



# PEDOMAN

No. 09/ P/ BM/ 2024

Bidang Jalan

---

## PEMANFAATAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* (AI) UNTUK PEMANTAUAN KONDISI PERMUKAAN JALAN



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT  
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT  
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Jalan Pattimura Nomor 20, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12110, Telepon (021)-7203165, Faksimili (021) 7393938

Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga;
2. Sekretaris Badan Pengatur Jalan Tol;
3. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga;
4. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional di Direktorat Jenderal Bina Marga;
5. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga.

SURAT EDARAN

NOMOR: **16** /SE/Db/2024

TENTANG

PEDOMAN PEMANFATAAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* (AI) UNTUK  
PEMANTAUAN KONDISI PERMUKAAN JALAN

A. Umum

Bahwa seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi, *Artificial Intelligence* (AI) telah muncul sebagai solusi unggulan dalam pemantauan kondisi jalan. Teknologi ini mampu mendeteksi berbagai jenis kerusakan jalan secara otomatis dan memprediksi potensi kerusakan di masa mendatang berdasarkan analisis data historis. Dengan demikian, AI dapat menggantikan metode manual yang membutuhkan waktu lebih lama dan cenderung subjektif. Pemanfaatan AI memungkinkan proses pemeliharaan jalan dapat lebih responsif terhadap perubahan kondisi jalan serta mampu mengatasi tantangan yang muncul dengan lebih cepat, akurat, dan efisien. Berdasarkan pertimbangan tersebut, perlu menetapkan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga tentang Pedoman Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) untuk Pemantauan Kondisi Permukaan Jalan.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 12, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6760);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
3. Peraturan Presiden Nomor 27 Tahun 2020 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia tahun 2020 Nomor 40);
4. Keputusan Presiden Nomor 68/TPA Tahun 2024 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan dari dan dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Madya di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan

Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 473) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2024 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 573);

6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 554) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 9 Tahun 2024 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 574);
7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 5 Tahun 2023 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 372);
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 9 Tahun 2023 tentang Penerapan Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 871);
9. Surat Edaran Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 9 Tahun 2023 tentang Etika Kecerdasan Artifisial;

#### C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai pedoman pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) untuk pemantauan kondisi permukaan jalan untuk dijadikan acuan dalam pemantauan kondisi permukaan jalan di seluruh jaringan jalan di Indonesia.

Surat Edaran ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan keselamatan infrastruktur jalan di Indonesia melalui pemanfaatan teknologi *Artificial Intelligence* (AI). Dengan AI, proses pemeliharaan jalan menjadi lebih cepat, akurat, dan efisien, serta memungkinkan deteksi dan prediksi kerusakan secara otomatis. Pedoman ini juga memberikan panduan praktis untuk integrasi AI dalam sistem manajemen jalan yang ada, memastikan bahwa pemeliharaan jalan dapat dilakukan secara proaktif dan berkelanjutan demi mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi nasional.

#### D. Ruang Lingkup

Lingkup Surat Edaran ini mencakup pengaturan tentang penggunaan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) berbasis *Computer Vision* dalam pemantauan kondisi permukaan jalan di seluruh jaringan jalan di Indonesia. Pemantauan ini mencakup deteksi dan klasifikasi kerusakan pada perkerasan lentur dan kaku, kondisi bahu jalan, marka jalan, dan adanya genangan air.

E. Pengaturan Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) untuk Pemantauan Kondisi Permukaan Jalan

Ketentuan mengenai pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) untuk pemantauan kondisi permukaan jalan, meliputi:

1. Ketentuan Umum

Bagian ketentuan umum meliputi pengaturan tentang:

- a. tipikal proses penggunaan *artificial intelligence* meliputi *input*, pemrosesan, *output*, dan evaluasi data;
- b. ketentuan pelaksanaan survei; dan
- c. ketentuan indikator penilaian kondisi permukaan jalan.

2. Ketentuan Teknis

Bagian ketentuan teknis meliputi pengaturan tentang:

- a. ketentuan *input* meliputi pra-pemrosesan, dataset yang digunakan, peralatan/perangkat, dan prosedur survei;
- b. ketentuan pemrosesan meliputi algoritma, kelas data, validasi dataset, pelatihan model, inferensi, dan pasca pemrosesan;
- c. ketentuan *output* meliputi hasil identifikasi data, indikator penilaian kondisi permukaan jalan, dan keluaran survei sebagai *input* SMD;
- d. evaluasi data meliputi metrik evaluasi model dan teknik perbaikan model; dan
- e. keamanan dan etika data meliputi keamanan data dan etika data.

Ketentuan lebih rinci mengenai pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) untuk pemantauan kondisi permukaan jalan termuat dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Surat Edaran Direktur Jenderal ini.

F. Penutup

Surat Edaran Direktur Jenderal ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian Surat Edaran ini untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya. Atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
2. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
3. Plt. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
5. Kepala Badan Pengatur Jalan Tol.

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal **25** September 2024

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,

RACHMAN ARIEF DIENAPUTRA

NIP 196606271996031001

## PRAKATA

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, khususnya dalam bidang kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI), terdapat peluang yang sangat besar dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas berbagai sektor, termasuk preservasi jalan. Dalam konteks infrastruktur jalan, AI memiliki potensi untuk digunakan sebagai alat yang mampu meningkatkan akurasi dalam pemantauan kondisi permukaan jalan, yang pada akhirnya akan mendukung tercapainya jaringan jalan yang andal dan berkelanjutan di seluruh Indonesia.

Pemanfaatan AI untuk pemantauan kondisi permukaan jalan memungkinkan deteksi dini terhadap kerusakan jalan yang tidak hanya mempercepat proses identifikasi, tetapi juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat waktu dan efektif dalam upaya pemeliharaan. Dengan dukungan AI, data kondisi jalan dapat diperoleh dan dianalisis secara otomatis dan *real-time*, memberikan informasi yang akurat dan terkini mengenai kondisi infrastruktur jalan. Hal ini sangat penting untuk mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang, mencegah kerusakan lebih lanjut, dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan.

Pedoman ini disusun sebagai acuan teknis bagi para penyelenggara jalan di Indonesia, baik di tingkat pusat maupun daerah, dalam rangka mengintegrasikan teknologi AI ke dalam sistem manajemen pemeliharaan jalan. Dokumen ini juga digunakan sebagai panduan implementasi teknologi AI untuk survei dan pemantauan kondisi permukaan jalan, mulai dari tahap persiapan, pelaksanaan survei, hingga analisis data yang diperoleh.

Pedoman ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kualitas jaringan jalan di Indonesia melalui pemanfaatan teknologi AI yang lebih modern dan efisien. Kami berharap pedoman ini dapat menjadi acuan yang bermanfaat bagi para praktisi dan akademisi dalam bidang jalan, serta mendorong terwujudnya praktik terbaik dalam pemeliharaan jalan di seluruh Indonesia.

Jakarta, 25 September 2024

Direktur Jenderal Bina Marga,

Rachman Arief Dienaputra

## DAFTAR ISI

PRAKATA .....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	iv
DAFTAR TABEL .....	v
PENDAHULUAN .....	vi
1. Ruang Lingkup .....	1
2. Acuan Normatif .....	1
3. Istilah dan Definisi .....	2
4. Ketentuan Umum .....	6
4.1 Tipikal Proses Penggunaan <i>Artificial Intelligence</i> .....	6
4.1.1 <i>Input</i> .....	7
4.1.2 Pemrosesan .....	8
4.1.3 <i>Output</i> .....	8
4.1.4 Evaluasi Data .....	8
4.2 Ketentuan Pelaksanaan Survei .....	8
4.3 Ketentuan Indikator Penilaian Kondisi Permukaan Jalan .....	8
5. Ketentuan Teknis .....	9
5.1 Ketentuan <i>Input</i> .....	9
5.1.1 <i>Dataset</i> yang Digunakan .....	9
5.1.2 Peralatan/Perangkat .....	9
5.1.3 Prosedur Survei .....	11
5.1.4 Pra-Pemrosesan .....	12
5.2 Ketentuan Pemrosesan .....	12
5.2.1 Algoritma .....	12
5.2.2 Kelas Data .....	13
5.2.3 Validasi <i>Dataset</i> .....	16
5.2.4 Pelatihan Model .....	16
5.2.5 Inferensi .....	16
5.2.6 Pasca Pemrosesan .....	16
5.3 Ketentuan <i>Output</i> .....	16
5.3.1 Hasil Identifikasi Data .....	16
5.3.2 Indikator Penilaian Kondisi Permukaan Jalan .....	17
5.3.3 Keluaran Survei Sebagai <i>Input</i> SMD .....	18
5.4 Evaluasi Data .....	19
5.4.1 Metrik Evaluasi Model .....	19
5.4.2 Teknik Perbaikan Model .....	19
5.5 Keamanan dan Etika Data .....	20
5.5.1. Keamanan Data .....	20
5.5.2. Etika Data .....	21
Bibliografi .....	22
Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa .....	23

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 – Ilustrasi <i>computer vision</i> dalam memahami gambar kondisi permukaan jalan ....	6
Gambar 2 – Alur proses penggunaan ai untuk survei kondisi permukaan jalan .....	7
Gambar 3 – Ilustrasi pemasangan kamera pada kendaraan.....	12
Gambar 4 – Contoh tampilan hasil identifikasi kerusakan jalan .....	17
Gambar 5 - Contoh tampilan hasil nilai PCI ruas jalan .....	18

SALINAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 – Jenis kerusakan pada perkerasan lentur.....	13
Tabel 2 – Jenis kerusakan pada perkerasan kaku .....	14
Tabel 3 – Skala penilaian KPI PCI .....	17
Tabel 4 – Penggunaan PCI untuk menentukan jenis penanganan.....	17

SALINAN



## PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan yang berkualitas memberikan kontribusi yang signifikan dalam mendukung mobilitas masyarakat, kelancaran distribusi barang dan jasa, serta pertumbuhan ekonomi secara keseluruhan di Indonesia. Jalan yang terpelihara dengan baik tidak hanya memastikan kelancaran transportasi, tetapi juga secara langsung berkontribusi terhadap keselamatan pengguna jalan dan memperpanjang umur layanan jalan itu sendiri. Oleh karena itu, pemantauan kondisi permukaan jalan menjadi bagian yang sangat penting dari upaya menjaga dan meningkatkan kualitas jaringan jalan di seluruh Indonesia.

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi, *Artificial Intelligence* (AI) telah muncul sebagai solusi unggulan dalam pemantauan kondisi jalan. Teknologi ini mampu mendeteksi berbagai jenis kerusakan jalan secara otomatis serta dalam pengembangannya dapat memprediksi potensi kerusakan di masa mendatang berdasarkan data historis yang telah dianalisis. Pendekatan ini memungkinkan perencanaan pemeliharaan jalan yang lebih proaktif, sehingga kerusakan dapat ditangani sebelum berkembang menjadi masalah yang lebih besar.

Pedoman ini disusun untuk memberikan panduan teknis yang komprehensif bagi para pengelola jalan, baik di tingkat pusat maupun daerah, dalam mengadopsi dan menerapkan teknologi AI untuk pemantauan kondisi permukaan jalan. Penggunaan AI diharapkan dapat menggantikan metode secara manual yang membutuhkan waktu lebih lama dan cenderung subjektif. Dengan pemanfaatan AI, proses pemeliharaan jalan dapat lebih responsif terhadap perubahan kondisi jalan dan mampu mengatasi tantangan yang muncul dengan lebih cepat, akurat dan efisien.

Substansi yang dibahas dalam pedoman ini mencakup prinsip-prinsip dasar pemanfaatan AI, metode pemantauan kondisi permukaan jalan berbasis AI, serta panduan praktis dalam mengintegrasikan teknologi ini ke dalam sistem manajemen jalan yang telah ada. Dalam pedoman ini dibahas mengenai ketentuan *input*, pemrosesan, *output*, evaluasi data, hingga keamanan dan etika data dalam pemanfaatan teknologi AI untuk pemantauan kondisi permukaan jalan yang harus dipatuhi untuk memastikan bahwa hasil survei memenuhi kriteria akurasi dan validitas yang telah ditetapkan.

Dengan adanya pedoman ini diharapkan penyelenggara jalan dan pemangku kepentingan lainnya dapat mengoptimalkan pemanfaatan teknologi AI dalam menjaga dan meningkatkan kualitas jaringan jalan di Indonesia. Melalui pendekatan berbasis AI, maka dapat diwujudkan jaringan jalan yang lebih andal, efisien, dan berkelanjutan, demi pelayanan terbaik bagi masyarakat dan peningkatan perekonomian nasional dalam jangka panjang.

# **Pedoman Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) Untuk Pemantauan Kondisi Permukaan Jalan**

## **1. Ruang Lingkup**

Pedoman ini mengatur penggunaan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) berbasis *Computer Vision* dalam pemantauan kondisi permukaan jalan di seluruh jaringan jalan di Indonesia. Pemantauan ini mencakup deteksi dan klasifikasi kerusakan pada perkerasan lentur dan kaku, kondisi bahu jalan, marka jalan, dan adanya genangan air.

Dalam penerapannya, teknologi AI berbasis *Computer Vision* ini memanfaatkan data visual yang diperoleh melalui survei berbasis video yang diakuisisi menggunakan berbagai jenis kamera seperti: *action cam*, kamera *smartphone*, dan lain-lain. Data tersebut kemudian dianalisis secara otomatis oleh AI untuk mengidentifikasi kerusakan jalan. Teknologi ini didukung oleh *machine learning* dan *deep learning* untuk meningkatkan akurasi dan konsistensi dalam deteksi kerusakan.

Pedoman ini mencakup ketentuan *input*, pemrosesan, *output*, evaluasi data, hingga keamanan dan etika data dalam pemanfaatan teknologi AI untuk pemantauan kondisi permukaan jalan yang harus dipatuhi untuk memastikan bahwa hasil survei memenuhi kriteria akurasi dan validitas yang telah ditetapkan.

Pedoman ini bersifat dinamis dan terbuka terhadap pembaruan untuk mengakomodasi perkembangan teknologi AI yang terus berkembang, seperti tahap akuisisi data video dan tahap pemrosesan yang dilakukan secara bersamaan. Dengan demikian, pedoman ini dapat menjadi rujukan yang berkelanjutan dalam pengembangan pemantauan kondisi permukaan jalan berbasis AI.

## **2. Acuan Normatif**

Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua Atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 12, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6760)

Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655)

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 5 Tahun 2023 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 372)

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 9 Tahun 2023 tentang Penerapan Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 871)

Surat Edaran Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 9 Tahun 2023 tentang Etika Kecerdasan Artifisial

Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Nomor Pd 01-2016-B tentang Penentuan Indeks Kondisi Perkerasan (IKP)

Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Bidang Jalan dan Jembatan Nomor Pd-01-2021-BM tentang Survey Pengumpulan Data Kondisi Jaringan Jalan

Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan Nomor 07/P/BM/2021 tentang Perencanaan dan Pemrograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan (Bagian Dari Manajemen Aset Prasarana Jalan)

Standar Operasional Prosedur Nomor SOP/UPM/DJBM-126 Rev:01 tentang Tata Kerja Penilikan Jalan

Standar Operasional Prosedur Nomor SOP/UPM/DJBM-12 tentang Prosedur Pemeliharaan Jalan

### 3. Istilah dan Definisi

#### 3.1

##### ***artificial intelligence***

kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang selanjutnya disingkat AI mengacu pada pengembangan sistem komputer yang dapat melakukan tugas-tugas yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia, seperti penalaran, pembelajaran, pemecahan masalah, persepsi, dan pemahaman bahasa. Dalam pemantauan kondisi permukaan jalan, AI menganalisis gambar atau data video dari survei untuk secara otomatis mendeteksi dan mengklasifikasikan kerusakan jalan.

#### 3.2

##### ***computer vision***

bidang kecerdasan buatan dan ilmu komputer yang bertujuan untuk memungkinkan komputer memahami dan menginterpretasikan informasi visual, seperti gambar dan video. Tujuannya adalah untuk mengotomatiskan tugas-tugas yang dapat dilakukan oleh sistem visual manusia, seperti deteksi objek, pemahaman pemandangan, dan gerakan

#### 3.3

##### ***confusion matrix***

alat pengukuran kinerja yang digunakan untuk membantu mengevaluasi keakuratan model dengan memvisualisasikan hasil klasifikasi. Matriks ini menunjukkan hubungan antara klasifikasi aktual dan prediksi dengan memberikan hitungan untuk *true positives*, *true negatives*, *false positives*, dan *false negatives*

#### 3.4

##### ***convolutional neural networks***

*convolutional neural networks* yang selanjutnya disingkat CNN adalah jenis jaringan saraf tiruan yang dirancang khusus untuk memproses struktur data yang menyerupai kisi-kisi (*grid like*) seperti gambar

#### 3.5

##### ***cross validation***

metode statistik yang digunakan dalam *machine learning* untuk menilai seberapa baik sebuah model menggeneralisasi data yang tidak terlihat

### 3.6

#### **data augmentation**

teknik meningkatkan keragaman dataset untuk membantu mencegah *overfitting* dan meningkatkan kemampuan model untuk menggeneralisasi dengan membuat contoh pelatihan baru dari dataset asli

### 3.7

#### **dataset survei**

kumpulan data gambar yang didapatkan saat dilakukan survei kerusakan jalan yang diolah menggunakan AI

### 3.8

#### **false negatives**

yang selanjutnya disingkat FN merupakan jumlah kasus di mana model gagal mendeteksi kerusakan yang ada

### 3.9

#### **false positives**

yang selanjutnya disingkat FP merupakan jumlah kasus di mana model salah mendeteksi kerusakan yang tidak ada

### 3.10

#### **faster regional based convolutional neural networks**

yang selanjutnya disingkat *faster* R-CNN merupakan pengembangan lebih lanjut dari R-CNN

### 3.11

#### **feature extraction**

*feature extraction* adalah proses mengubah data mentah, seperti gambar, menjadi sekumpulan karakteristik terukur yang dapat digunakan oleh model *machine learning*. Dalam konteks *computer vision*, fitur dapat mencakup tepi, tekstur, atau warna yang membantu mengidentifikasi objek dalam gambar

### 3.12

#### **inferensi**

dalam *machine learning*, inferensi mengacu pada proses penggunaan model yang telah dilatih untuk membuat prediksi atau keputusan berdasarkan data baru yang belum pernah dilihat sebelumnya. Setelah model dilatih pada dataset, model tersebut menerapkan pola yang telah dipelajari pada data *input* untuk menghasilkan keluaran, seperti klasifikasi, hasil regresi, atau rekomendasi

### 3.13

#### **input**

merupakan proses pengumpulan data sebagai bahan baku untuk AI. Data dapat berupa: gambar, video, teks, dan/atau data numerik, tergantung pada aplikasi yang diinginkan. Dalam aplikasi *computer vision*, data input biasanya berupa citra atau video yang diambil dari berbagai sumber, seperti kamera dan/atau *drone*

### 3.14

#### ***labeled dataset***

*dataset* yang setiap sampelnya dilengkapi dengan label yang menunjukkan kelas data tersebut

### 3.15

#### ***machine learning***

*machine learning* adalah bagian dari AI yang memungkinkan sistem untuk secara otomatis belajar dan meningkatkan diri dari pengalaman tanpa harus diprogram. Dalam pemantauan jalan, *machine learning* digunakan untuk mendeteksi dan memprediksi kerusakan jalan berdasarkan pola dalam data survei

### 3.16

#### **model AI**

model AI adalah program atau sistem yang telah dilatih untuk memecahkan masalah atau membuat keputusan dengan belajar dari data menggunakan algoritma *artificial intelligence*

### 3.17

#### **jaringan saraf tiruan (*neural networks*)**

*Neural networks* adalah model komputasi yang terinspirasi dari struktur otak manusia, yang terdiri dari lapisan neuron buatan yang saling terhubung

### 3.18

#### ***noise***

*noise* mengacu pada variasi data yang tidak relevan atau acak yang tidak mewakili pola atau struktur dalam model yang sedang dibangun

### 3.19

#### ***output***

Merupakan proses penyajian hasil deteksi dalam bentuk visual dan laporan

### 3.20

#### ***overfitting***

kondisi di mana nilai akurasi pada dataset *training* tinggi namun memiliki nilai akurasi dataset survei rendah

### 3.21

#### **pasca pemrosesan**

Tahap di mana data yang tidak relevan (seperti objek yang tidak diinginkan atau *noise*) dihilangkan dari hasil segmentasi citra.

### 3.22

#### **pemrosesan**

merupakan tahap di mana model AI diterapkan untuk menganalisis data

### 3.23

#### **pengolahan citra (*image processing*)**

proses manipulasi dan analisis data visual untuk mengekstraksi informasi dari citra. Dalam konteks pemantauan kondisi permukaan jalan, pengolahan citra digunakan oleh AI untuk

mendeteksi kerusakan pada permukaan jalan berdasarkan data gambar dan/atau video yang diambil selama survei

### 3.24

#### ***road damage dataset***

istilah umum *dataset* yang berisi data gambar kerusakan jalan

### 3.25

#### ***regional based convolutional neural networks***

yang selanjutnya disingkat R-CNN merupakan bentuk pengembangan lebih lanjut dari CNN

### 3.26

#### ***supervised learning***

pendekatan *machine learning* di mana model dilatih dengan *labeled dataset* (data berlabel)

### 3.27

#### ***training dataset***

bagian dari dataset yang digunakan untuk melatih model AI. Gambar dalam *training dataset* sudah diberi label untuk membantu model belajar mengenali pola dan hubungan antara *input* dan *output*

### 3.28

#### ***true positives***

yang selanjutnya disingkat TP merupakan jumlah kasus di mana model dengan benar mendeteksi kerusakan

### 3.29

#### ***true negatives***

yang selanjutnya disingkat TN merupakan jumlah kasus di mana model dengan benar tidak mendeteksi kerusakan yang tidak ada

### 3.30

#### ***unlabeled dataset***

*dataset* yang belum memiliki label yang menunjukkan kelas data. *Dataset* ini digunakan dalam *unsupervised learning*

### 3.31

#### ***unsupervised learning***

metode pembelajaran mesin di mana model dilatih menggunakan *dataset* yang tidak diberi label

### 3.32

#### ***you only look once***

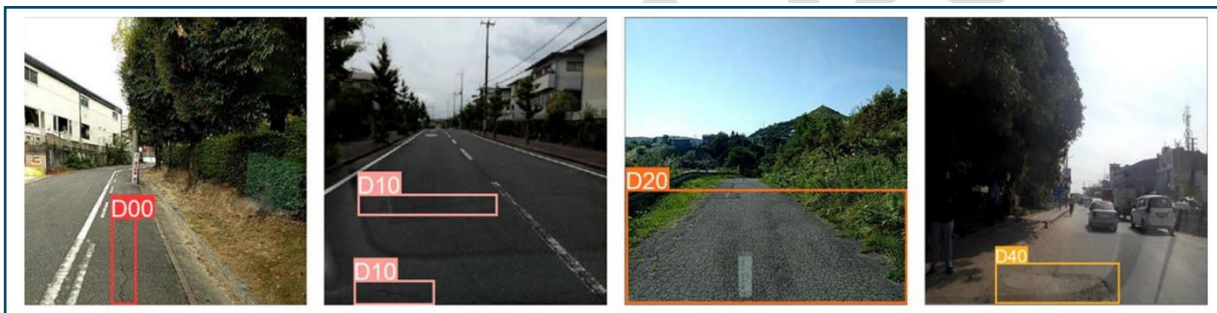
yang selanjutnya disingkat YOLO adalah sistem pendeteksian objek *real-time* yang memproses seluruh gambar dalam satu kesatuan yang tidak terpisah dan secara langsung menghasilkan label untuk setiap objek yang terdeteksi

#### 4. Ketentuan Umum

*Artificial Intelligence* (AI) adalah bidang ilmu komputer yang berfokus pada pengembangan sistem atau mesin yang dapat melakukan tugas-tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia. Tugas-tugas ini meliputi pengenalan pola, pemrosesan bahasa alami, pengambilan keputusan, dan bahkan pembelajaran dari data yang tersedia. Dalam konteks *Computer Vision*, AI digunakan untuk memungkinkan komputer menganalisis dan memahami dunia visual melalui gambar atau video.

AI umumnya terdiri dari beberapa cabang utama berdasarkan aplikasinya, di antaranya *Computer Vision*, *Natural Language Processing*, dan *Speech Recognition*. Khusus dalam domain *Computer Vision*, AI digunakan untuk memahami gambar atau video, seperti mendeteksi objek, mengenali pola, dan mengklasifikasikan berbagai elemen dalam citra.

Dalam survei kondisi permukaan jalan, AI digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis kerusakan pada permukaan jalan secara otomatis. Dengan kemampuan *Computer Vision*, AI memproses data visual dari gambar atau video survei, memungkinkan identifikasi kerusakan secara cepat dan akurat. Teknologi ini dapat membantu maupun menggantikan metode manual, meningkatkan efisiensi dan konsistensi deteksi, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pemeliharaan jalan.



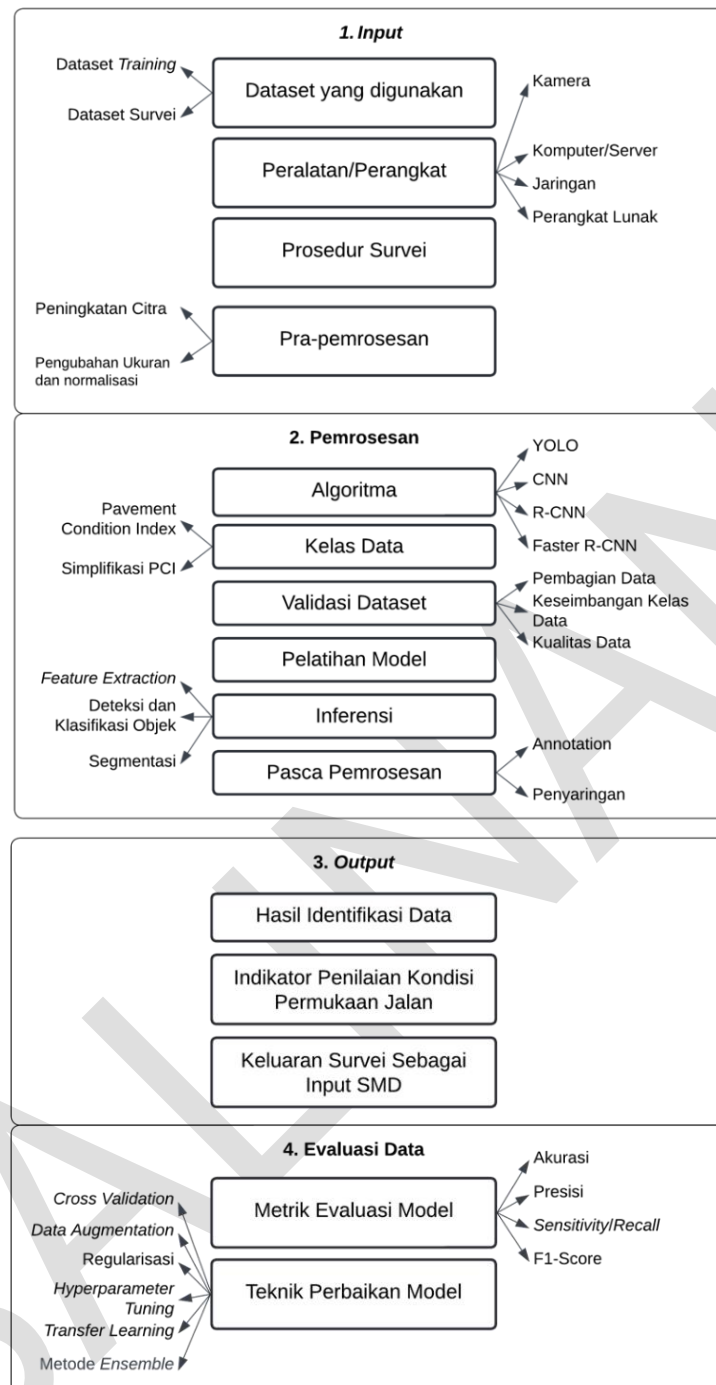
Sumber: Wan, dkk (2022)

**Gambar 1 – Ilustrasi *computer vision* dalam memahami gambar kondisi permukaan jalan**

##### 4.1 Tipikal Proses Penggunaan *Artificial Intelligence*

Proses dalam penerapan AI untuk aplikasi dunia nyata, termasuk deteksi kerusakan jalan, umumnya mengikuti beberapa tahap penting. Proses ini dapat dibagi menjadi empat fase utama: *input*, pemrosesan, *output*, dan evaluasi data. Gambaran umum mengenai tahapan tersebut dijelaskan dalam Gambar 2.





**Gambar 2 – Alur proses penggunaan AI untuk survei kondisi permukaan jalan**

#### 4.1.1 Input

Pada fase ini, data dikumpulkan sebagai bahan baku untuk AI. Data ini bisa berupa gambar, video, teks, dan/atau data numerik, tergantung pada aplikasi yang diinginkan. Dalam aplikasi *computer vision*, data *input* biasanya berupa citra atau video yang diambil dari berbagai sumber, seperti kamera dan/atau *drone*.

Setelah data dikumpulkan, langkah pra-pemrosesan dilakukan untuk membersihkan dan meningkatkan kualitas data. Pra-pemrosesan ini mencakup berbagai teknik seperti



pengurangan *noise*, penyesuaian kontras, dan normalisasi data agar sesuai dengan persyaratan model AI yang akan digunakan.

#### 4.1.2 Pemrosesan

Pada fase ini, model AI dibangun dan diterapkan untuk menganalisis data yang telah diproses. Langkah-langkah yang dilakukan adalah penentuan algoritma *machine learning*, penentuan kelas data, pelatihan model jika belum dilatih, dan inferensi.

#### 4.1.3 Output

Pada fase ini, model AI menghasilkan *output* yang dapat digunakan untuk tujuan lebih lanjut. Dalam aplikasi *computer vision*, *output* ini dapat berupa citra yang diberi label dengan kotak pembatas di sekitar objek yang terdeteksi, atau laporan yang mencakup ringkasan informasi dari analisis yang dilakukan oleh AI. *Output* ini biasanya digunakan untuk pengambilan keputusan, perbaikan, atau pemeliharaan lebih lanjut.

#### 4.1.4 Evaluasi Data

Evaluasi data merupakan tahap penting dalam memastikan bahwa model *machine learning* yang digunakan untuk deteksi kerusakan jalan bekerja secara efektif dan akurat. Evaluasi ini mencakup penilaian terhadap kualitas data yang digunakan, performa model, serta validasi hasil deteksi terhadap data yang sebenarnya.

### 4.2 Ketentuan Pelaksanaan Survei

Ketentuan secara umum yang harus diperhatikan pada saat survei kondisi permukaan jalan, meliputi:

- Pelaksana survei harus memiliki pemahaman terkait pemantauan kondisi jalan dan jenis-jenis kerusakan permukaan jalan;
- Survei kondisi permukaan jalan dilakukan menggunakan perekam video yang dipasang pada kendaraan dan dilaksanakan di sepanjang ruas jalan yang akan dipantau;
- Mempersiapkan dan memastikan kondisi alat dalam keadaan siap pakai untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan;
- Survei dilaksanakan pada kondisi ideal (tidak dalam kondisi gelap, hujan deras/cuaca buruk, kemacetan parah) sehingga video dapat diproses oleh AI dengan maksimal;
- Data informasi yang diperoleh dari survei pemantauan kondisi jalan digunakan sebagai data dukung untuk memperoleh indikator yang digunakan dalam program penanganan jalan;
- Ruang lingkup kondisi jalan yang diidentifikasi adalah badan jalan, marka jalan, dan genangan air pada perkerasan aspal dan perkerasan kaku.

### 4.3 Ketentuan Indikator Penilaian Kondisi Permukaan Jalan

Penilaian kondisi permukaan jalan dilakukan dengan rating penilaian yang saat ini digunakan yakni *Pavement Condition Index* (PCI). Nilai PCI merupakan indikator yang menunjukkan kondisi permukaan jalan berdasarkan jenis kerusakan yang telah teridentifikasi, seperti lubang, retak, deformasi, dan kerusakan lainnya. Pengukuran nilai PCI dilakukan dengan mengacu pada jenis, tingkat keparahan dan luasan kerusakan yang dideteksi kemudian dihitung untuk mendapatkan suatu parameter penilaian untuk setiap segmen yang telah ditentukan.

Untuk hasil deteksi objek selain kerusakan permukaan jalan, seperti marka jalan dan genangan air, bukan merupakan indikator penilaian PCI. Identifikasi objek tersebut dijelaskan lebih lanjut dalam ketentuan teknis pada 5.2.2.

## 5. Ketentuan Teknis

### 5.1 Ketentuan Input

#### 5.1.1 Dataset yang Digunakan

Jumlah data yang besar dibutuhkan agar AI dapat dilatih untuk menemukan pola-pola yang diinginkan pada suatu kumpulan data. Berikut ketentuan data yang akan digunakan agar pemanfaatan AI dapat dilakukan secara maksimal.

##### a. Training Dataset

*Training dataset* adalah kumpulan data gambar yang telah diberi label (*labeled dataset*) dengan kelas kerusakan jalan yang akan digunakan dalam fase pelatihan model. *Dataset* untuk kerusakan jalan sering dikenal dengan istilah *Road Damage Dataset* (RDD). Ketentuan teknis *training dataset* yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### 1) Lokasi Gambar pada *Dataset Training*

*Dataset training* yang digunakan lebih baik menggunakan gambar kerusakan jalan yang berada di Indonesia. Namun *dataset* negara lain maupun campuran beberapa negara dapat digunakan sebagai media pelatihan model namun tetap memperhatikan label kelas atau kategori data yang akan digunakan seperti yang akan dijelaskan pada 5.2.2. RDD harus memiliki minimal 10% *dataset* yang berasal dari Indonesia untuk setiap kelas atau kategori kerusakan dari total jumlah dataset dari setiap kelas atau kategori kerusakan jalan yang akan digunakan.

##### 2) Jumlah *Dataset Training*

*Dataset training* yang digunakan harus berjumlah minimal 500 gambar untuk setiap kelas kerusakan yang akan dideteksi.

##### b. Dataset Survei

*Dataset* survei adalah data gambar yang diperoleh dari survei perekaman kerusakan jalan yang akan menjadi *input* utama bagi model AI untuk melakukan deteksi kerusakan. Ketentuan teknis *dataset* survei yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### 1) Akurasi GPS *Dataset*

Akurasi GPS lokasi gambar yang didapatkan memiliki ketelitian  $\pm 5$  meter pada 90% waktu.

##### 2) Pelabelan Data Survei

*Dataset* survei harus dilabel secara manual minimal 5% dari total panjang jalan yang disurvei dan minimal 5% dari total gambar yang digunakan sebagai *dataset* survei.

##### 3) Format dan Resolusi Video

Video dataset survei disimpan dalam format MP4 dengan resolusi minimum 1280x1920 *pixel* (setara dengan *full HD* video).

#### 5.1.2 Peralatan/Perangkat

Terdapat dua peralatan utama yang digunakan dalam survei kondisi permukaan jalan menggunakan AI yakni kamera dan perangkat untuk pengolahan video berbasis AI.

a. Kamera

Survei kondisi permukaan jalan dilakukan dengan seperangkat kamera video yang memenuhi beberapa syarat berikut:

- 1) Kamera yang digunakan harus dapat menghasilkan gambar digital dengan resolusi minimum 1280x1920 pixel (setara dengan *full HD video*).
- 2) Kamera memiliki minimum perekaman gambar 60 fps (*frame per second*).
- 3) Kamera memiliki komponen stabilisasi gambar mengingat video akan digunakan untuk mengidentifikasi aset dan kerusakan, serta stabilisasi gambar akan mengurangi "guncangan" yang biasanya terjadi pada rekaman dari kendaraan.
- 4) Direkomendasikan menggunakan kamera dengan pengaturan *field of view* (fov) linear, hal ini akan memungkinkan untuk merekam aset di samping jalan serta kerusakan jalan dalam satu video.
- 1) Kamera yang dipilih harus sudah memiliki perangkat lunak untuk mengekstraksi metadata dari video atau menyediakan *Software Development Kit* (SDK) atau petunjuk untuk mengekstraksi metadata dari produsen.
- 2) Kamera telah dilengkapi dengan GPS dengan ketelitian  $\pm 5$  meter pada 90% waktu.

b. Komputer/Server

- 1) Prosesor (*Central Processing Unit*/CPU) minimal 4 core dengan kecepatan *clock speed* 3.5 GHz atau lebih;
- 2) Kartu grafis (*Graphics Processing Unit*/GPU) dengan minimal VRAM 4 GB. GPU juga harus dapat mendukung *Compute Unified Device Architecture* (CUDA) untuk akselerasi perangkat keras;
- 3) Penyimpanan: *Hard disk* atau SSD dengan kapasitas minimal 1 TB untuk menyimpan video rekaman dan data hasil analisis.

c. Jaringan

- 1) Konektivitas: koneksi internet yang stabil dan cepat untuk *transfer* data video dan akses ke *cloud*.
- 2) Perangkat jaringan: *router*, *switch*, dan perangkat jaringan lainnya untuk menghubungkan semua komponen sistem.

d. Perangkat Pendukung

- 1) UPS: Untuk memastikan kelancaran operasi sistem saat terjadi pemadaman listrik.
- 2) *Storage*: Penyimpanan eksternal (*hard disk*, *cloud storage*) untuk *backup* data.

e. Perangkat Lunak

Perangkat lunak dalam hal ini adalah perangkat yang diperlukan untuk pemrosesan data gambar video hasil survei yang meliputi:

- 1) Sistem operasi (*Operating System*/OS) minimal menggunakan: Linux Ubuntu 18.04 LTS; Linux CentOS 7; Windows 10 64 bit; MacOS 10.13; atau yang setara;
- 2) Perangkat lunak *video surveillance*: Untuk merekam video, mendeteksi gerakan, dan mengirimkan notifikasi.
- 3) *Framework deep learning*: untuk membangun dan melatih model AI.
- 4) *Library*: modul perangkat lunak *open source* yang digunakan untuk melakukan proses *machine learning*.
- 5) *Database*: untuk menyimpan data hasil analisis.
- 6) *Platform cloud*: untuk melatih model AI dengan skala besar.
- 7) Alat Visualisasi: untuk menampilkan hasil analisis.

### 5.1.3 Prosedur Survei

Survei kondisi permukaan jalan dilakukan dengan mengambil gambar video pada ruas-ruas yang telah ditentukan. Hasil perekaman video akan diolah menggunakan bantuan AI untuk mendapatkan hasil keluaran seperti dijelaskan dalam 5.2.2. Metode survei ini lebih direkomendasikan dalam pemantauan kondisi permukaan jalan dikarenakan:

- a. Keselamatan – kendaraan survei dijalankan dengan kecepatan yang telah ditentukan, tidak memerlukan manajemen lalu lintas, dan petugas survei tidak terpapar langsung dengan lalu lintas maupun cuaca.
- b. Cepat – perekaman data gambar di lapangan umumnya dapat mencapai 100 km lajur per hari dan pengolahan data dapat mencapai 60 km per hari.
- c. Sumberdaya – jumlah petugas yang diperlukan dalam pengolahan data dapat diminimalkan karena dilakukan secara otomatis oleh sistem.
- d. Konsistensi – *output* data yang diperoleh lebih akurat dan konsisten karena sudah ditetapkan sebuah standar minimal yang sama untuk seluruh video yang diproses.

Kondisi permukaan jalan dinilai dari data gambar menggunakan AI yang disesuaikan dengan format yang ditetapkan sebagai berikut:

- a. Pemasangan kamera pada kendaraan

Pelaksana survei harus memastikan bahwa kamera terpasang secara aman dan stabil pada kendaraan selama melakukan survei. Selain itu, perlu diperhatikan jangkauan area perekaman sehingga AI dapat mengidentifikasi aset dan kerusakan secara maksimal berdasarkan gambar video yang direkam.

Pemasangan kamera harus mempertimbangkan getaran yang dihasilkan oleh kendaraan, serta panas yang dihasilkan oleh mesin kendaraan. Hal ini untuk memastikan bahwa kamera terpasang dengan stabil dan tidak lepas selama pelaksanaan survei dengan kondisi jalan yang bervariasi.

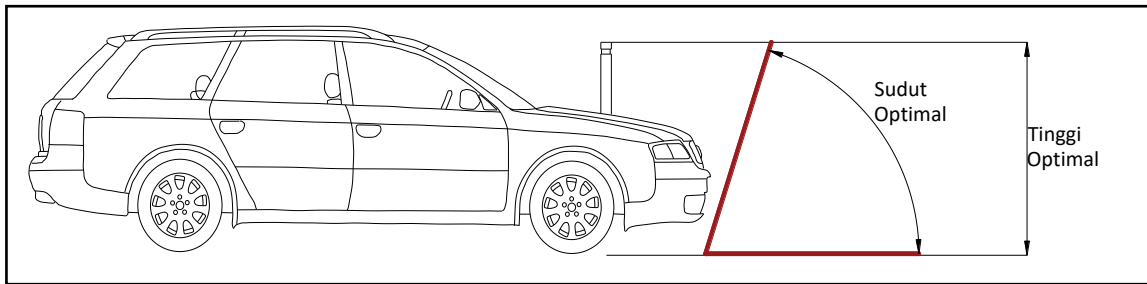
Kamera dipasang di luar kendaraan dengan memastikan bahwa tidak ada bagian kendaraan yang ikut terekam dalam gambar video.

Apabila kamera harus dipasang di dalam kendaraan karena mempertimbangkan faktor keamanan pada lokasi-lokasi tertentu, maka perlu memperhatikan beberapa hal berikut:

- 1) Semiminal mungkin tidak ada objek/bagian kendaraan yang terekam di dalam maupun di luar kendaraan;
- 2) Posisi kamera harus sedekat mungkin dengan kaca/bagian depan kendaraan;
- 3) Menghindari pantulan cahaya, objek pada *dashboard*, kap kendaraan, dan *wiper* kaca kendaraan.

- b. Posisi dan ketinggian kamera

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa disarankan kamera dipasang di luar kendaraan untuk memaksimalkan hasil gambar video yang dihasilkan. Sebagai data pendukung dalam analisis menggunakan AI, maka perlu dilakukan pencatatan terhadap ketinggian dan sudut kamera yang bervariasi menyesuaikan jenis kendaraan serta kebutuhan data yang diperlukan untuk memastikan bahwa seluruh badan jalan tertangkap kamera untuk kemudian dapat dianalisis oleh AI. Ketinggian kamera optimal diukur dari permukaan jalan sampai dengan posisi lensa. Sudut optimal kamera berkisar antara 70° – 90°



**Gambar 3 – Ilustrasi pemasangan kamera pada kendaraan**

c. Perekaman gambar video

Hal-hal yang perlu diperhatikan saat memulai pengambilan gambar video antara lain:

- 1) Kondisi pencahayaan.
- 2) Memastikan arah sinar matahari untuk mengantisipasi *glare* dan bayangan yang mengganggu kualitas gambar video.
- 3) Menghindari perekaman saat hujan, cuaca gelap, atau terdapat bayangan besar di jalan.
- 4) Memeriksa secara berkala kualitas video untuk memastikan pencahayaan optimal.

d. Kondisi jalan dan kendaraan

- 1) Menghindari perekaman saat jalan tergenang.
- 2) Menjaga kecepatan kendaraan maksimum 60 km/jam untuk hasil yang optimal.
- 3) Menghindari berhenti terlalu lama saat merekam.

e. Teknis perekaman

- 1) Pelaksana survei sudah memulai melakukan perekaman terlebih dahulu sebelum memasuki titik referensi awal ruas yang akan disurvei.
- 2) Menjaga posisi kendaraan di lajur yang sama diantara marka atau konsisten pada posisi yang sama jika tidak ada marka.
- 3) Durasi pengambilan video menyesuaikan kemampuan kamera yang digunakan dan kapasitas penyimpanan data.
- 4) Disarankan menggunakan aplikasi bawaan produsen kamera untuk memulai dan menghentikan perekaman.

#### 5.1.4 Pra-Pemrosesan

Data yang telah dikumpulkan dianalisis lebih lanjut untuk menyeragamkan kualitas data mentah saat diproses oleh AI. Tahapan ini mencakup:

- a. Peningkatan citra: mengurangi *noise*, meningkatkan kontras, dan langkah-langkah lain yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas gambar.
- b. Pengubahan ukuran dan normalisasi: menyesuaikan ukuran gambar dan melakukan normalisasi nilai *pixel* agar sesuai dengan persyaratan model AI.
- c. Seluruh video hasil survei permukaan jalan dikelompokkan ke dalam masing-masing lajur.

### 5.2 Ketentuan Pemrosesan

#### 5.2.1 Algoritma

- a. Model *machine learning* yang digunakan harus menggunakan algoritma *supervised learning*. Metode *unsupervised learning* dapat digunakan sebagai bagian dari proses model namun tidak bisa dijadikan algoritma deteksi utama.

- b. Algoritma yang digunakan harus memiliki penelitian ilmiah maupun *proof of concept* yang dapat dibuktikan mendeteksi kerusakan jalan dengan baik.
- c. Algoritma yang digunakan lebih baik menggunakan algoritma yang umum digunakan untuk mendeteksi objek seperti YOLO, CNNs, R-CNN, dan *Faster R-CNN*.

### 5.2.2 Kelas Data

Pedoman ini menggunakan *Pavement Condition Index* (PCI) sebagai indikator utama yang saat ini digunakan di Direktorat Jenderal Bina Marga sebagai indikator evaluasi dan perencanaan program pemeliharaan jalan nasional. Meski begitu, indikator lain seperti *Surface Distress Index* (SDI), simplifikasi metode PCI atau metode evaluasi alternatif lain dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan spesifik atau mengacu pada peraturan yang berlaku.

#### a. Perkerasan lentur

Jenis kerusakan yang diidentifikasi pada perkerasan lentur ditunjukkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1 – Jenis kerusakan pada perkerasan lentur**

No	Jenis Kerusakan	Satuan	Deskripsi
1.	Retak buaya ( <i>crocodile cracking</i> )	m <sup>2</sup>	Retak kulit buaya atau retak lelah merupakan rangkaian retak saling berhubungan pada permukaan lapis beton aspal sebagai akibat keruntuhan lelah oleh beban kendaraan yang berulang. Retak tersebut mempunyai celah lebih besar atau sama dengan 3 mm, saling berangkai membentuk serangkaian kotak-kotak kecil menyerupai kulit buaya
2.	Retak tepi ( <i>edge cracking</i> )	m <sup>2</sup>	Retak tepi merupakan retak yang sejajar dengan tepi perkerasan dan biasanya terjadi sekitar 0,3 m sampai 0,5 m (1 <i>foot</i> sampai 1,5 <i>feet</i> ) dari tepi luar perkerasan
3.	Retak melintang ( <i>transverse cracking</i> )	m <sup>2</sup>	Retak yang terjadi melintang tegak lurus sumbu jalan
4.	Retak lainnya ( <i>other Cracking</i> )	m <sup>2</sup>	Retak saling berhubungan dan membagi permukaan menjadi kotak-kotak yang berbentuk hampir bujur sangkar, dapat juga berupa retak yang terjadi pada lapis beton aspal yang dihampar pada perkerasan kaku, atau retak selip akibat pengereman kendaraan
5.	Lubang ( <i>pothole</i> )	m <sup>2</sup>	Lubang merupakan cekungan pada permukaan perkerasan yang mempunyai diameter kecil, biasanya kurang dari 750 mm (30 inci). Lubang umumnya mempunyai sudut yang tajam dan dinding bagian atas yang tegak.
6.	Tambalan ( <i>patching</i> )	m <sup>2</sup>	Keadaan permukaan perkerasan yang sudah diperbaiki setempat-setempat
7.	Alur ( <i>rutting</i> )	m <sup>2</sup>	Penurunan memanjang yang terjadi pada jalur jejak roda kiri dan jejak roda kanan, disebabkan oleh kepadatan yang tidak sempurna pada lapis permukaan jalan beraspal
8.	Keriting ( <i>corrugations</i> )	m <sup>2</sup>	Kerusakan deformasi plastis pada lapisan permukaan perkerasan yang tidak memenuhi spesifikasi,



No	Jenis Kerusakan	Satuan	Deskripsi
			berbentuk gelombang arah memanjang akibat beban statis atau gaya rem kendaraan
9.	Sungkur/ amblas ( <i>shoving/ depression</i> )	m <sup>2</sup>	Deformasi plastis berbentuk gelombang setempat yang melintang pada permukaan perkerasan jalan beraspal membentuk puncak dan lembah (sungkur) Penurunan setempat pada suatu bidang perkerasan yang biasanya berbentuk tidak menentu tanpa terlepasnya material perkerasan (ambblas)
10.	Pelapukan/ pelepasan butir ( <i>weathering/ ravelling</i> )	m <sup>2</sup>	Lepasnya butir agregat pada permukaan jalan beraspal oleh gerakan lalu lintas, akibat mutu agregat yang tidak sesuai atau kotor, sehingga aspal tidak mengikat batuan dengan baik
11.	Kegemukan/licin ( <i>bleeding/slippery surface</i> )	m <sup>2</sup>	Naiknya aspal ke permukaan karena kelebihan kadar aspal, sehingga permukaan perkerasan jalan terlihat licin, mengkilat, dan bila dilalui roda kendaraan akan tampak bekas roda ban
12.	Penurunan bahu ( <i>drop off</i> )	mm	Penurunan bahu merupakan perbedaan elevasi permukaan bagian tepi perkerasan dengan permukaan bahu. Kerusakan ini diakibatkan oleh erosi atau penurunan bahu, atau pelaksanaan pembangunan yang tidak memperhatikan ketinggian perkerasan dan bahu.

b. Perkerasan kaku

Jenis kerusakan yang diidentifikasi pada perkerasan lentur ditunjukkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2 – Jenis kerusakan pada perkerasan kaku**

No	Jenis Kerusakan	Satuan	Deskripsi
1.	Retak sudut ( <i>corner break</i> )	1 plat	Retak sudut merupakan retak yang memotong sambungan pada jarak yang kurang dari atau sama dengan setengah panjang kedua sisi panel, yang diukur dari titik sudut panel.
2.	Pemisahan panel ( <i>divided slab</i> )	1 plat	Panel dipisahkan oleh retak menjadi empat atau lebih pecahan sebagai akibat pembebanan berlebih ( <i>overloading</i> ), atau daya dukung yang tidak memadai, atau kedua-duanya. Apabila pecahan-pecahan atau retak terdapat di dalam retak sudut, maka kerusakan dimasukkan sebagai retak sudut yang parah
3.	Penanggaan ( <i>faulting</i> )	1 plat	merupakan perbedaan elevasi dua panel yang berdampingan pada sambungan
4.	Retak linear ( <i>linear cracking</i> )	1 plat	Retak linier ini membagi panel menjadi dua atau tiga bagian (panel yang terbagi menjadi empat atau lebih bagian dimasukkan sebagai panel yang mengalami pemisahan). Retak rambut yang panjangnya hanya beberapa puluh cm dan tidak merambat di seluruh panel dinilai sebagai retak susut

No	Jenis Kerusakan	Satuan	Deskripsi
5.	Panel pecah ( <i>punched out</i> )	1 plat	Merupakan fenomena di mana panel pecah menjadi beberapa bagian. <i>Punched out</i> dapat terjadi dalam beberapa bentuk dan ukuran, namun biasanya hal tersebut dibatasi oleh retak dan sambungan
6.	Retak susut/ lainnya ( <i>shrinkage/other cracking</i> )	1 plat	Merupakan retak rambut yang biasanya mempunyai panjang kurang dari 2 m dan tidak melintas di seluruh lebar panel. Retak susut biasanya terbentuk pada saat beton mulai mengeras ( <i>setting and curing</i> ) dan tidak tembus pada seluruh tebal panel
7.	Pemompaan ( <i>pumping</i> )	1 plat	Merupakan fenomena keluarnya bahan fondasi melalui sambungan atau retak. Pemompaan terjadi akibat defleksi pelat pada saat roda kendaraan melintasi sambungan; pertama-tama air di bawah panel yang pertama tertekan dan kemudian tertekan kembali oleh panel yang ke dua
8.	Gompal sudut ( <i>spalling corner</i> )	1 plat	Merupakan kerusakan panel pada daerah sudut, yaitu kuantitasnya sekitar 0,5 m ( <i>1,5 feet</i> ). Gompal sudut ≠ retak sudut, di mana gompal sudut membentuk sudut dengan bidang vertikal, sedangkan retak sudut sejajar dengan bidang vertikal
9.	Gompal sambungan ( <i>spalling joint</i> )	1 plat	Merupakan pecahnya tepi panel di sekitar sambungan dalam daerah sekitar 0,5 m
10	Tambalan ( <i>patching</i> )	1 plat	Merupakan suatu bagian perkerasan dimana perkerasan lama dibongkar dan diganti dengan bahan yang baru. Tambalan utilitas adalah tambalan yang menggantikan bagian perkerasan asli agar dapat dilakukan pemasangan atau pemeliharaan utilitas di bawah permukaan
11.	Kerusakan bahan penyumbat ( <i>joint seal</i> )	1 plat	Merupakan kondisi yang memungkinkan tanah atau kerikil atau air memasuki sambungan. Bahan padat yang terakumulasi pada sambungan akan mencegah pemuaian panel sehingga dapat menimbulkan pelengkungan, peremukan, atau gompal
12.	Penurunan lajur/bahu ( <i>drop off</i> )	mm	Merupakan perbedaan elevasi permukaan bagian tepi perkerasan dengan permukaan bahu. Perbedaan elevasi dapat mengganggu keselamatan, dan juga dapat meningkatkan infiltrasi air

c. Bahu jalan

Untuk identifikasi kerusakan pada bahu jalan diperkeras mengacu pada 12 jenis kerusakan seperti pada 5.2.2. poin (a) dan (b).

d. Marka jalan

AI dapat mengidentifikasi lokasi-lokasi yang tidak terdapat marka jalan dan marka yang pudar.

e. Genangan air

AI dapat mengidentifikasi adanya genangan air pada badan jalan.



### 5.2.3 Validasi Dataset

Validasi dataset bertujuan untuk memastikan bahwa data yang digunakan untuk pelatihan dan pengujian model *machine learning* representatif dan bebas dari bias. Proses ini mencakup:

- a. Pembagian *dataset*  
Pembagian data dengan proporsi yang sesuai sehingga menghindari *overfitting* dan memastikan model dapat digeneralisasi dengan baik.
- b. Keseimbangan kelas  
Memastikan bahwa *dataset* memiliki distribusi kelas yang seimbang antara berbagai jenis kerusakan jalan untuk menghindari bias model terhadap kelas tertentu.
- c. Kualitas data  
Mengevaluasi kualitas gambar atau video, seperti resolusi dan pencahayaan, serta memastikan bahwa data tidak mengandung *noise* yang signifikan yang dapat mengganggu proses pelatihan.

### 5.2.4 Pelatihan Model

Pada fase ini, model AI dilatih menggunakan *labeled data* yang berisi informasi tentang jenis-jenis kerusakan jalan menggunakan algoritma *machine learning* yang dipilih.

### 5.2.5 Inferensi

Setelah model terlatih, model ini digunakan untuk mendeteksi kerusakan jalan pada gambar atau video baru. Jenis inferensi antara lain:

- a. *Feature extraction*: Ekstraksi fitur penting dari gambar, seperti tepi, tekstur, dan pola lain yang relevan.
- b. Deteksi dan klasifikasi objek: Model terlatih digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kerusakan jalan.
- c. Segmentasi (opsional): Segmentasi area yang rusak untuk mendapatkan lokasi yang lebih presisi.

### 5.2.6 Pasca Pemrosesan

Setelah deteksi selesai, dilakukan proses penyempurnaan untuk meningkatkan kualitas keluaran sebagai berikut:

- a. Membuat kotak pembatas (*instance segmentation*) di sekitar bagian jalan yang rusak.
- b. Menghapus kesalahan deteksi atau *noise* dari hasil akhir.

## 5.3 Ketentuan Output

### 5.3.1 Hasil Identifikasi Data

AI harus dapat mengidentifikasi data-data sebagaimana telah dijelaskan pada 5.2. Data yang dihasilkan termasuk dengan jenis kerusakan, detail lokasi (*chainage*, *latitude*, dan *longitude*), luasan kerusakan, sebaran dan tingkat kerusakan, serta mencatat waktu dan tanggal pengambilan dan pengolahan data gambar. Data kerusakan jalan ditetapkan ukuran dimensi dan jarak dengan ketelitian 0,1 meter. Setiap bingkai data gambar harus diolah, sehingga terbentuk data kondisi yang menerus untuk setiap ruas jalan, dengan cakupan penilaian kondisi mencakup seluruh ruas jalan/jaringan jalan yang disurvei.

### 5.3.2 Indikator Penilaian Kondisi Permukaan Jalan

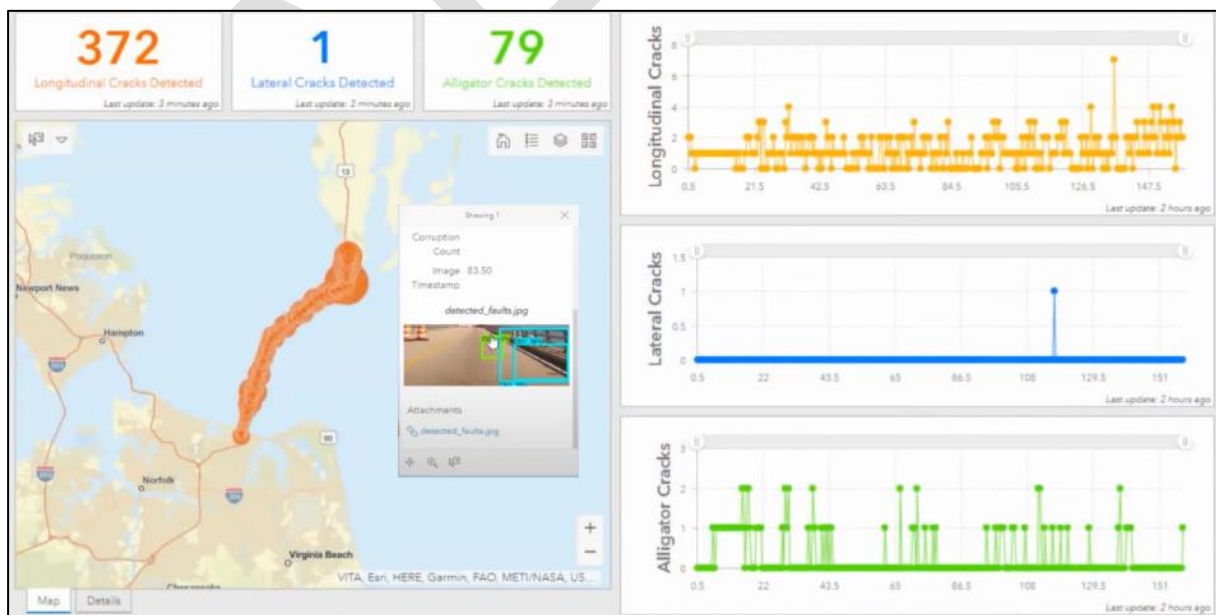
Identifikasi jenis kerusakan permukaan jalan, tingkat keparahan dan luasannya harus dapat diolah ke dalam suatu indikator penilaian. Pada saat ini, indikator yang berlaku adalah PCI yang ditunjukkan dalam rentang nilai 0 sampai 100 di mana angka yang lebih tinggi menunjukkan kondisi permukaan jalan yang lebih baik. PCI dapat menjadi salah satu komponen dalam penentuan jenis penanganan jalan yang ditunjukkan dalam Tabel 4.

**Tabel 3 – Skala penilaian KPI PCI**

Skor IKP Kondisi Permukaan Jalan	Deskripsi	Rentang PCI <sub>final</sub>
1	Sangat Baik	PCI > 85
2	Baik	70 < PCI ≤ 85
3	Sedang	55 < PCI ≤ 70
4	Rusak Ringan	25 < PCI ≤ 55
5	Rusak Berat	PCI ≤ 25

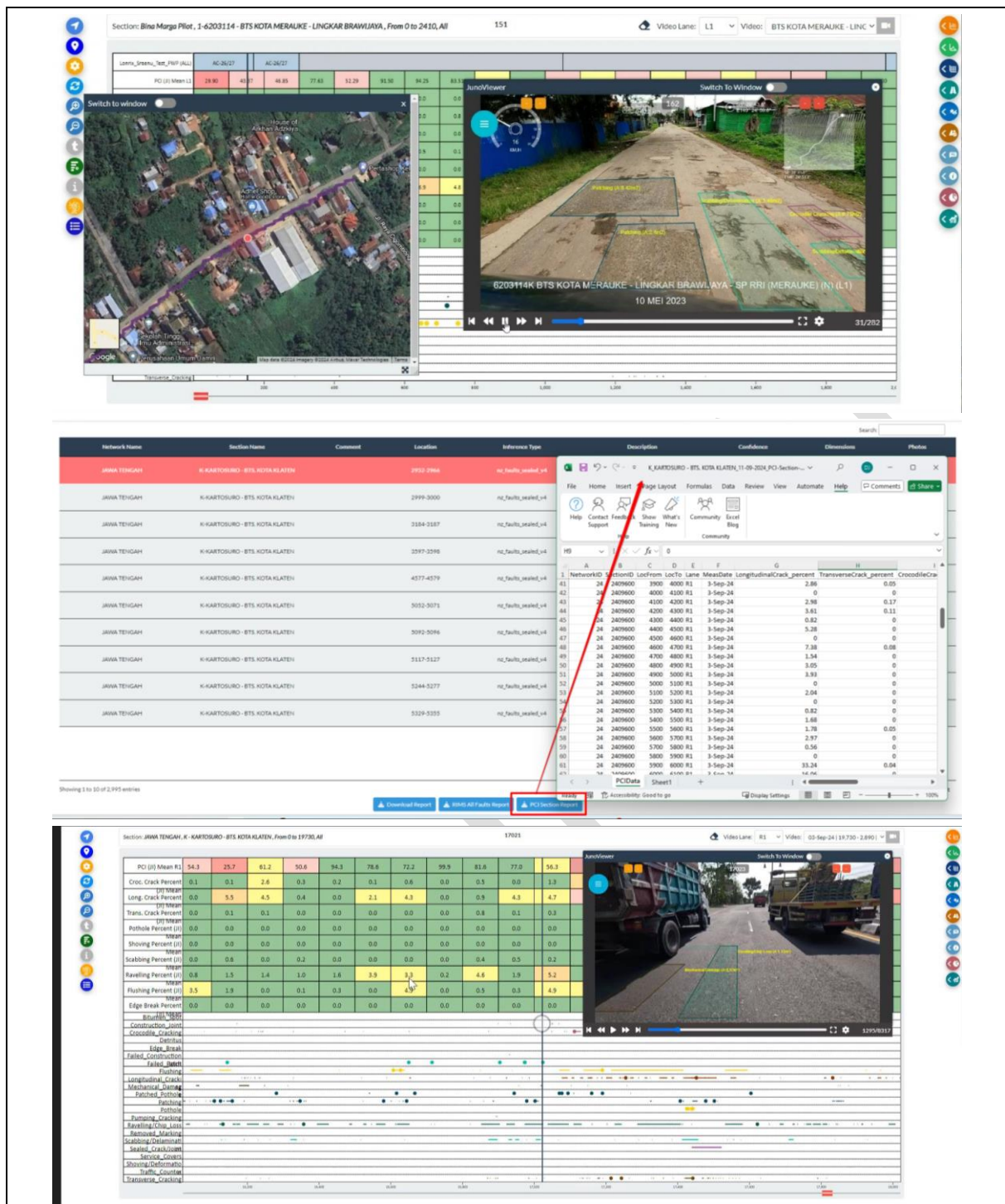
**Tabel 4 – Penggunaan PCI untuk menentukan jenis penanganan**

PCI	Jenis Penanganan
≥85	Pemeliharaan rutin
70 -- 85	Pemeliharaan berkala
55 -- 70	Peningkatan struktural
<55	Rekonstruksi/daur ulang



Sumber: Esri, 2022

**Gambar 4 – Contoh tampilan hasil identifikasi kerusakan jalan**



Sumber: Lonrix, 2024

Gambar 5 - Contoh tampilan hasil nilai PCI ruas jalan

### 5.3.3 Keluaran Survei Sebagai Input SMD

Hasil keluaran AI dapat digunakan sebagai data *input* dalam Sistem Masukan Data (SMD) Direktorat Jenderal Bina Marga. SMD merupakan *tools* pengelolaan *database* yang diperoleh dari hasil survei jaringan jalan di lapangan yang selanjutnya digunakan untuk pemrograman, perencanaan, pemantauan, dan evaluasi penyelenggaraan jalan.

## 5.4 Evaluasi Data

Evaluasi data merupakan tahap penting dalam memastikan bahwa model *machine learning* yang digunakan untuk deteksi kerusakan jalan bekerja secara efektif dan akurat. Evaluasi ini mencakup penilaian terhadap kualitas data yang digunakan, performa model, serta validasi hasil deteksi terhadap data yang sebenarnya. Berikut adalah langkah-langkah dan metrik yang umum digunakan dalam evaluasi data.

### 5.4.1 Metrik Evaluasi Model

Metrik evaluasi model digunakan untuk mengukur kinerja model *machine learning* dalam mendeteksi kerusakan jalan yang kemudian dibandingkan dengan data survei yang telah diberikan *label*.

*Confusion matrix* membantu dalam mengidentifikasi jenis kesalahan yang paling sering dilakukan oleh model, sehingga perbaikan dapat diarahkan secara spesifik. Metrik yang umum digunakan berdasarkan *confusion matrix* meliputi:

- a. **Presisi**  
Rasio antara jumlah deteksi yang benar (*true positives*) dengan total deteksi positif (*true positives* + *false positives*). Presisi tinggi berarti model jarang memberikan deteksi yang salah.
- b. **Sensitivity/Recall**  
Rasio antara jumlah deteksi yang benar (*true positives*) dengan total kejadian aktual yang seharusnya terdeteksi (*true positives* + *false negatives*).
- c. **Average Precision (AP)**  
*Average precision* dihitung dengan mengambil nilai presisi pada tingkat *recall* yang berbeda (menggunakan ambang batas tertentu) dan merata-ratakannya. Ini memberikan nilai presisi spesifik untuk tiap kelas data.
- d. **Mean Average Precision (mAP)**  
*Mean average precision* adalah metrik evaluasi yang paling indikatif untuk algoritma pendeteksi objek. *Mean average precision* dihitung dengan merata-ratakan nilai *average precision* untuk seluruh kelas data. Ini memberikan penilaian keseluruhan seberapa baik kinerja model. Nilai mAP minimal adalah 0,9.
- e. **F1-Score**  
Merupakan *harmonic mean* dari presisi dan *recall*. F1-Score memberikan keseimbangan antara presisi dan *recall*, terutama ketika dataset tidak seimbang. Nilai F1-Score minimal 0,9.

### 5.4.2 Teknik Perbaikan Model

Jika model tidak memenuhi persyaratan nilai metrik yang ditentukan pada 5.4.1, beberapa teknik dapat diterapkan untuk memperbaiki kinerja model:

- a. **Cross-Validation**  
*Cross-validation* digunakan untuk menilai stabilitas dan keandalan model *machine learning*. Teknik yang umum digunakan adalah *K-Fold Cross-Validation*, di mana *dataset* dibagi menjadi K subset, dan model dilatih serta diuji K kali, dengan setiap subset digunakan sekali sebagai dataset pengujian. Hasil evaluasi dari K iterasi kemudian dirata-ratakan untuk memberikan gambaran yang lebih andal tentang performa model.

- b. *Data augmentation*  
*Data augmentation* dapat digunakan untuk membantu model agar lebih baik mengenali pola kerusakan dalam berbagai kondisi.
- c. Regularisasi  
 Regularisasi dapat digunakan untuk mencegah *overfitting* dengan menambahkan penalti pada kompleksitas model. Teknik seperti *L2 regularization* atau *drop out* dapat diterapkan untuk menjaga model agar tidak terlalu sesuai dengan data pelatihan dan mampu generalisasi lebih baik pada data baru.
- d. *Hyperparameter tuning*  
 Pengaturan ulang *hyperparameter model* (seperti *learning rate*, jumlah lapisan, atau ukuran *batch*) dapat dilakukan untuk menemukan konfigurasi yang lebih optimal dan meningkatkan kinerja model.
- e. *Transfer learning*  
 Teknik ini dapat digunakan agar model yang telah dilatih pada *dataset* lain yang serupa dan menyesuaikannya dengan *dataset* spesifik yang digunakan. Ini dapat mempercepat pelatihan dan meningkatkan kinerja model terutama jika *dataset* yang tersedia terbatas.
- f. Metode *ensemble*  
 Menggabungkan beberapa model untuk meningkatkan kinerja keseluruhan. Teknik seperti *bagging* atau *boosting* dapat digunakan untuk mengurangi varians dan bias, serta meningkatkan akurasi prediksi.
- g. Pelabelan Manual  
 Dilakukan perbaikan label deteksi model AI secara manual yang digunakan untuk meningkatkan performa model.

## 5.5 Keamanan dan Etika Data

Penggunaan teknologi AI dalam pemantauan kondisi jalan memungkinkan pengumpulan dan analisis data dalam skala besar. Untuk itu, penting untuk memastikan keamanan dan etika dalam pengelolaan data yang dikumpulkan agar terhindar dari potensi ancaman peretasan, kehilangan data, dan pelanggaran etika.

### 5.5.1. Keamanan Data

- a. Penyimpanan data di dalam negeri  
 Data harus dipastikan untuk disimpan di pusat data yang berlokasi di dalam negeri. Hal ini bertujuan untuk mematuhi regulasi lokal dan meningkatkan kontrol atas data tersebut.
- b. Antivirus dan *antimalware*  
 Pastikan setiap perangkat server dilengkapi dengan perangkat lunak antivirus dan *antimalware* yang kuat. Ini penting untuk mendeteksi dan menghapus ancaman sebelum mereka dapat menyebabkan kerusakan pada sistem atau data.
- c. *Backup* data  
 Lakukan *backup* data secara teratur dan simpan hasil *backup* di lokasi yang aman. Lokasi penyimpanan yang direkomendasikan antara lain *hard drive* eksternal atau layanan penyimpanan *cloud* yang terpercaya. Proses *backup* yang rutin sangat penting untuk memungkinkan pemulihan data tanpa harus membayar tebusan jika terjadi serangan *ransomware*.



- d. Segmentasi jaringan  
Segmentasikan jaringan untuk mencegah penyebaran *ransomware* atau ancaman lainnya ke sistem lain di dalam jaringan. Segmentasi ini juga membantu membatasi dampak dari serangan yang berhasil menembus satu bagian dari jaringan.
- e. *Zero trust security*  
Terapkan pendekatan keamanan berbasis *zero trust*. Pendekatan ini mengharuskan setiap akses ke sistem dan data untuk diverifikasi, terlepas dari sumbernya, serta pemantauan aktivitas yang dilakukan untuk mendeteksi dan merespon ancaman secara proaktif.
- f. Kepemilikan data  
Seluruh data, baik data mentah maupun hasil analisis, sepenuhnya menjadi milik pengguna. Pengguna memiliki kendali penuh atas penggunaan, distribusi, dan penghapusan data tersebut. Penyedia layanan hanya dapat mengakses dan menggunakan data dengan persetujuan dari pengguna. Kebijakan ini dirancang untuk melindungi privasi pengguna serta menjamin kepemilikan atas data yang dihasilkan. Selain itu, kebijakan ini juga berperan sebagai sarana alih pengetahuan untuk mendorong pengembangan teknologi dan inovasi secara berkelanjutan.

#### 5.5.2. Etika Data

Selain keamanan, penerapan prinsip-prinsip etika dalam pengelolaan data juga sangat penting. Dalam konteks ini, berikut adalah beberapa pedoman yang harus diperhatikan:

- a. Transparansi  
Setiap implementasi kecerdasan buatan harus dilakukan dengan transparansi penuh. Pengguna sistem elektronik memiliki hak untuk mengetahui bagaimana data mereka digunakan dalam pengembangan teknologi. Transparansi ini mencakup pemberian akses informasi terkait penggunaan data kepada pihak yang berhak.
- b. Akuntabilitas  
Keputusan dan inovasi yang dihasilkan melalui penggunaan kecerdasan buatan harus dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, informasi yang dihasilkan harus bisa dipercaya dan, jika diperlukan, dapat dipertanggungjawabkan kepada publik atau pihak berwenang.
- c. Pelindungan data pribadi  
Setiap aktivitas yang melibatkan penggunaan data pribadi harus mematuhi ketentuan peraturan perundang-undangan terkait perlindungan data pribadi. Data pribadi harus dilindungi dari potensi penyalahgunaan, baik oleh pihak internal maupun eksternal.

## Bibliografi

- BISHOP, Christopher M, 2006. *Pattern recognition and machine learning*. Springer. 2006. Vol. 2, p. 1122–1128.
- ESRI, 2022, *Machine Learning, Artificial Intelligence and ArcGIS*, [https://mediaspace.esri.com/media/t/1\\_byg43co4](https://mediaspace.esri.com/media/t/1_byg43co4)
- GIRSHICK, Ross, DONAHUE, Jeff, DARRELL, Trevor and MALIK, Jitendra, 2014. *Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation*. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2014. p. 580–587.
- GOODFELLOW, Ian, BENGIO, Yoshua and COURVILLE, Aaron, 2016. *Deep Learning*. MIT Press.
- JAMES, Gareth, WITTEN, Daniela, HASTIE, Trevor, TIBSHIRANI, Robert and TAYLOR, Jonathan, 2023. *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in Python*. Online. Cham: Springer International Publishing. Springer Texts in Statistics. ISBN 978-3-031-38746-3.
- LONRIX, 2024, JunoViewer, <https://www.junoviewerweb.com/junoviewer-features.html>
- REDMON, J., 2016. *You only look once: Unified, real-time object detection*. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2016.
- REN, Shaoqing, HE, Kaiming, GIRSHICK, Ross and SUN, Jian, 2016. *Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks*. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2016. Vol. 39, no. 6, p. 1137–1149.
- RUSSELL, Stuart J. and NORVIG, Peter, 2016. *Artificial intelligence: a modern approach*. Pearson.
- SZELISKI, Richard, 2022. *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Nature.
- WAN, Fang, SUN, Chen, HE, Hongyang, LEI, Guangbo, XU, Li and XIAO, Teng, 2022. *YOLO-LRDD: a lightweight method for road damage detection based on improved YOLOv5s*. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 18 October 2022. Vol. 2022, no. 1, p. 98. DOI 10.1186/s13634-022-00931-x.
- WANG, Beinan, 2022. *A Parallel Implementation of Computing Mean Average Precision*. 19 June 2022. arXiv. arXiv:2206.09504.

### Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa

No.	Nama		Unit Kerja
1	Pemrakarsa	Direktorat Preservasi Jalan dan Jembatan Wilayah II, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat	
2	Koordinator	Rien Marlia, S.T., M.T.	Direktorat Preservasi Jalan dan Jembatan Wilayah II
3	Penyusun	Firman Permana Wandani, S.T., M.PP.	Subdirektorat Data dan Pengembangan Sistem Informasi Jalan dan Jembatan
4		Vito Borkat Harahap, S.T., M.P.W.K., M.M.G.	Subdirektorat Data dan Pengembangan Sistem Informasi Jalan dan Jembatan
5		Fadil Arif Nadia, S.E., M.A.	Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DI Yogyakarta
6		Taufik Nur Adikusuma, S.T., M.Eng.	Subdirektorat Data dan Pengembangan Sistem Informasi Jalan dan Jembatan
7		Lia Ursula, S.A.P., M.T.	Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DI Yogyakarta
8		Saraswati Noor Rachma, S.T.	Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DI Yogyakarta
9		Satrio Hadi Purwono, S.T.	Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DI Yogyakarta
10	Narasumber	Ir. Novias Nurendra, M.Sc.	Praktisi
11		Ir. Aulia Rahman, S.T., M.Sc.	Akademisi
12	Editor Naskah	Subdirektorat Teknologi dan Peralatan Infrastruktur Bina Marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan	