediksi yang dihasilkan dari setiap bounding box digunakan untuk menentukan kelas objek yang berada di dalamnya. Setiap bounding box yang memiliki nilai confidence tinggi akan dianalisis lebih lanjut untuk menentukan kelas objek yang sesuai. Dengan pendekatan ini, YOLO menghasilkan identifikasi objek yang lebih spesifik, sekaligus mempertahankan efisiensi deteksi objek dalam waktu nyata.

(2.3)

Tahapan deteksi objek menggunakan algoritma YOLO, ditampilkan pada diagram alir gambar 1. Adapun Tahapan pada metode Yolo ini adalah dimulai dari start, kemudian data akan dilakukan proses preprocessing, kemudian data yang dalam bentuk citra akan di bagi menjadi grid dengan ukuran S x S. Lalu akan dilakukan prediksi bounding Box. Kemudian akan masuk pada proses convolutional layer dan mulai melakukan perhitungan IOU. Setelah itu akan masuk ke proses NonMax Supression dan dilakukan proses perhitunggan Los. Bila Perhitungan Los menghasilkan hasil konvergen, maka akan dilakukan proses deteksi terhadap objek yang di tampilkan. Kemudian dilakukan evaluasi terhadap hasil dari proses deteksi objek. Namun bila tidak konvergen, maka akan kembali pada proses membagi citra menjadi grid dengan ukuran S x S hingga hasil menunjukkan hasil yang konvergen.

# **BAB III METODE PENELITIAN**

## **Analisis Sistem Sebelumnya**

Sebelum adanya implementasi teknologi deep learning berbasis CCTV, sistem investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor yang digunakan di Indonesia masih mengandalkan metode tradisional yang memiliki beberapa keterbatasan. Proses investigasi pada sistem sebelumnya berfokus pada pengamatan langsung oleh petugas kepolisian di lokasi kejadian.

Pada tahap awal, petugas melakukan dokumentasi visual dengan mengambil foto dan video, serta melakukan pengukuran manual terkait jarak dan posisi kendaraan yang terlibat dalam kecelakaan. Meskipun metode ini menjadi dasar bagi investigasi, keberhasilannya sangat bergantung pada ketelitian dan pengalaman petugas. Hal ini dapat menyebabkan variasi dalam kualitas investigasi yang dilakukan.

Selanjutnya, pengumpulan bukti fisik menjadi tahap penting dalam sistem sebelumnya. Petugas mengambil sampel material seperti serpihan kaca, cat, atau jejak ban, serta melakukan pemeriksaan kerusakan pada kendaraan yang terlibat. Sayangnya, proses ini membutuhkan waktu yang cukup lama dan sering menghadapi kendala, terutama jika kecelakaan terjadi pada malam hari atau dalam kondisi cuaca buruk. Keterbatasan ini dapat menyebabkan hilangnya bukti penting atau ketidakakuratan dalam pengumpulan data.

Selain itu, wawancara saksi mata dan pihak yang terlibat juga menjadi sumber informasi utama dalam sistem sebelumnya. Petugas mencatat hasil wawancara secara manual. Metode ini rentan terhadap bias dan ketidakakuratan karena bergantung pada ingatan dan persepsi manusia. Proses pencatatan manual juga berisiko menyebabkan hilangnya detail penting atau kesalahan interpretasi.

Pada tahap analisis rekonstruksi, sistem sebelumnya melibatkan pembuatan sketsa dan diagram lokasi kecelakaan, serta perhitungan manual untuk estimasi kecepatan dan arah tabrakan. Proses ini memakan waktu yang signifikan dan sangat bergantung pada keterampilan serta pengalaman petugas. Keterbatasan ini dapat menyebabkan variasi dalam hasil analisis dan potensi kesalahan dalam penentuan penyebab kecelakaan.

Tahap akhir dari sistem sebelumnya adalah pelaporan, di mana petugas menyusun laporan tertulis yang menggabungkan semua informasi yang dikumpulkan. Sayangnya, proses ini sering kali memakan waktu lama dan dapat menyebabkan keterlambatan dalam penyelesaian kasus. Selain itu, kurangnya standardisasi dalam format pelaporan dapat menyulitkan analisis komparatif dan identifikasi pola kecelakaan dalam skala yang lebih besar.

## **Masalah yang Dihadapi**

Berdasarkan analisis sistem investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor yang digunakan sebelumnya, terdapat beberapa masalah signifikan yang perlu diatasi. Pertama, ketergantungan pada pengamatan dan interpretasi manusia menyebabkan potensi kesalahan yang tinggi. Petugas kepolisian yang melakukan investigasi di lapangan memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan dan akurasi pengamatan, terutama dalam situasi yang kompleks atau dalam kondisi cuaca buruk. Hal ini dapat mengakibatkan hilangnya bukti penting atau kesalahan dalam interpretasi scene kecelakaan, yang pada akhirnya mempengaruhi keakuratan hasil investigasi.

Kedua, proses pengumpulan dan analisis data yang manual membutuhkan waktu yang sangat lama. Petugas harus melakukan pengukuran fisik, pengambilan sampel, dan pencatatan secara manual, yang tidak hanya memakan waktu tetapi juga rentan terhadap kesalahan. Keterlambatan dalam proses ini dapat menyebabkan penundaan dalam penanganan korban, pembersihan lokasi kecelakaan, dan penyelesaian kasus secara keseluruhan. Akibatnya, terjadi kemacetan lalu lintas yang berkepanjangan dan potensi kecelakaan sekunder meningkat.

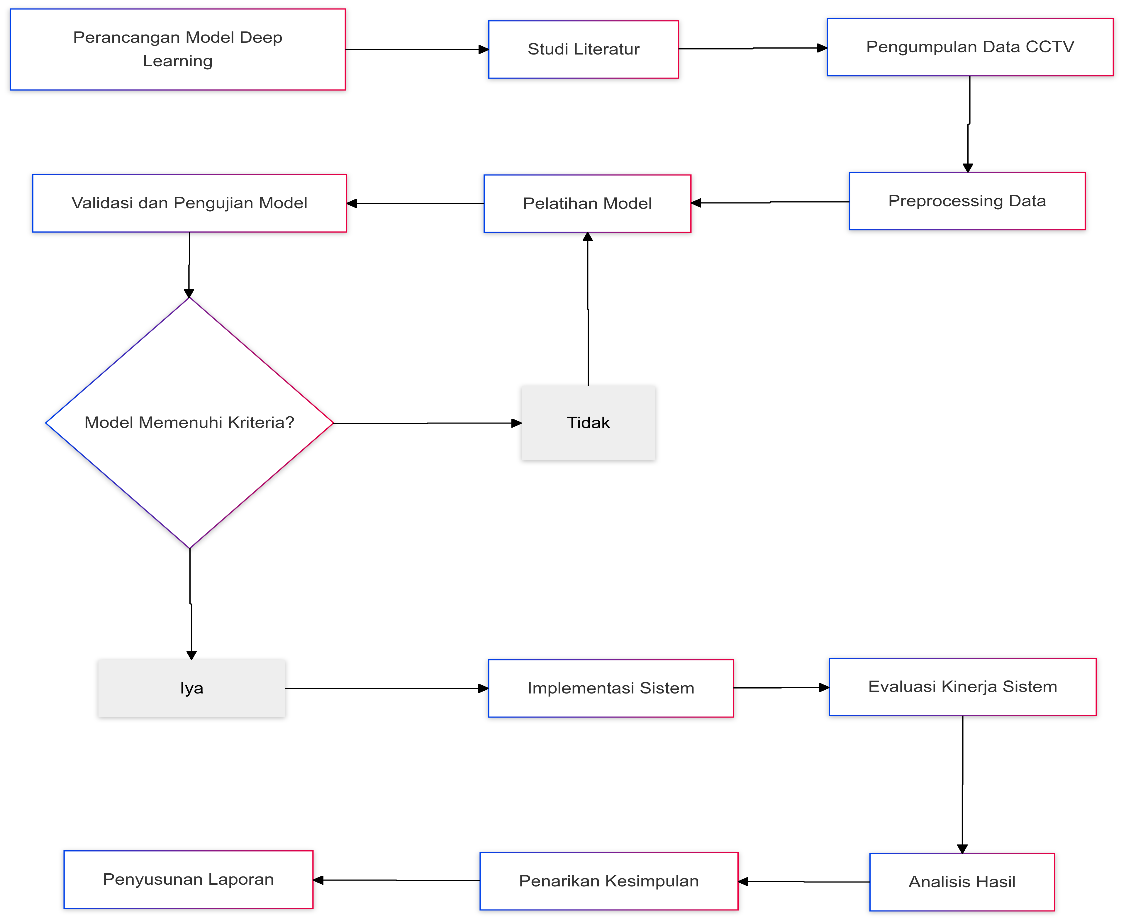
Ketiga, variabilitas dalam kualitas investigasi menjadi masalah serius. Perbedaan tingkat pengalaman dan keahlian antar petugas dapat menghasilkan inkonsistensi dalam pengumpulan bukti dan analisis. Hal ini menyebabkan ketidakseragaman dalam pelaporan dan kesulitan dalam melakukan analisis komparatif antar kasus kecelakaan. Akibatnya, upaya untuk mengidentifikasi pola kecelakaan dan mengembangkan strategi pencegahan yang efektif menjadi terhambat.

Keempat, keterbatasan dalam analisis retrospektif dan prediktif merupakan masalah yang signifikan. Sistem sebelumnya tidak memungkinkan analisis data kecelakaan dalam skala besar dan jangka panjang secara efisien. Hal ini menghambat kemampuan otoritas terkait untuk mengidentifikasi tren kecelakaan, lokasi rawan kecelakaan, dan faktor-faktor risiko yang berkontribusi terhadap tingginya angka kecelakaan. Akibatnya, upaya pencegahan dan peningkatan keselamatan lalu lintas menjadi kurang efektif dan tidak tepat sasaran.

Kelima, kurangnya integrasi data antar instansi terkait menyebabkan kesulitan dalam koordinasi dan pengambilan keputusan yang komprehensif. Informasi kecelakaan yang terfragmentasi antara kepolisian, rumah sakit, dan instansi terkait lainnya mengakibatkan ketidakefisienan dalam penanganan kecelakaan dan tindak lanjut pasca kecelakaan. Hal ini berdampak pada lambatnya proses klaim asuransi, penyelesaian kasus hukum, dan implementasi kebijakan keselamatan lalu lintas yang berbasis bukti.

## **Diagram Rancangan Penelitian**

Diagram di bawah menggambarkan alur penelitian yang akan dilakukan. Penelitian dimulai dengan studi literatur untuk membangun landasan teoretis yang kuat. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data CCTV yang akan menjadi bahan utama untuk pelatihan model deep learning.



*Gambar 3.1 diagram rancangan penelitian*

Tahap preprocessing data melibatkan pembersihan dan persiapan data agar siap digunakan dalam pelatihan model. Perancangan model deep learning merupakan tahap krusial di mana arsitektur jaringan saraf tiruan dirancang sesuai dengan kebutuhan deteksi kecelakaan.

Setelah model dirancang, dilakukan pelatihan menggunakan dataset yang telah disiapkan. Model yang telah dilatih kemudian divalidasi dan diuji untuk memastikan kinerjanya memenuhi kriteria yang ditetapkan. Jika kriteria belum terpenuhi, proses kembali ke tahap perancangan model untuk penyesuaian.

Implementasi sistem dilakukan setelah model memenuhi kriteria kinerja yang diharapkan. Sistem yang telah diimplementasikan kemudian dievaluasi kinerjanya dalam kondisi nyata. Hasil evaluasi dianalisis secara mendalam untuk memahami efektivitas sistem dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan kecelakaan.

Akhirnya, kesimpulan ditarik berdasarkan analisis hasil, dan seluruh proses serta temuan penelitian didokumentasikan dalam laporan akhir. Diagram ini memberikan gambaran yang jelas tentang alur penelitian dan membantu dalam perencanaan serta pelaksanaan setiap tahapan secara sistematis.

## **Analisis Kebutuhan**

Dalam mengembangkan sistem investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor menggunakan metode deep learning, ada beberapa kebutuhan utama yang perlu diidentifikasi. Analisis kebutuhan ini mencakup data, perangkat keras, perangkat lunak, sumber daya manusia, dan integrasi dengan sistem yang ada.

Pertama, data adalah komponen krusial. Diperlukan dataset video CCTV kecelakaan lalu lintas dengan jumlah minimal 5.000 sampel, yang mencakup berbagai skenario dalam kondisi cuaca dan pencahayaan yang berbeda. Data ini harus dilabeli dengan informasi tentang jenis kecelakaan, lokasi, dan tingkat keparahan. Selain itu, data non-kecelakaan juga dibutuhkan untuk pelatihan model.

Dari sisi perangkat keras, server dengan spesifikasi yang cukup memadai dapat digunakan, seperti prosesor Intel Core i7 atau AMD Ryzen 7, 32GB RAM, dan GPU NVIDIA GTX 1080 atau yang setara. Penyimpanan data dapat menggunakan HDD eksternal dengan kapasitas 5TB. Koneksi internet dengan bandwidth 100Mbps juga diperlukan.

Untuk perangkat lunak, framework deep learning seperti TensorFlow atau PyTorch dapat dipilih. Sistem operasi Windows 10 atau Ubuntu 18.04 LTS dapat digunakan. Perangkat lunak tambahan seperti OpenCV, PostgreSQL, dan Docker juga diperlukan. Untuk antarmuka pengguna, framework web seperti React atau Vue.js dapat dipertimbangkan.

Terakhir, integrasi dengan sistem CCTV lalu lintas dan database kepolisian diperlukan. Kerja sama antar instansi terkait dan protokol pertukaran data yang aman harus dibangun.

Dengan memenuhi kebutuhan-kebutuhan ini, pengembangan sistem investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor dapat dilakukan dengan spesifikasi yang lebih sederhana. Meskipun tidak sekompleks spesifikasi maksimal, sistem ini masih dapat memberikan manfaat signifikan dalam meningkatkan keselamatan lalu lintas.

## **Perancangan**

Perancangan sistem investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor menggunakan metode deep learning merupakan tahap kritis dalam penelitian ini. Proses perancangan meliputi desain arsitektur sistem, pemilihan algoritma deep learning yang sesuai, serta perencanaan pengumpulan dan pra-pemrosesan data. Tujuan utama dari tahap perancangan ini adalah untuk menciptakan sistem yang mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan kecelakaan lalu lintas secara akurat dan real-time berdasarkan data citra CCTV.

### **Perancangan Sistem**

Sistem yang dirancang terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk melakukan investigasi forensik pada kecelakaan kendaraan bermotor. Komponen-komponen tersebut meliputi modul akuisisi data CCTV, pra-pemrosesan citra, deteksi dan klasifikasi kecelakaan menggunakan YOLOv5, dan modul analisis forensik. Arsitektur sistem dirancang dengan mempertimbangkan aspek skalabilitas dan efisiensi komputasi untuk memungkinkan implementasi pada berbagai skala infrastruktur.

Modul akuisisi data CCTV dirancang untuk dapat mengambil dan menyimpan stream video dari multiple kamera CCTV secara simultan. Sistem menggunakan protokol RTSP (Real Time Streaming Protocol) untuk mengakses feed CCTV dan OpenCV untuk pemrosesan frame. Data video yang diakuisisi akan disimpan dalam format yang terstruktur untuk memudahkan proses analisis selanjutnya. Sistem juga dilengkapi dengan mekanisme buffering untuk menangani aliran data yang besar.

Tahap pra-pemrosesan citra melibatkan serangkaian operasi untuk meningkatkan kualitas input sebelum diproses oleh model deep learning. Operasi-operasi ini mencakup normalisasi ukuran frame ke dimensi standar 640x640 pixel sesuai dengan kebutuhan YOLOv5, penyesuaian kontras menggunakan teknik adaptive histogram equalization, dan penghapusan noise menggunakan Gaussian blur. Proses ini penting untuk memastikan konsistensi dan kualitas input yang optimal.

Deteksi dan klasifikasi menggunakan YOLOv5 diimplementasikan sebagai komponen inti sistem. Model YOLOv5 dipilih karena menawarkan keseimbangan yang baik antara akurasi dan kecepatan inferensi, yang crucial untuk aplikasi real-time. Model ini dilatih secara khusus untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai kondisi kecelakaan lalu lintas, termasuk: Kendaraan dalam kondisi normal (mobil, motor, truk), Kendaraan dalam kondisi kecelakaan (tabrakan, terbalik), Objek-objek hasil kecelakaan (serpihan kendaraan, pecahan kaca), Posisi tidak normal kendaraan (miring, terguling), Kondisi korban kecelakaan

Output dari YOLOv5 secara langsung memberikan informasi tentang lokasi, jenis, dan tingkat keyakinan dari setiap deteksi kecelakaan yang teridentifikasi, yang kemudian akan digunakan untuk analisis forensik lebih lanjut.

### **Evaluasi Model YOLO**

Dataset yang digunakan dalam evaluasi model YOLO terdiri dari kumpulan gambar kecelakaan kendaraan bermotor yang telah dilabel secara manual. Pembagian dataset dilakukan dengan proporsi sebagai berikut:

*Tabel 3.5 Pembagian Dataset*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Jenis Data** | **Persentase** | **Keterangan** |
| Training | 70% | Data yang digunakan untuk melatih model |
| Validasi | 15% | Data untuk validasi selama proses training |
| Testing | 15% | Data untuk evaluasi final model |

Dataset mencakup berbagai kondisi pengambilan gambar: Variasi pencahayaan (siang dan malam), Variasi cuaca, Variasi sudut pengambilan gambar, Variasi jenis dan tingkat kerusakan kendaraan. Untuk mengukur performa model YOLO dalam investigasi forensik kecelakaan kendaraan bermotor, digunakan beberapa metrik evaluasi sebagai berikut:

1. **Mean Average Precision (mAP)** Mean Average Precision menjadi metrik utama yang menggambarkan akurasi model secara keseluruhan. Metrik ini dihitung dengan mengintegrasikan nilai precision terhadap recall untuk setiap kelas objek yang dideteksi. Formulasinya adalah:

(3.1)

Dimana:

AP = ∫ P(R)dR

P = Precision

R = Recall

N = jumlah kelas

Dalam konteks ini, P melambangkan precision, R merepresentasikan recall, dan N menunjukkan jumlah kelas yang dideteksi. Semakin tinggi nilai mAP, semakin akurat model dalam mendeteksi kecelakaan.

1. **Intersection over Union (IoU)** IoU menjadi parameter penting yang mengukur seberapa tepat model dalam menempatkan bounding box di sekitar area kecelakaan. Perhitungannya melibatkan rasio antara area overlap dan area union dari predicted box dan ground truth box:

(3.2)

Area of Overlap = Area perpotongan antara predicted box dan ground truth box

Area of Union = Total area yang dicakup oleh kedua box

Dalam implementasinya, threshold IoU ditetapkan pada nilai 0.5, yang berarti prediksi dianggap benar jika overlap minimal mencapai 50%.

1. **Precision dan Recall** Kedua metrik ini bekerja beriringan dalam mengevaluasi akurasi deteksi:

(3.3) (3.4)

Dimana:

TP (True Positive): Deteksi benar

FP (False Positive): Deteksi salah

FN (False Negative): Objek tidak terdeteksi

True Positive (TP) menandakan keberhasilan model dalam mendeteksi kecelakaan, False Positive (FP) mengindikasikan kesalahan deteksi, dan False Negative (FN) menunjukkan kasus kecelakaan yang tidak terdeteksi.

4. **F1-Score** Sebagai harmonisasi antara precision dan recall, F1-Score memberikan nilai tunggal yang merepresentasikan keseimbangan kedua metrik tersebut:

(3.5)

Untuk memastikan evaluasi yang konsisten dan optimal, beberapa parameter kunci ditetapkan dengan cermat:

1. Threshold Detection:

* 1. IoU threshold diatur pada 0.5, menetapkan standar minimum overlap yang diterima
  2. Confidence threshold sebesar 0.25 memastikan keseimbangan antara sensitivitas dan spesifisitas deteksi
  3. Non-maximum suppression threshold 0.45 membantu mengeliminasi deteksi ganda

2. Pengaturan Model:

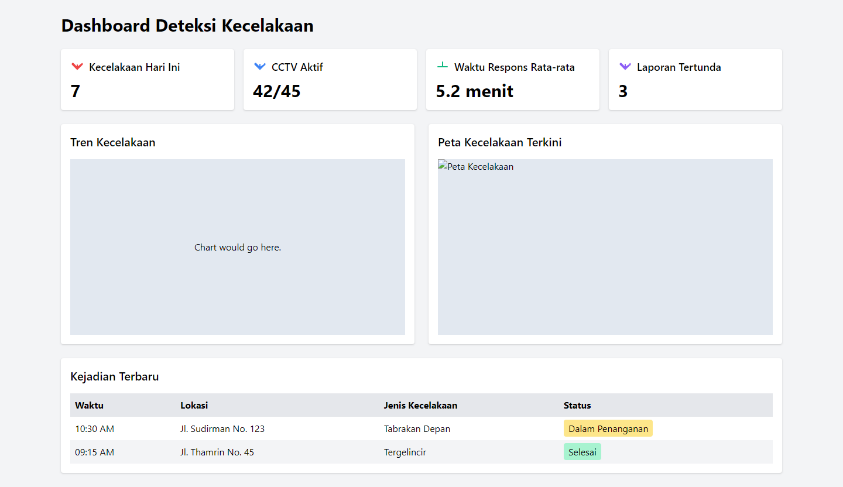
* + - 1. Batch size 16 dipilih untuk mengoptimalkan proses pembelajaran
      2. Learning rate 0.001 memastikan konvergensi yang stabil
      3. Momentum 0.937 membantu model melewati local minima
      4. Weight decay 0.0005 mencegah overfitting

Proses evaluasi dilakukan secara berkelanjutan pada setiap tahap pelatihan, dengan model terbaik dipilih berdasarkan tingkat akurasi deteksi pada dataset validasi. Pemilihan model final didasarkan pada tingkat ketepatan deteksi tertinggi, dimana model harus mampu mengenali minimal 50% area kecelakaan dengan benar. Hal ini memastikan bahwa model yang diimplementasikan memiliki kemampuan deteksi yang optimal untuk analisis forensik kecelakaan kendaraan bermotor.

### **Perancangan Antar Muka**

Dalam upaya mengoptimalkan analisis forensik kecelakaan kendaraan bermotor menggunakan metode Deep Learning dengan YOLOv5 pada CCTV, perancangan antarmuka sistem menjadi salah satu aspek vital yang memerlukan perhatian khusus. Sistem ini dibangun dengan pendekatan yang mengutamakan kemudahan penggunaan sambil tetap mempertahankan kompleksitas fitur yang dibutuhkan untuk analisis forensik mendalam.

Di jantung sistem ini, Dashboard Utama hadir sebagai sentral informasi yang menghadirkan panorama komprehensif tentang situasi terkini. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.5, dashboard ini menampilkan empat indikator kunci yang menjadi nafas dari pemantauan real-time. Angka 7 kecelakaan yang tercatat hari ini memberikan gambaran langsung tentang situasi di lapangan. Status 42 dari 45 CCTV yang aktif memastikan cakupan pengawasan yang optimal, sementara waktu respons rata-rata 5.2 menit mencerminkan kecepatan penanganan yang konsisten. Tiga laporan yang tertunda menunggu untuk ditindaklanjuti, memastikan tidak ada kejadian yang luput dari analisis forensik.



*Gambar 3.5 Dashboard Utama Sistem Deteksi Kecelakaan*

Memasuki bagian tengah dashboard, kita dihadapkan pada dua elemen visual yang saling melengkapi. Di sisi kiri, grafik tren kecelakaan bercerita tentang pola waktu, mengungkap ritme naik-turunnya insiden yang dapat membantu dalam antisipasi kejadian mendatang. Di sisi kanan, peta interaktif menjadi saksi geografis, menandai titik-titik kejadian dengan presisi yang memudahkan koordinasi penanganan. Di bagian bawah, daftar kejadian terbaru mengalir bagai ticker berita, menampilkan waktu, lokasi, jenis kecelakaan, dan status penanganan yang ditandai dengan warna intuitif.

Melangkah lebih dalam, Halaman Monitoring CCTV menjadi ruang kendali digital yang menghadirkan aliran video langsung dari berbagai titik pemantauan. Di sini, operator dapat dengan mudah beralih antar kamera, seolah memindahkan pandangan dari satu sudut jalan ke sudut lainnya. Model YOLOv5 yang terintegrasi secara real-time menganalisis setiap frame, mengidentifikasi dan mengklasifikasikan potensi kejadian kecelakaan dengan presisi tinggi.

Ketika sebuah kejadian terdeteksi, Halaman Deteksi dan Analisis menjadi pusat investigasi forensik digital. Layaknya seorang detektif yang mengurai bukti, sistem Deep Learning menganalisis setiap detail kejadian, menghasilkan klasifikasi yang akurat tentang jenis kecelakaan dan tingkat keparahannya. Model YOLOv5 memberikan visualisasi bounding box yang presisi, membantu investigator memahami dinamika kejadian dengan lebih baik, sementara form validasi memungkinkan input pengalaman manusia untuk memperkaya analisis sistem.

Untuk keperluan evaluasi jangka panjang, Halaman Laporan dan Statistik hadir sebagai perpustakaan digital yang menyimpan jejak setiap kejadian. Di sini, data hasil analisis YOLOv5 ditransformasi menjadi wawasan bermakna melalui berbagai visualisasi interaktif. Heat map memperlihatkan titik-titik rawan kecelakaan, sementara grafik tren membantu mengidentifikasi pola temporal yang mungkin luput dari pengamatan sehari-hari.

Semua komponen ini diatur melalui Halaman Konfigurasi yang menjadi ruang kendali utama sistem. Di sinilah administrator dapat menyetel berbagai parameter model Deep Learning, mengoptimalkan performa YOLOv5, mengatur hak akses pengguna, dan memastikan sistem berjalan optimal. Antarmuka yang intuitif memudahkan penyesuaian berbagai aspek sistem tanpa perlu pemahaman teknis yang mendalam tentang arsitektur Deep Learning yang digunakan.

Keseluruhan sistem diimplementasikan menggunakan teknologi web modern yang responsif, memastikan akses yang mulus dari berbagai perangkat. React.js dan Tailwind CSS bekerja sama menciptakan pengalaman pengguna yang mulus dan konsisten, sementara sistem notifikasi real-time memastikan setiap kejadian penting segera mendapat perhatian untuk analisis forensik yang tepat waktu.

Melalui perancangan antarmuka yang matang ini, sistem analisis forensik kecelakaan berbasis Deep Learning dengan YOLOv5 tidak hanya menjadi alat pemantau pasif, tetapi berkembang menjadi asisten aktif dalam upaya meningkatkan keselamatan lalu lintas di Indonesia. Setiap komponen dirancang dengan pemahaman mendalam tentang kebutuhan investigasi forensik, menciptakan sistem yang tidak hanya canggih dalam implementasi Deep Learning, tetapi juga efektif dalam mendukung analisis forensik kecelakaan kendaraan bermotor sehari-hari.

# **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

## **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx**

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

## **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx**

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

## **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx**

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

## **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx**

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

## **Xxxxxxxx Xxxxxxxx Xxxxxxxx**

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

# **BAB V PENUTUP**

## **Simpulan**

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx

1. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxx
2. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxx
3. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxx
4. Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxx

## **Saran**

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

Xxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxxxx xx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx xxxx xxxxxxxxx xxx xxxxxx xxxxxxxxx xx xxxxxxxxxx xxxxxxxx xxxxx xxxxxx

# **DAFTAR PUSTAKA**

Alaydrus, S. A. H. A. M., & Santoso, B. (2024). PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI KECELAKAAN DI JALAN RAYA MENGGUNAKAN ALGORITMA YOLOv8 DAN NOTIFIKASI OTOMATIS MELALUI TELEGRAM. The Indonesian Journal of Computer Science, 13(4).

Zebua, E. T. P., & Rosyani, P. (2024). Perancangan Deteksi Objek Kendaraan Bermotor Berbasis OpenCV Python menggunakan Metode HOG-SVM untuk Analisis Lalu Lintas Cerdas. AI dan SPK: Jurnal Artificial Intelligent dan Sistem Penunjang Keputusan, 2(1), 16-26.

Rezky, A., Bagir, A., Pamerean, D., & Makhrus, F. (2023). Deteksi Kecelakaan Lalu Lintas Otomatis Pada Rekaman CCTV Indonesia Menggunakan Deep Learning. Buletin Pagelaran Mahasiswa Nasional Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi, 1(1), 1-5.

Alkaff, M., Baskara, A., & Ainiyyah, A. (2023). Penerapan Metode XGBoost Untuk Memprediksi Jumlah Kejadian Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Banjarmasin. Generation Journal, 7(1).

Taufiq, R. M., Rizki, Y., & Pratama, M. R. A. (2022). Simulasi Deteksi Golongan Kendaraan pada Gerbang Tol Menggunakan YOLOv4. Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology), 3(2), 199-206.

Prawiranegara, I. N., & Kusuma, G. H. A. (2019). Analisa digital forensik rekaman video CCTV dengan menggunakan metadata dan hash. Prosiding SISFOTEK, 3(1), 223-227.

Triana, H., & Enri, U. (2022). Penerapan Deep Learning Pada Kamera Pengawas Jalan Raya Dalam Mendeteksi Kecelakaan. Syntax: Jurnal Informatika, 11(02), 46-55.

Amwin, A. (2021). Deteksi dan klasifikasi kendaraan berbasis algoritma You Only Look Once (YOLO)

Pratama, A. F. (2020). Deteksi Plat Nomor Kendaraan Bergerak Berbasis Metode You Only Look Once (YOLO). (Undergraduate Thesis). Retrieved from https://repository.its.ac.id/id/eprint/79534

Hanafi, Y. U. (2020). Deteksi Penggunaan Helm Pada Pengendara Bermotor Berbasis Deep Learning (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

M. Sandler et al., "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018, pp. 4510-4520. https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00474.

Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik transportasi darat 2022. BPS RI.

Bappenas. (2023). Laporan perkembangan pencapaian SDGs Indonesia 2023. Kementerian PPN/Bappenas.

Korlantas Polri. (2023). Statistik laka lantas tahun 2022. http://korlantas.polri.go.id/

# **LAMPIRAN**

## **Daftar Riwayat Hidup**

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Xxxxxxxx Xxxxxxxxxx

Tempat dan Tanggal Lahir : Xxxxxxxx, DD Mmmmmm YYYY

Jenis Kelamin : Xxxxxxx

Alamat : Xxxxxxxxxxx Xxxxxxxxxxxxx Xxxxxxxxxx Xxx Xxxxxxxxxx

Agama : Xxxxxxxxx

Nomor Telepon : 9999999999999

Email : xxxxxxx@xxxxx.xxx

Status Pernikahan : Menikah/Belum Menikah

Riwayat Pendidikan

9999 – 9999 : Nama SD/MI

9999 – 9999 : Nama SMP/MTs

9999 – 9999 : Nama SMU/SMK/MA

Motto Hidup

*Xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxx*

## **Lembar Bimbingan**

## **Hasil Uji Similaritas**

Xxxxxxxxxxx Xxxxxxxxxxxx

## **Hasil Penghitungan Manual**

Xxxxxxxxxxx Xxxxxxxxxxx