



**Pengembangan Sistem Identifikasi Jenis dan Pengukuran  
Tingkat Kerusakan Jalan Serta Sebarannya  
Menggunakan Model *Convolutional Neural Network* dan  
*Computer Vision***

**Kualifikasi**

**Octaviani Hutapea**  
**99221913**

**PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI  
UNIVERSITAS GUNADARMA**

**2023**

# DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI .....</b>	i
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	iii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	iv
<b>1 Pendahuluan .....</b>	5
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	5
<b>1.2 Rumusan Masalah Penelitian.....</b>	7
<b>1.3 Tujuan Penelitian.....</b>	8
<b>1.4 Batasan Masalah Penelitian.....</b>	8
<b>1.5 Kontribusi Penelitian .....</b>	8
<b>2 Tinjauan Pustaka.....</b>	10
<b>2.1 Pengolahan Citra .....</b>	10
2.1.1 Citra.....	10
2.1.2 Karakteristik Citra Digital .....	10
2.1.3 Segmentasi Citra .....	11
<b>2.2 Analisis Jalan .....</b>	12
<b>2.3 Jenis Kerusakan Jalan.....</b>	14
2.3.1 Retak (Cracking) .....	15
2.3.2 Distorsi (Distortion).....	18
2.3.3 Cacat Permukaan (Disintegration) .....	20
2.3.4 Pengausan (Polished Aggregate).....	21
2.3.5 Kegemukan (Bleeding or Flushing).....	21
2.3.6 Penurunan Pada Bekas Penanaman Utilitas (Utility Cut Depression) .....	22
<b>2.4 Indeks Kondisi Perkerasan (IKP) .....</b>	22
2.4.1 Penentuan Unit-Unit Sampel .....	23
2.4.2 Penentuan Jumlah Unit Sampel .....	23
2.4.3 Penentuan Jarak Antara Unit Sampel .....	23
2.4.4 Penentuan IKP Unit Sampel .....	24
<b>2.5 Convolutional Neural Network .....</b>	29
2.5.1 Proses Konvolusi .....	29
2.5.2 Fungsi Aktivasi.....	30
2.5.3 Pooling Layer.....	33
2.5.4 Fully Connected Layer (FC) Layer .....	34
2.5.5 Proses Pelatihan Data .....	35
2.5.6 Computer Vision .....	38
2.5.7 Evaluasi Kinerja Sistem.....	40
<b>2.6 Sistem Informasi Geografis (SIG).....</b>	41
<b>2.7 Penelitian Terkait .....</b>	41
<b>3 Metode Penelitian .....</b>	44
<b>3.1 Tahapan Penelitian .....</b>	44
<b>3.2 Analisis kebutuhan .....</b>	45
<b>3.3 Akuisisi dan Analisis Data .....</b>	46

<b>3.4</b>	<b>Pembentukan Dataset .....</b>	<b>48</b>
<b>3.5</b>	<b>Pembentukan Model Klasifikasi .....</b>	<b>52</b>
<b>3.6</b>	<b>Pengujian Model.....</b>	<b>53</b>
<b>3.7</b>	<b>Pengukuran Tingkat Kerusakan .....</b>	<b>53</b>
<b>3.8</b>	<b>Penentuan Koordinat Sebaran Kerusakan Pada Jalan.....</b>	<b>54</b>
<b>3.9</b>	<b>Analisis dan Evaluasi Hasil .....</b>	<b>54</b>
<b>3.10</b>	<b>Rencana Pelaksanaan Penelitian .....</b>	<b>54</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Jenis Kerusakan Retak Kulit Buaya (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011) .....	16
Gambar 2.2 Contoh Jenis Kerusakan Retak Tepi atau Pinggir (Nono & Hamdani, 2016) .....	16
Gambar 2.3 Contoh Jenis Kerusakan Retak Refleksi (Nono & Hamdani, 2016).....	18
Gambar 2.4 Contoh Jenis Kerusakan Retak Selip (Nono & Hamdani, 2016).....	18
Gambar 2.5 Contoh Jenis Kerusakan Alur (Nono & Hamdani, 2016) .....	19
Gambar 2.6 Contoh Jenis Kerusakan Lubang (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011) .....	20
Gambar 2.7 Gambar Skala Standar Kelas Indeks Kondisi Perkerasan (Nono & Hamdani, 2016) .....	22
Gambar 2.8 Grafik Nilai Pengurangan Retak Kulit Buaya (Nono & Hamdani, 2016) .....	25
Gambar 2.9 Grafik Nilai Pengurangan Retak Tepi (Nono & Hamdani, 2016) .....	25
Gambar 2.10 Grafik Nilai Pengurangan Retak Refleksi Sambungan (Nono & Hamdani, 2016) .....	26
Gambar 2.11 Grafik Nilai Pengurangan Retak Selip (Nono & Hamdani, 2016) .....	26
Gambar 2.12Grafik Nilai Pengurangan Lubang (Nono & Hamdani, 2016).....	26
Gambar 2.13 Grafik Nilai Pengurangan Alur (Nono & Hamdani, 2016).....	27
Gambar 2.14 Kurva Untuk Menentukan Nilai Pengurang Terkoreksi (NPT) Unit Sampel Perkerasan Beton Aspal (Nono & Hamdani, 2016).....	28
Gambar 2.15 Retak Kulit Buaya (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011) .....	29
Gambar 2.16 Kurva Fungsi Aktivasi Sigmoid (Ghosh et al., 2019).....	31
Gambar 2.17 Kurva Fungsi Aktivasi Tanh (Ghosh et al., 2019).....	31
Gambar 2.18 Kurva Fungsi Aktivasi ReLU (Ghosh et al., 2019).....	32
Gambar 2.19 Kurva Fungsi Aktivasi Leaky ReLU (Ghosh et al., 2019).....	32
Gambar 2.20 Kurva Fungsi Aktivasi Noisy ReLU (Ghosh et al., 2019).....	32
Gambar 2.21 Fully Connected Layer (Ghosh et al., 2019).....	35
Gambar 2.22 Hubungan Antara Gambar, Geometri, dan Fotometri dalam Computer Vision (Szeliski, 2021) .....	39
Gambar 3.1 Tahapan Rencana Penelitian .....	44
Gambar 3.2 Tahapan Pembentukan Dataset Jenis dan Tingkat Kerusakan.....	48
Gambar 3.3 Tahapan Pembentukan Model Klasifikasi .....	52
Gambar 3.4 Tahapan Perhitungan Penentuan IKP Unit Sampel .....	54
Gambar 3.5 Tahapan Penentuan Koordinat Sebaran Kerusakan Pada Jalan .....	54

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Penggunaan IKP Untuk Jenis Penanganan .....	22
Tabel 2.2 Contoh Matriks Konfusi Untuk Tugas Klasifikasi Tiga Kelas, Dengan Kelas A, B, dan C (Ting, 2010).....	40
Tabel 2.3 Confussion Matrix .....	40
Tabel 2.4 Ringkasan Penelitian Identifikasi Kerusakan Jalan Perkerasan .....	41
Tabel 3.1 Jenis dan Tingkat Kerusakan serta Perbaikan Terhadap Kerusakan Jalan Perkerasan (Nono & Hamdani, 2016) .....	45
Tabel 3.2 Contoh Pelabelan Citra Kerusakan Berdasarkan Jenis Kerusakan (Nono & Hamdani, 2016).....	49
Tabel 3.3 Contoh Tingkat Kerusakan Jalan Perkerasan Berdarkan Indeks Kondisi Perkersan Jalan (Nono & Hamdani, 2016) .....	50
Tabel 3.4 Pembagian Dataset (Data Latih dan Data Uji).....	52

# 1 Pendahuluan

## 1.1 Latar Belakang

Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) terus mengalami perkembangan seiring berjalannya waktu. Teknologi informasi adalah teknologi yang digunakan untuk mengolah data meliputi pemrosesan, akuisisi, penyusunan, penyimpanan, dan manipulasi data menggunakan berbagai cara dan prosedur untuk menghasilkan informasi yang dibutuhkan dengan kualitas dan nilai yang tinggi. Teknologi komunikasi merupakan proses dan pentransferan data dari perangkat satu ke yang lainnya.

Peranan perkembangan TIK meliputi beberapa bidang diantaranya, bidang kesehatan, kepolisian, perdagangan elektronik, perbankan, pendidikan, transportasi, dan lainnya. Perkembangan TIK dibidang transportasi meliputi sistem navigasi pada pesawat, pemanfaatan GPS dalam menentukan rute perjalanan, lahirnya sistem transportasi cerdas, melakukan pengukuran pada gambar dengan menggunakan *computer vision* untuk mengidentifikasi suatu jenis kerusakan dan sebagainya. Berdasarkan data yang disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada laporan Kondisi Jalan Nasional semester I tahun 2023, bahwa keadaan jalan di Indonesia saat ini berdasarkan kondisi jalan per provinsi yaitu 37.91% berstatus baik, 54.33% berstatus sedang, 5.99% berstatus ringan, dan 1.78% berstatus rusak berat. Angka tersebut didapatkan dari rata-rata kondisi jalan pada 33 provinsi di Indonesia (PUPR, 2023).

Penyebab kerusakan jalan dapat disebabkan oleh peningkatan beban lalu lintas, air yang dapat berasal dari air hujan maupun sistem drainase yang kurang baik, kurang baiknya material konstruksi perkerasan itu sendiri ataupun pengolahan perkerasan yang kurang baik, iklim tropis di Indonesia dimana suhu udara serta curah hujan yang umumnya tinggi, kondisi tanah dasar dari perkerasan yang tidak stabil, dan proses pemasangan diatas lapisan tanah dasar yang kurang baik (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011).

Manual Pemeliharaan Jalan No : 03/MN/B/1983 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga menerangkan klasifikasi kerusakan jalan dapat dibedakan menjadi 6 bagian umum yaitu Retak (*cracking*), Distorsi (*distortion*), Cacat permukaan (*disintegration*), Pengausan (*polished aggregate*), Kegemukan (*bleeding or flushing*), dan Penurunan pada bekas penanaman utilitas (*utility cut depression*).

Pedoman survei pengumpulan data kondisi jaringan jalan menyatakan survei kondisi perkerasan jalan sampai dengan menentukan tingkat kerusakan perkerasan jalan masih dilakukan secara manual. Survei Indeks Kondisi Perkerasan Jalan dilaksanakan sebanyak 1 (satu) kali dalam setahun, dengan maksud untuk menyediakan informasi yang

memadai tentang kondisi aset perkerasan jalan yang diperlukan untuk perencanaan strategis dan keputusan manajemen yang akan diambil. Survei Indeks Kondisi Perkerasan (Pavement Condition Index- PCI) adalah suatu indeks numerik yang digunakan untuk menyatakan kondisi perkerasan jalan, berdasarkan suatu pengamatan visual terhadap jenis, tingkat keparahan dan sebaran kerusakan jalan (berdasarkan Petunjuk Penentuan Indeks Kondisi Perkerasan (IKP) SE Menteri PUPR 19/SE/M/2016 Tanggal 11 Oktober 2016). Keuntungan Otomatisasi sistem dapat membantu Lembaga Direktorat Jenderal Bina Marga dalam Survei Indeksi Kondisi Perkerasan Jalan dimana dalam pencatatan jenis, tingkat, dan lokasi kerusakan masih dilakukan secara manual.

Huyan ju et.al (2019) mengusulkan arsitektur pendekripsi retakan piksel canggih yang disebut CrackU-net, yang dilengkapi dengan pemanfaatan teknologi *deep neural network*. CrackU-net mencapai deteksi retakan piksel melalui konvolusi, pengumpulan, konvolusi transpos, dan operasi penggabungan, membentuk arsitektur model berbentuk "U". Model dilatih dan divalidasi oleh 3.000 gambar retakan perkerasan, dimana 2.400 untuk pelatihan dan 600 untuk validasi, menggunakan algoritma Adam. Eksperimen menunjukkan bahwa CrackU-net dapat mengekstrak informasi retakan dengan benar dari latar belakang perkerasan, terlepas dari tingkat kebisingan, kondisi latar belakang, dan kualitas gambar asli selama titik retakan dapat dikenali oleh manusia. Namun, metode tradisional biasanya gagal memberikan hasil yang memuaskan ketika gambar retakan mengandung banyak noise atau banyak pecahan retakan kecil. Hal ini membuktikan efektivitas dan ketahanan CrackU-net untuk deteksi retakan piksel (Huyan et al., 2020).

Jing P et.al (2023) melakukan pendekripsi kerusakan jalan menggunakan *Deep Neural Network* berdasarkan *Attention Mechanism* dan *Residual Structure* menggunakan tiga jenis data set yaitu *DeepCrack*, *Crack Forest Dataset*, dan *Road Image Dataset*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dapat meningkatkan akurasi dari ketiga data set dibandingkan dengan beberapa metode yang terdahulu (Jing et al., 2023).

Ahmed abed et.al (2023) melakukan prediksi kinerja perkerasan menggunakan kurva kerusakan akibat kerusakan menggunakan pengukuran metode SCANNER sebelumnya. Otoritas jalan raya di Inggris menggunakan metode SCANNER untuk mendekripsi dan mengukur sebagian besar kerusakan pada jalan di Inggris, namun data yang dibutuhkan mahal dan intensif karena dilakukan setiap tahun. Hasilnya menunjukkan bahwa metode yang dikembangkan dapat diimplementasikan dalam memprediksi kerusakan permukaan jalan dengan menggunakan pengukuran sebelumnya, sehingga metode ini menjadi alat tambahan yang berharga bagi otoritas jalan raya yang mengalami kekurangan dana (Abed et al., 2023).

Bandi sasmito et.al (2023) melakukan pendekripsi kerusakan jalan menggunakan pengolahan citra *Deep Learning* di Kota Semarang. Metode *You Only Look Once* digunakan dalam penelitian ini. Setelah mendapatkan jenis kerusakan, lokasi kerusakan ditambahkan pada peta menggunakan *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Nilai akurasi yang dihasilkan terhadap hasil identifikasi jenis dan tingkat kerusakan berada pada rerata 88% dan nilai kapa akurasi sebesar 86% serta koordinat akurasi sebaran kerusakan dengan RMSE sebesar  $\pm 5,6$  meter (Sasmito et al., 2023).

Jennie et.al (2022) melakukan pendekripsi kerusakan jalan menggunakan pengolahan citra K-NN (*K Nearest Neighbor*) di Jalan Tegar Beriman Kabupaten Bogor. Kerusakan pada perkerasan jalan yang diidentifikasi kedalam tiga pengklasifikasian yaitu retak, retak kulit buaya, dan lubang. Pengambilan citra kerusakan jalan dengan menggunakan kamera Canon EOS M100 dengan resolusi 6000 x 4000 pixels dengan menggunakan frame 35 cm x 52 cm. Nilai akurasi yang dihasilkan terhadap hasil identifikasi jenis kerusakan berada pada rerata 83% pada model yang dibuat (Kusumaningrum et al., 2022).

Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya fokus penelitian tertuju pada identifikasi jenis maupun tingkat kerusakan berdasarkan dataset citra kerusakan jalan menggunakan metode-metode terpilih salah satunya metode *Convolutional Neural Network* yang memberikan akurasi cukup baik. Sesuai dengan kebutuhan analisis jenis dan tingkat kerusakan perkerasan jalan dimana dibutuhkan pengukuran terhadap citra kerusakan yang diambil berdasarkan survei yang dilakukan secara manual oleh staf terkait di Direktorat Jenderal Bina Marga. Berdasarkan hasil analisis di atas maka diusulkan Pengembangan Sistem Identifikasi Jenis dan Pengukuran Tingkat Kerusakan Jalan Serta Sebarannya Menggunakan Model *Convolutional Neural Network* dan *Computer Vision*.

## 1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan batasan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun dataset identifikasi jenis kerusakan berdasarkan teknik perbaikan jalan pada jalan perkerasan?
2. Bagaimana membangun dataset identifikasi tingkat kerusakan pada jalan perkerasan berdasarkan data set jenis kerusakan?
3. Bagaimana melakukan pengukuran kerusakan pada setiap jenis kerusakan?
4. Bagaimana membuat sebaran data kerusakan berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan pada jalan perkerasan?

5. Bagaimana membangun sebuah purwarupa perangkat lunak aplikasi sistem identifikasi jenis dan pengukuran tingkat kerusakan jalan?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Sesuai dengan rumusan masalah penelitian yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan dataset jenis kerusakan pada jalan perkerasan berdasarkan teknik perbaikan jalan.
2. Menghasilkan dataset tingkat kerusakan pada jalan perkerasan berdasarkan data set jenis kerusakan.
3. Menghasilkan algoritma untuk melakukan pengukuran kerusakan pada setiap jenis kerusakan.
4. Menghasilkan sebaran data kerusakan berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan pada jalan perkerasan.
5. Menghasilkan prototype sistem identifikasi jenis dan tingkat kerusakan jalan serta sebarannya menggunakan model *convolutional neural network*.

### **1.4 Batasan Masalah Penelitian**

1. Kerusakan jalan yang diteliti meliputi Retak Permukaan (retak kulit buaya, retak tepi, retak refleksi sambungan, dan retak selip), Lubang, dan Alur.
2. Tingkat kerusakan untuk setiap jenis kerusakan terbagi kedalam tiga tingkatan yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi.

### **1.5 Kontribusi Penelitian**

Dalam segi keilmuan penelitian ini akan menghasilkan dataset jenis dan tingkat kerusakan. Dari sisi metode, penelitian ini diusahakan untuk menemukan cara baru/penambahan/modifikasi dari metode yang ada untuk proses pengklasifikasian dan pengukuran dengan memanfaatkan citra kerusakan jalan.

Dari sisi teknologi, prototype ini menghasilkan suatu sistem identifikasi jenis dan pengukuran tingkat kerusakan jalan serta sebarannya menggunakan model *convolutional neural network* dan *computer vision*. Dari sisi pengguna dalam hal ini Direktorat Jenderal Bina Marga pengembangan sistem ini dapat membantu dan memudahkan pengguna dalam membedakan jenis kerusakan jalan dan pengukuran terhadap tingkat kerusakan jalan. Proses otomatisasi akan menghasilkan percepatan waktu proses pengklasifikasian kerusakan dibandingkan proses manual yang selama ini dilakukan oleh Bina Marga. Pencatatan lokasi sebaran kerusakan yang dilakukan secara otomatis pada peta juga dapat membantu

mempermudah bina marga untuk menemukan lokasi titik kerusakan beserta jenis dan tingkat kerusakannya. Percepatan proses identifikasi yang dihasilkan oleh prototype sistem secara tidak langsung dapat mempercepat proses perbaikan jalan sehingga manfaat bagi masyarakat mendapatkan kenyamanan saat menggunakan jalan.

## **2 Tinjauan Pustaka**

### **2.1 Pengolahan Citra**

Bidang pengolahan citra mengacu pada pemrosesan gambar digital melalui komputasi digital. Area penerapan pengolahan citra digital sangat bervariasi sehingga diperlukan suatu bentuk organisasi dalam upaya menangkap luasnya bidang ini. Salah satu cara paling sederhana untuk mengembangkan pemahaman dasar tentang sejauh mana aplikasi pemrosesan gambar adalah dengan mengkategorikan gambar menurut sumbernya (misalnya visual, sinar-X, dan sebagainya). Sumber energi utama untuk gambar yang digunakan saat ini adalah spektrum energi elektromagnetik. Sumber energi penting lainnya termasuk akustik, ultrasonik, dan elektronik (dalam bentuk berkas elektron yang digunakan dalam mikroskop elektron). Gambar sintetis, yang digunakan untuk pemodelan dan visualisasi, dihasilkan oleh komputer (Gonzalez & Woods, 2008).

#### **2.1.1 Citra**

Suatu bayangan dapat didefinisikan sebagai fungsi dua dimensi,  $f(x, y)$ , dimana  $x$  dan  $y$  adalah koordinat spasial (bidang), dan amplitudo  $f$  pada setiap pasangan koordinat  $(x, y)$  disebut intensitas atau tingkat keabuan gambar pada titik tersebut. Jika  $x$ ,  $y$ , dan nilai intensitas  $f$  semuanya berhingga, besaran diskrit, maka kita menyebut citra tersebut sebagai citra digital (Gonzalez & Woods, 2008). Citra digital adalah gambar dua dimensi yang dapat ditampilkan pada layar monitor komputer sebagai himpunan titik-titik dengan nilai digital berhingga yang disebut dengan picture elements atau pixel (Munir, 2004). Citra digital terdiri dari sejumlah elemen yang terbatas, yang masing-masing memiliki lokasi dan nilai tertentu. Elemen-elemen tersebut disebut elemen gambar, pel, dan piksel. Piksel adalah istilah yang paling banyak digunakan untuk menunjukkan elemen citra digital.

#### **2.1.2 Karakteristik Citra Digital**

Citra digital memiliki karakteristik yang sangat membantu untuk menganalisis citra dalam proses pengolahan citra. Karakteristik citra digital tersebut antara lain (Yanu et al., 2022):

1. Kecerahan (*brightness*), merupakan intensitas cahaya dari suatu pixel citra
2. Kontras (*contrast*), yang menyatakan sebaran gelap dan terang suatu citra. Jika citra memiliki kontras yang rendah, maka citra tersebut tampak terang atau sebaliknya gelap, namun jika memiliki kontras yang baik, sebaran gelap terang citra akan merata.

3. Kontur (*contour*), suatu kondisi adanya perubahan intensitas yang tajam antara satu pixel dengan pixel tetangga, sehingga dengan adanya kondisi ini dapat ditentukan pendektsian tepi suatu objek citra.
4. Warna (*colour*), merupakan persepsi visual manusia karena adanya panjang gelombang cahaya yang dipantulkan oleh suatu objek. Warna-warna yang diterima oleh sistem visual manusia merupakan kombinasi panjang gelombang cahaya yang berbeda-beda, kombinasi warna yang memberikan rentang warna yang paling lebar adalah *red* (R), *green* (G), dan *blue* (B).
5. Bentuk (*shape*), adalah properti intrinsic objek tiga dimensi, dengan pengertian bahwa bentuk merupakan property intrinsic utama untuk sistem visual manusia.
6. Tekstur (*texture*) dicirikan sebagai distribusi spasial derajat keabuan di dalam sekumpulan pixel-pixel bertetangga. Tekstur adalah sifat-sifat atau karakteristik yang dimiliki oleh suatu daerah yang cukup besar sehingga secara alami sifat-sifat tadi dapat berulang dalam daerah tersebut, yang dapat berupa keteraturan pola-pola tertentu yang terbentuk dari susunan pixel-pixel dalam citra digital.

### **2.1.3 Segmentasi Citra**

Segmentasi citra merupakan pemisahan objek-objek yang terdapat dalam gambar tersebut sesuai dengan intensitasnya masing-masing sehingga dapat mendekksi objek yang diinginkan dibedakan dengan latar belakangnya. (Gonzalez & Woods, 2008). Proses segmentasi pada umumnya terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu segmentasi berdasarkan klasifikasi (*classification-based segmentation*), Segmentasi berdasarkan tepi (*edge-based segmentation*), dan segmentasi berdasarkan daerah (*region-based segmentation*).

#### *2.1.3.1 Classification Based Segmentation*

Segmentasi berbasis klasifikasi bergantung pada hasil klasifikasinya. Pendekatan ini bertujuan untuk menemukan metode optimal untuk mengelompokan seluruh citra input sehingga diharapkan dapat meningkatkan akurasi klasifikasi.

#### *2.1.3.2 Edge Based Segmentation*

Segmentasi citra dilakukan dengan cara pendektsian tepi atau pixel antara berbagai bagian yang memiliki intensitas transit cepat saat diekstrasi. Segmentasi citra berbasis tepi cocok untuk citra yang bebas noise.

#### *2.1.3.3 Region Based Segmentation*

Segmentasi citra berbasi region dilakukan dengan cara membagi citra kedalam beberapa bagian, tujuannya untuk membuat bagian homogeny yang

ukurannya lebih besar dan untuk mencatat setiap perubahan besar pada karakteristik pixel tetangga. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip homogenitas dengan mempertimbangkan fakta bahwa pixel tetangga memiliki karakteristik yang sama di suatu bagian dan tidak sama dengan pixel di bagian lain dengan cara membagi citra menjadi beberapa bagian yang berbeda berdasarkan kriteria yang telah ditentukan termasuk warna, intensitas atau objek.

## 2.2 Analisis Jalan

Menurut UU no. 38 Tahun 2004 tentang Jalan, jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap (jembatan, terowongan, ponton, lintas atas / *flyover, elevated road*, lintas bawah/ *underpass*, tempat parkir, gorong-gorong, tembok penahan, dan saluran tepi jalan) dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Pengklasifikasian jalan menurut undang-undang adalah sebagai berikut (PUPR, 2023):

### 1) Jalan Arteri

Jalan Arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna. Jalan Arteri dapat dikategorikan menjadi dua (Peraturan Daerah (PERDA) Kota Depok Nomor 1 Tahun 2015, 2015):

- a. Jalan arteri primer adalah jalan yang menghubungkan secara berdaya guna antar Pusat Kegiatan Nasional (PKN) atau antara Pusat Kegiatan Nasional dengan Pusat Kegiatan Wilayah (PKW).
- b. Jalan arteri sekunder adalah jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu, antar kawasan sekunder kesatu, kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua.

### 2) Jalan Kolektor

Jalan Kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.

### 3) Jalan Lokal

Jalan Lokal merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

4) Jalan Lingkungan

Jalan Lingkungan merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata rata rendah.

5) Jalan Nasional

Jalan Nasional merupakan jalan arteri dan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi, dan jalan strategis nasional, serta jalan tol.

6) Jalan Provinsi

Jalan Provinsi merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota, atau antar ibukota kabupaten/ kota, dan jalan strategis provinsi.

7) Jalan Kabupaten

Jalan Kabupaten merupakan jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antar ibukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, serta jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten.

8) Jalan Kota

Jalan Kota merupakan jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antar persil, serta menghubungkan antar pusat permukiman yang berada di dalam kota.

9) Jalan Desa

Merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antar permukiman di dalam desa serta jalan lingkungan.

Berdasarkan data yang disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada laporan Kondisi Jalan Nasional semester II tahun 2022, bahwa keadaan jalan di Indonesia saat ini berdasarkan kondisi jalan per provinsi yaitu 37.65% berstatus baik, 54.55% berstatus sedang, 5.44% berstatus ringan, dan 2.35% berstatus rusak berat. Angka tersebut didapatkan dari rata-rata kondisi jalan pada 33 provinsi di Indonesia.

### **2.3 Jenis Kerusakan Jalan**

Penyebab kerusakan pada konstruksi jalan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya sebagai berikut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011):

1. Lalulintas yang berupa peningkatan dan repetisi beban.
2. Air yang melewati pekerasan yang dapat berupa air hujan, sistem drainase jalan yang kurang baik, serta naiknya air dengan sifat kapilaritas.
3. Material konstruksi perkerasan yang dipakai kurang baik atau sistem pengolahan yang tidak baik.
4. Iklim tropis di Indonesia menjadi salah satu faktor kerusakan jalan dikarenakan suhu udara dan curah hujan umumnya tinggi.
5. Kondisi tanah dasar yang tidak stabil, hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya kemungkinan sistem pelaksanaan yang kurang baik atau dapat dikarenakan sifat kondisi tanah dasar yang memang tidak baik.
6. Proses pemasangan di atas lapisan tanah dasar yang kurang baik.

Kerusakan pada perkerasan jalan dapat disebabkan oleh satu faktor maupun gabungan dari faktor-faktor di atas. Sebagai contoh adalah retak pinggir, pada awalnya dapat diakibatkan oleh tidak baiknya sokongan dari samping. Dengan terjadinya retak pinggir, memungkinkan air meresap masuk ke lapisan bawahnya yang dapat melemahkan ikatan antara aspal dengan agregat. Hal ini dapat berakibat melemahnya daya dukung lapisan bawahnya yang dapat menimbulkan lubang-lubang. Maka diperlukan melakukan evaluasi terhadap kerusakan jalan diantaranya, Jenis Kerusakan (*distress type*) dan penyebabnya, Tingkat Kerusakan (*distress severity*), dan Jumlah Kerusakan (*distress amount*). Dari hal tersebut kita dapat menentukan jenis penanganan yang sesuai dengan jenis kerusakan aspal yang timbul.

Menurut manual pemeliharaan jalan No : 03/MN/B/1983 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, kerusakan jalan dapat dibedakan menjadi 6 bagian sebagai berikut :

1. Retak (*cracking*)
2. Distorsi (*distortion*)
3. Cacat permukaan (*disintegration*)
4. Pengausan (*polished aggregate*)
5. Kegemukan (*bleeding or flushing*)

6. Penurunan pada bekas penanaman utilitas (*utility cut depression*)

### 2.3.1 *Retak (Cracking)*

#### 2.3.1.1 *Retak Halus (Hair Cracking)*

Retak halus biasanya memiliki dimensi kerusakan dengar lebar celah lebih kecil atau sama dengan 3mm. Bahan perkerasan yang kurang baik, tanah dasar atau bagian pekerasan di bawah lapis permukaan kurang stabil. Retak halus ini dapat meresapkan air ke dalam permukaan pekerasan. Retak halus dapat berkembang menjadi retak kuliat buaya jika tidak dilakukan pemeliharaan pada kerusakan. Pemeliharaan yang dapat dilakukan antara lain dengan dipergunakan lapis latasir, atau buras. Perbaikan lanjutan juga dengan memperbaiki sistem drainase disekitar daerah kerusakan.

#### 2.3.1.2 *Retak Kulit Buaya (Alligator Cracks)*

Retak halus biasanya memiliki dimensi kerusakan celah dengar lebar celah lebih besar atau sama dengan 3mm. Retak yang ditimbulkan saling berdekatan sehingga membentuk rangkaian kotak kecil yang menyerupai kulit buaya. Penyebab dari retak kulit buaya dapat beruba perkerasan yang kurang baik, pelupukan pada permukaan pekerasan, tanah dasar dari bagian di bawah lapis permukaan yang kurang stabil, atau bahan lapis pondasi dalam keadaan jenur air (air tanah baik).

Daerah pekerasaan yang mengalami kerusakan retak kulit buaya umumnya tidak luas. Pada sisi terpanjang, kotak-kotak umumnya mempunyai ukuran kurang dari 0,5 m (1,5 feet). Jika terdapat daerah kerusakan yang luas dapat disebabkan oleh repetisi beban lalulintas yang melewati daerah tersebut melampaui beban yang seharusnya.

Retak kulit buaya yang memiliki dimensi kerusakan celah dibawah atau sama dengan 3mm. dapat dipelihara menggunakan lapisan burda, burtu, ataupun lataston. Jika kerusakan disebabkan oleh air yang masuk ke pondasi maka perbaikan sebaiknya dilakukan dengan menghilangkan bagian yang basah kemudian dilapisi kembali dengan bahan yang sesuai. Tentunya juga dilakukan perbaikan sistem drainase disekitar wilayah kerusakan. Sedangkan kerusakan yang disebabkan oleh beban lalulintas yang melampaui dari batas atas perbaikan dilakukan dengan memberi lapisan tambahan.



Gambar 2.1 Contoh Jenis Kerusakan Retak Kulit Buaya (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011)

#### 2.3.1.3 Retak Pinggir (Edge Cracks)

Retak pinggir adalah retak memanjang pada jalan baik dengan atau tanpa cabang yang mengarah ke bahu jalan. Retak tepi merupakan retak yang sejajar dengan tepi perkerasan dan biasanya terjadi sekitar 0,3 m sampai 0,5 m (1 feet sampai 1,5 feet) dari tepi luar perkerasan.

Retak ini diakibatkan oleh tidak baiknya sokongan dari arah samping perkerasan, sistem drainase yang kurang baik, penyusutan tanah, atau terjadinya *settlement* di bawah daerah kerusakan, serta akar tanaman yang tumbuh di tepi perkerasan juga dapat menjadi penyebab retak pinggir.

Retak pinggir yang meresap air dapat membuat permukaan perkerasan semakin luas seiring dengan terjadinya lubang-lubang. Retak pinggir dapat diperbaiki dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir, ditambah dengan perbaikan sistem drainase serta pelebaran dan pemadatan bahu jalan.



Gambar 2.2 Contoh Jenis Kerusakan Retak Tepi atau Pinggir (Nono & Hamdani, 2016)

#### 2.3.1.4 Retak Sambungan Bahu dan Perkerasan (Edge Joint Cracks)

Retak sambungan bahu dan perkerasan adalah jenis retakan yang biasanya disebabkan oleh kurang baiknya sistem drainase di bawah bahu jalan dibandingkan di bawah perkerasan, terjadinya *settlement* di bahu jalan, penyusutan materi bahu atau pekerasan jalan, atau akibat penambahan beban pada bahu atau pekerasan jalan yang dapat disebabkan dari melintasnya truk /

kendaraan berat lainnya. Bentuk retakan umumnya memanjang. Perbaikan retakan dapat dilakukan dengan perbaikan retak refleksi.

#### *2.3.1.5 Retak Sambungan Jalan (Lane Joint Cracks)*

Retak yang terjadi pada sambungan dua lajur lalu lintas yang biasanya disebabkan oleh tidak baiknya ikatan sambungan kedua jalur. Perbaikan dapat dilakukan dengan memasukan campuran aspal cair yang disatukan dengan pasir ke dalam celah yang terdapat retakan. Jika tidak dilakukan perbaikan terhadap retakan maka kemungkinan yang terjadi terlepasnya butir-butir pada tepi retak dan meresapnya air ke dalam lapisan.

#### *2.3.1.6 Retak Sambungan Pelebaran Jalan (Widening Cracks)*

Retak memanjang yang terjadi pada sambungan perkerasan lama dengan perkerasan baru akibat pelebaran jalan. Perbedaan daya dukung di bawah bagian pelebaran antara bagian lama dengan sambungan baru merupakan salah satu penyebab dari retak tersebut. Penyebab lainnya dikarenakan ikatan antara sambungan yang tidak baik. Perbaikan yang dapat dilakukan dengan cara mengisi celah-celah yang timbul dengan campuran aspal cair dengan pasir. Perbaikan yang tidak dilakukan dapat membuat air meresap ke dalam lapisan perkerasan melalui celah-celah, butir-butir dapat lepas dan retak bertambah besar.

#### *2.3.1.7 Retak Refleksi (Reflection Cracks)*

Retak refleksi terjadi dikarenakan adanya penambahan lapisan pada retakan di bawahnya. Retak dapat berbentuk memanjang, melintang, diagonal, atau membentuk kotak. Perbaikan pada retak lama yang kurang baik dapat menjadi penyebab retak. Perubahan kadar air pada jenis tanah ekspansif yang menghasilkan gerakan vertikal atau horizontal di bawah lapis tambahan. Perbaikan yang dilakukan untuk retak memanjang, melintang, dan diagonal perbaikan dapat dilakukan dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir. Retak berbentuk kotak perbaikan dilakukan dengan membongkar dan melapis kembali dengan bahan yang telah ditentukan.



Gambar 2.3 Contoh Jenis Kerusakan Retak Refleksi (Nono & Hamdani, 2016)

#### 2.3.1.8 Retak Selip (Slippage Cracks)

Retak selip disebabkan oleh kurang baiknya ikatan antara lapis permukaan dengan lapis yang berada di bawahnya. Debu, minyak, air, benda non-adhesif lainnya, atau tidak diberinya tack coat sebagai bahan pengikat kedua lapisan dapat menjadi salah satu penyebab kurang baiknya ikatan antar lapis permukaan. Retak selip dapat terjadi juga akibat terlalu banyaknya pasir dalam campuran lapisan permukaan, atau kurang baiknya pemasukan lapis permukaan. Retak selip berbentuk melengkung seperti bulan sabit. Perbaikan dapat dilakukan dengan membongkar bagian yang rusak dan menggantikannya dengan lapisan yang lebih baik.



Gambar 2.4 Contoh Jenis Kerusakan Retak Selip (Nono & Hamdani, 2016)

#### 2.3.2 Distorsi (Distortion)

Lemahnya tanah dasar, pemasukan yang kurang pada lapis pondasi, dan tambahan pemasukan akibat beban lalulintas dapat mengakibatkan distorsi atau perubahan bentuk. Penanganan yang cepat dan tepat dapat dilakukan dengan mengetahui jenis dan penyebab dari distorsi. Distorsi dapat dibedakan atas:

##### 2.3.2.1 Alur (Ruts)

Distorsi alur terjadi pada lintasan roda sejajar dengan garis tengah pada lebar perkerasan jalan. Alur dapat menjadi bagian genangan air hujan yang jatuh di atas permukaan jalan, mengurangi tingkat kenyamanan, dan dapat menimbulkan retak-retak. Penyebab terjadinya alur merupakan kurang padatnya lapisan perkerasan, tambahan pemasukan akibat repetisi beban lalulintas pada

lintasan roda. Campuran aspal dengan stabilitasi rendah dapat menyebabkan *deformasi plastis*. Perbaikan dapat dilakukan dengan menambahkan lapisan tambahan dari lapis permukaan yang sesuai.



*Gambar 2.5 Contoh Jenis Kerusakan Alur (Nono & Hamdani, 2016)*

#### *2.3.2.2 Keriting (Corrugation)*

Permukaan kerasan yang keriting terjadi melintang jalan yang dapat mengurangi kenyamanan saat mengemudi. Tingginya kadar aspal, terlalu banyak menggunakan agregat halus, agregat berbentuk bulat, dan berpermukaan penetrasi yang tinggi merupakan penyebab kerusakan ini. Keriting dapat juga terjadi jika perkerasan yang menggunakan aspal cair dibuka untuk lalulintas sebelum waktunya. Kerusakan keriting dapat diperbaiki dengan menggaruk kembali kemudian dicampur dengan lapis pondasi dan dipadatkan kembali kemudian diberi lapis permukaan baru pada lapis permukaan yang memiliki lapis pondasi agregat. Permukaan dengan bahan pengikat yang memiliki ketebalan lebih dari 5cm, dilakukan pengangkatan lapis tipis yang mengalami keriting dan diberi lapis permukaan baru.

#### *2.3.2.3 Sungkur (Shoving)*

Sungkur terjadi biasanya di tempat kendaraan yang sering berhenti, kelandaian yang curam, dan tikungan tajam. Kerusakan dapat terjadi dengan atau tanpa retak. Perbaikan dapat dilakukan dengan cara membongkar lapisan sungkur dan dilapisi kembali.

#### *2.3.2.4 Amblas (Grade Depressions)*

Pendeteksian amblas ditandai dengan adanya air yang tergenang, terjadi setempat, dengan atau tanpa retak. Resapan air tergenang dapat meresap ke dalam aspal sehingga menghasilkan lubang. Penyebab terjadinya amblas adalah beban lalulintas kendaraan melebihi daya tampung perkerasan, pelaksanaan yang kurang baik, atau penurunan bagian perkerasan dikarenakan dasar mengalami *settlement*. Perbaikan untuk amblas yang kurang dari sama dengan 5cm, pada

bagian yang rendah diisi dengan bahan sesuai seperti lapen, lataston, laston. Ambas dengan memiliki luas lebih dari sama dengan 5cm, bagian ambas dibongkar kemudian dilapis kembali dengan lapis yang sesuai.

#### 2.3.2.5 *Jembul (Upheaval)*

Pengembangan tanah dasar pada tanah dasar ekspansif merupakan penyebab terjadinya jembul. Kerusakan ini dapat terjadi dengan atau tanpa retak. Perbaikan dilakukan dengan membongkar bagian yang rusak dan melapisinya kembali.

### 2.3.3 *Cacat Permukaan (Disintegration)*

#### 2.3.3.1 *Lubang (Potholes)*

Lubang berbentuk seperti mangkuk, memiliki ukuran yang bervariasi dari kecil maupun besar. Karakteristik bentuk lubang ini mengakibatkan tampungan air yang bisa meresap ke dalam lapis permukaan yang menyebabkan semakin parahnya kerusakan jalan. Lubang merupakan cekungan pada permukaan perkerasan yang mempunyai diameter kecil, biasanya kurang dari 750 mm (30 in). Penyebab terjadinya lubang diantaranya:

- a. Kurang baiknya campuran material lapis permukaan perkerasan misal, kadar aspal rendah, ikatan agregat kurang baik karena kotor, dan temperatur campuran tidak memenuhi persyaratan.
- b. Ikatan aspal dan agregat mudah lepas akibat pengaruh cuaca dan dikarenakan lapis permukaan yang tipis.
- c. Sistem drainase jelek, sehingga penyerapan air tinggi dan mudah meresap serta mengumpul pada lapisan perkerasan.
- d. Retak yang terjadi tidak segera ditangani sehingga air meresap dan berakibat munculnya lubang-lubang kecil.



Gambar 2.6 Contoh Jenis Kerusakan Lubang (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011)

Tahapan perbaikan lubang yang bersifat permanen disebut dengan *deep patch* (tambalan dalam). Langkah-langkah penggerjaan tambalan dalam sebagai berikut:

- a. Bersihkan lubang dari air dan material-material yang lepas.
- b. Bongkar bagian lapis permukaan dan pondasi sedalam-dalamnya sehingga mencapai lapisan yang kokoh (potong lapisan perkerasan dalam bentuk yang persegi panjang).
- c. Beri lapis *tack coat* sebagai lapis pengikat.
- d. Campuran aspal diisikan secara perlahan agar tidak terjadi segregasi.
- e. Padatkan lapisan campuran dan bentuk permukaan sesuai dengan lingkungannya.

#### **2.3.3.2 *Pelepasan Butir (Ravelling)***

Pelepasan butir memiliki efek dan penyebab yang hampir sama dengan lubang. Dapat diperbaiki dengan memberikan lapisan tambahan di atas lapisan yang mengalami pelepasan butir setelah lapisan tersebut dibersihkan dan dikeringkan.

#### **2.3.3.3 *Pengelupasan lapisan permukaan (Stripping)***

Pengelupasan disebabkan kurangnya ikatan antara lapis permukaan dan lapis di bawahnya, atau dapat juga disebabkan terlalu tipisnya lapis permukaan. Perbaikan dapat dilakukan dengan cara digaruk, diratakan, dan dipadatkan. Setelah itu dilapisi dengan buras.

#### **2.3.4 *Pengausan (Polished Aggregate)***

Pengausan terjadi dikarenakan agregat berasal dari material yang tidak tahan aus terhadap roda kendaraan atau agregat yang dipergunakan berbentuk bulat dan licin, tidak berbentuk *cubical*. Akibat dari pengausan adalah permukaan jalan menjadi licin yang dapat membahayakan kendaraan yang melewati perkerasan. Perbaikan yang dapat dilakukan dengan menutup lapisan dengan latasir, buras, atau latasbusn.

#### **2.3.5 *Kegemukan (Bleeding or Flushing)***

Kadar aspal yang terlalu tinggi pada campuran aspal, pemakaian aspal yang terllau banyak pada pekerjaan *prime coat* atau *tack coat* merupakan penyebab dari kegemukan. Kegemukan dapat berakibat permukaan menjadi licin, pada temperatur

yang tinggi aspal menjadi lunak sehingga akan terjadi jejak roda. Hal tersebut tentunya berbahaya bagi kendaraan.

### 2.3.6 Penurunan Pada Bekas Penanaman Utilitas (*Utility Cut Depression*)

Pemadatan yang tidak memenuhi syarat dapat menyebabkan penurunan pada bekas penanaman yang terjadi di sepanjang bekas penanaman utilitas. Perbaikan yang dapat dilakukan dengan membongkar kembali dan diganti dengan lapis yang sesuai.

## 2.4 Indeks Kondisi Perkerasan (IKP)

Indikator kuantitatif (numerik) kondisi perkerasan yang mempunyai rentang nilai mulai dari 0 sampai dengan 100, nilai 0 menyatakan kondisi perkerasan paling jelek yang mungkin terjadi dan nilai 100 menyatakan kondisi perkerasan terbaik yang mungkin dicapai. Prinsip penentuan IKP didapatkan dari tiga indikator yaitu jenis kerusakan, kerapatan kerusakan, dan tingkat keparahan kerusakan. Skala standar kelas IKP berdasarkan Petuniuk Penentuan Indeks Kondisi Perkerasan (IKP) SE Menteri PUPR 19/SE/M/2016 Tanggal 11 Oktober 2016) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.7 Gambar Skala Standar Kelas Indeks Kondisi Perkerasan (Nono & Hamdani, 2016)

IKP dapat dijadikan dasar untuk identifikasi awal kebutuhan rehabilitasi perkerasan, dengan pemantauan yang berkala terhadap IKP. Berikut merupakan contoh penggunaan IKP untuk menentukan jenis penanganan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penggunaan IKP Untuk Jenis Penanganan

IKP	Jenis Penanganan
$\geq 85$	Pemeliharaan rutin
70 – 85	Pemeliharaan berkala
55 – 70	Peningkatan struktural

$< 55$	Rekonstruksi/daur ulang
--------	-------------------------

#### **2.4.1 Penentuan Unit-Unit Sampel**

Identifikasi ruas-ruas jalan mempunyai status yang berbeda, seperti jalan nasional, provinsi, dan jalan kabupaten/kota. Perkerasan beton aspal dapat dibagi menjadi beberapa unit-unit perkerasan. Unit perkerasan yang akan diteliti harus mempunyai luas  $225 \pm 90 \text{ m}^2$  atau  $2500 \pm 1000 \text{ ft}^2$ . Toleransi luas sebesar  $90 \text{ m}^2$  atau  $1000 \text{ ft}^2$  digunakan untuk menampung kemungkinan hasil bagi luas seksi yang tidak bulat atau mengakomodasi unit perkerasan yang memiliki kondisi khusus (Nono & Hamdani, 2016).

#### **2.4.2 Penentuan Jumlah Unit Sampel**

Semua unit perkerasan dalam seksi dapat disurvei apabila diperlukan untuk analisis proyek. Karena kendala sumber daya manusia, biaya, dan waktu, survei terhadap seluruh unit perkerasan biasanya tidak dilakukan untuk keperluan manajemen rutin. Namun, untuk keperluan analisis proyek dalam rangka estimasi kuantitas pemeliharaan dan perbaikan perkerasan pada suatu ruas, diperlukan unit sampel yang jumlahnya sama dengan unit perkerasan dalam ruas.

Jumlah minimum unit sampel ( $n$ ) yang harus disurvei pada seksi tertentu untuk mendapatkan estimasi IKP seksi yang secara statistika memadai (memberikan 95% tingkat kepercayaan) dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1) dan hasilnya ( $n$ ) dibulatkan ke atas.

$$n = \frac{N d^2}{\frac{e^2}{4} (N-1) + d^2} \quad (2.1)$$

#### **Keterangan:**

$e$  = Penyimpangan (kesalahan) yang diijinkan dalam mengestimasi IKP seksi, nilai  $e = \pm 5$  poin IKP

$d$  = Deviasi standar IKP satu unit sampel ke unit sampel yang lain dalam seksi. Untuk kepentingan survei awal, deviasi standar IKP untuk perkerasan beton aspal diasumsikan 10

$N$  = Jumlah total unit perkerasan dalam seksi

$n$  = Jumlah minimum unit sampel

#### **2.4.3 Penentuan Jarak Antara Unit Sampel**

Unit-unit sampel yang jumlahnya sudah ditentukan pada subbab 2.4.2 harus diberi jarak yang sama di sepanjang seksi. Penentuan interval jarak unit-unit sampel dilakukan dengan menggunakan cara acak sistematik, yaitu dihitung dengan Persamaan (2.2) dan dibulatkan ke bawah.

$$i = \frac{N}{n} \quad (2.2)$$

**Keterangan:**

- i = Interval jarak antara unit-unit sampel
- N = Jumlah total unit sampel dalam seksi
- n = Jumlah unit sampel yang harus disurvei

#### 2.4.4 Penentuan IKP Unit Sampel

IKP ruas, baik yang terdiri perkerasan beton aspal maupun perkerasan kaku, ditentukan berdasarkan IKP unit-unit sampel, maka untuk mendapatkan IKP ruas perlu terlebih dulu ditentukan IKP tiap unit sampel dan tiap unit khusus (bila ada). Tahapan penentuan IKP yang ditunjukkan pada Gambar 44 dapat dikelompokkan menjadi empat tahap, yaitu penghitungan kerapatan kerusakan, penentuan Nilai Pengurang kerusakan, penentuan Nilai Pengurang Terkoreksi (NPT) maksimum, dan penghitungan Indeks Kondisi Perkerasan. Setelah NPT maksimum diperoleh, IKP unit sampel ditentukan dengan mengurangkan NPT maksimum dari 100.

##### 1) Perhitungan Kerapatan Kerusakan

Kerapatan kerusakan adalah persentase kuantitas (luas, panjang, atau buah) suatu jenis kerusakan, dengan tingkat keparahan tertentu, yang dijumpai pada suatu unit sampel terhadap luas unit sampel. Dengan demikian, kerapatan kerusakan pada suatu unit sampel, atau unit khusus, dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

1. Kerapatan retak tepi, retak refleksi sambungan, penurunan bahu, dan retak memanjang/melintang

$$Kerapatan = \frac{P_m}{A_u} \times 100\% \quad (2.3)$$

2. Kerapatan lubang

$$Kerapatan = \frac{B_i}{A_u} \times 100\% \quad (2.4)$$

3. Kerapatan kerusakan di luar (i) dan (ii)

$$Kerapatan = \frac{A_i}{A_u} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

$P_m$  = Panjang total suatu jenis kerusakan, untuk tiap tingkat keparahan tertentu, yang dijumpai pada unit sampel atau unit khusus, m (feet)

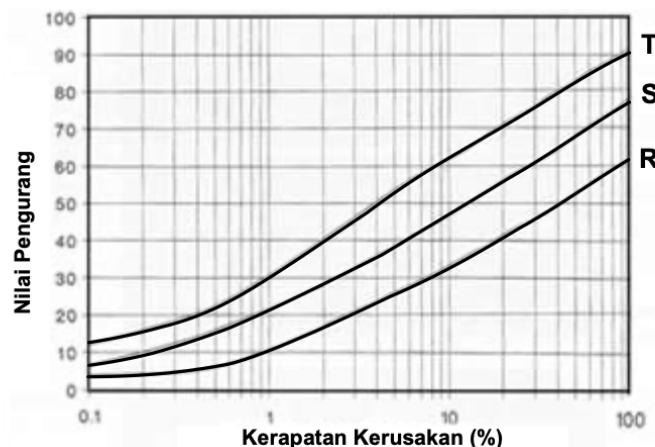
$B_i$  = Jumlah lubang, dengan tingkat keparahan tertentu, yang dijumpai pada unit sampel atau unit khusus, buah

$A_i$  = Luas total suatu jenis kerusakan, untuk tiap tingkat keparahan tertentu, yang dijumpai pada unit sampel atau unit khusus,  $m^2$  (feet<sup>2</sup>)

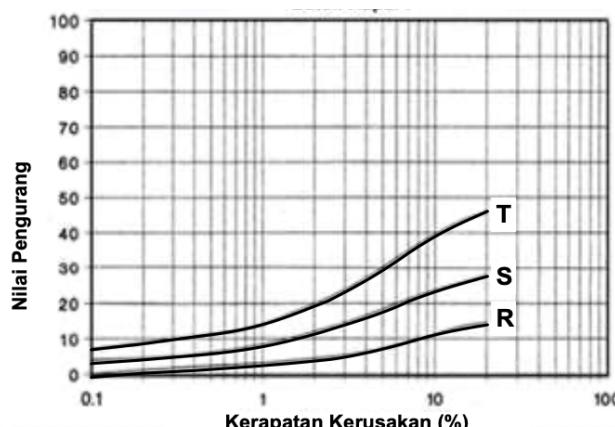
$A_u$  = Luas unit sampel atau unit khusus,  $m^2$  (feet<sup>2</sup>)

## 2) Penentuan Nilai Pengurang Kerusakan

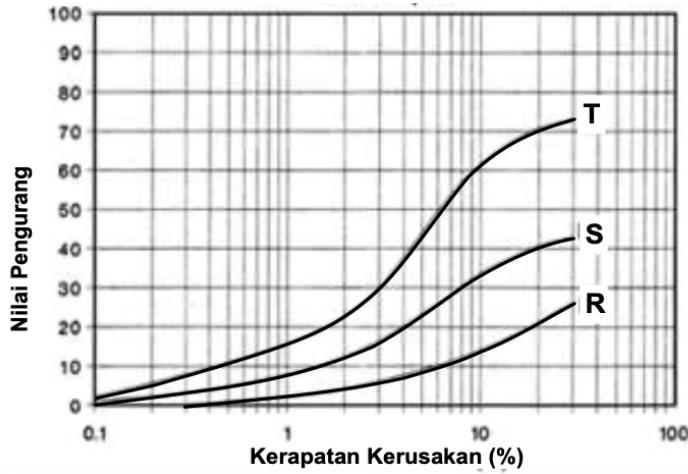
Nilai Pengurang (NP) untuk suatu jenis kerusakan diperoleh dari kurva hubungan kerapatan dan tingkat keparahan kerusakan. Kurva untuk mendapatkan nilai pengurang kerusakan perkerasan beton aspal.



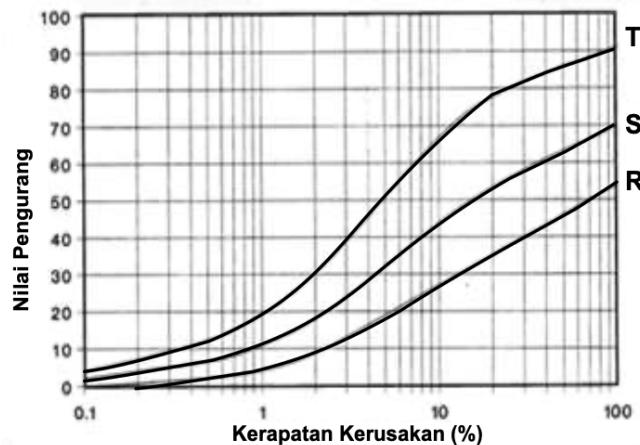
Gambar 2.8 Grafik Nilai Pengurangan Retak Kulit Buaya (Nono & Hamdani, 2016)



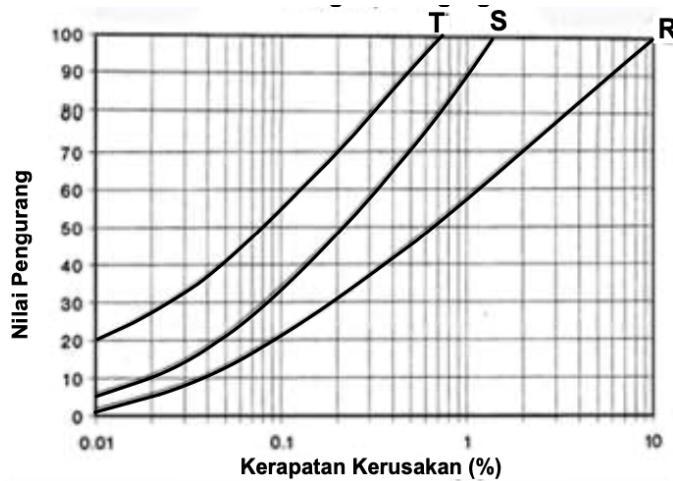
Gambar 2.9 Grafik Nilai Pengurangan Retak Tepi (Nono & Hamdani, 2016)



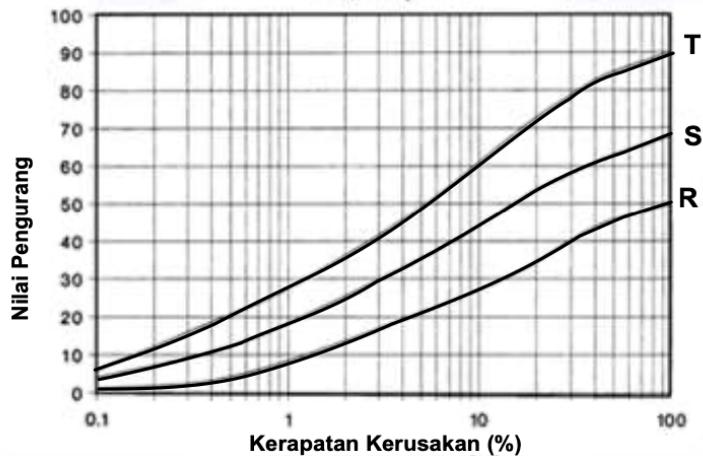
*Gambar 2.10 Grafik Nilai Pengurangan Retak Refleksi Sambungan (Nono & Hamdani, 2016)*



*Gambar 2.11 Grafik Nilai Pengurangan Retak Selip (Nono & Hamdani, 2016)*



*Gambar 2.12 Grafik Nilai Pengurangan Lubang (Nono & Hamdani, 2016)*



*Gambar 2.13 Grafik Nilai Pengurangan Alur (Nono & Hamdani, 2016)*

### 3) Penentuan Nilai Pengurang Terkoreksi (NPT) Maksimum

Nilai Pengurang Terkoreksi (NPT) diperoleh dari kurva hubungan antara Nilai Pengurang total dengan jumlah individu Nilai Pengurang yang lebih besar dari 2 ( $q$ ), sedangkan NPT maksimum ditentukan melalui prosedur yang diuraikan di bawah.

Jika pada suatu unit sampel tidak ada atau hanya satu buah NP yang lebih besar dari 2, maka gunakan jumlah semua NP sebagai NPT maksimum. Jika pada suatu unit sampel terdapat dua buah atau lebih NP yang lebih besar dari 2, maka untuk menentukan NPT maksimum harus diikuti prosedur di bawah.

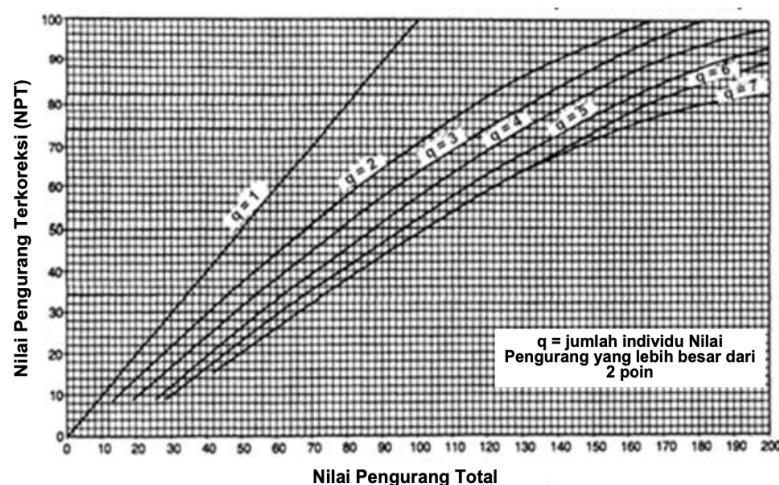
- Susun Nilai-nilai Pengurang dalam urutan mulai dari nilai terbesar sampai nilai yang terkecil.
- Tentukan jumlah maksimum individu Nilai-nilai Pengurang yang diijinkan ( $m$ ), dengan menggunakan persamaan (2.6)

$$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - NP_{maksimum}) \leq 10. \quad (2.6)$$

Pada persamaan (2.6),  $m$  adalah jumlah individu nilai-nilai pengurang yang diijinkan termasuk pecahan (harus lebih kecil atau sama dengan sepuluh).  $NP_{maksimum}$  adalah nilai pengurang terbesar.

- Reduksi jumlah individu Nilai Pengurang menjadi  $m$  buah, termasuk bagian pecahannya, dan lakukan koreksi NP terakhir. Apabila jumlah individu Nilai-nilai Pengurang lebih kecil dari  $m$ , maka semua Nilai Pengurang digunakan pada proses penentuan NPT maksimum.
- Tentukan NPT maksimum dengan cara iterasi sebagai berikut:

- ⇒ Tentukan Nilai Pengurang total dengan menjumlahkan Nilai-nilai Pengurang semua kerusakan pada unit sampel.
- ⇒ Tentukan  $q$  sebagai jumlah individu Nilai-nilai Pengurang yang lebih besar dari 2,0.
- ⇒ Tentukan Nilai Pengurang Terkoreksi (NPT) dengan cara mengoreksi Nilai Pengurang total oleh  $q$ . Koreksi dilakukan dengan menggunakan kurva yang ditunjukkan pada Gambar



*Gambar 2.14 Kurva Untuk Menentukan Nilai Pengurang Terkoreksi (NPT) Unit Sampel Perkerasan Beton Aspal (Nono & Hamdani, 2016)*

- ⇒ Reduksi Nilai Pengurang terkecil yang lebih besar dari 2,0 menjadi 2,0 dan ulangi langkah-langkah di atas, sampai  $q = 1$ .
- ⇒ Tentukan NPT maksimum dari nilai-nilai yang diperoleh melalui langkah - langkah iterasi di atas.

#### 4) Perhitungan Indeks Kondisi Perkerasan Unit Sampel

Setelah NPT maksimum diperoleh, IKP setiap unit sampel dihitung dengan rumus pada persamaan (2.7):

$$IKP = 100 - NPT_{maksimum} \quad (2.7)$$

**Keterangan:**

IKP = Indeks Kondisi Perkerasan unit sampel perkerasan beton aspal

NPTmaksimum = Nilai Pengurang Terkoreksi terbesar unit sampel perkerasan beton aspal.

## 2.5 Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network merupakan salah satu bagian dari neural network yang umumnya digunakan dalam pengolahan data citra. Nama convolutional neural network mengindikasikan bahwa jaringan tersebut menggunakan operasi matematika yang disebut konvolusi yang merupakan sebuah operasi linear. Dan merupakan jaringan saraf yang menggunakan konvulsi sebagai pengganti perkalian matriks umum, setidaknya satu dari convolutional layer tersebut.

Secara umum arsitektur dari convolutional neural network dibagi menjadi dua bagian besar, Feature Extraction atau Feature Learning dan Classification. Selain itu, arsitektur Convolutional Neural Network mempunyai tiga tipe lapisan utama yaitu: convolutional layer, pooling layer dan fully connected layer. Fully-connected layer yang terakhir disebut sebagai output layer. Variasi arsitektur Convolutional Neural Network untuk klasifikasi gambar/citra seperti Lenet, Alexnet, LeNet, AlexNet, VGG, GoogLeNet / Inception, ResNet dan banyak lagi (Ali et al., 2019).

### 2.5.1 Proses Konvolusi

Dalam bentuknya yang paling umum, konvolusi adalah operasi pada dua fungsi dari argumen bernilai nyata. Untuk memotivasi definisi konvolusi, kita mulai dengan contoh dua fungsi yang mungkin kita gunakan. Proses konvolusi menggunakan pixel dari gambar yang digunakan (Ting, 2010). Contoh gambar yang digunakan merupakan gambar 2.14.



Gambar 2.15 Retak Kulit Buaya (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2011)

Pada ilustrasi perhitungan konvolusi berikut digunakan matriks 3x3.

Didapatkan pixel matriks citra 4x4 seperti di bawah ini.

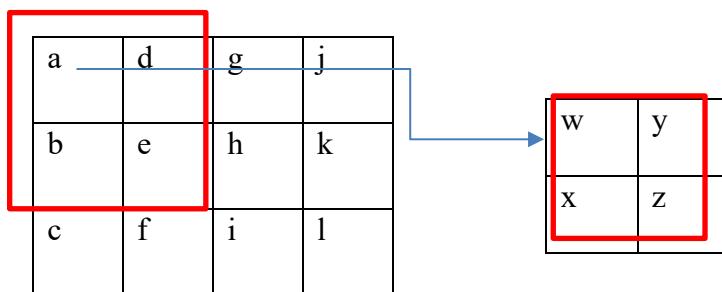
a	d	g	j
---	---	---	---

b	e	h	k
c	f	i	l

Dari citra pixel di atas akan dikalikan dengan matriks kernel 3x3 dengan contoh di bawah ini.

w	y
x	z

Berikut adalah contoh proses operasi konvolusi pada citra dua dimensi.



### Output

$aw + dy +$ $bx + ez$	$dw + gy +$ $ex + hz$	$gw + jy +$ $hx + kz$
$bw + ey +$ $cx + fz$	$ew + hy +$ $fx + iz$	$hw + ky +$ $ix + lz$

#### 2.5.2 Fungsi Aktivasi

Tugas utama dari setiap fungsi aktivasi dalam model berbasis jaringan saraf adalah memetakan masukan ke keluaran, di mana nilai masukan diperoleh dengan menghitung jumlah bobot masukan neuron dan selanjutnya menambahkan bias ke dalamnya (jika ada bias). Dengan kata lain, fungsi aktivasi memutuskan apakah suatu neuron akan aktif atau tidak untuk masukan tertentu dengan menghasilkan keluaran yang sesuai (Ghosh et al., 2019).

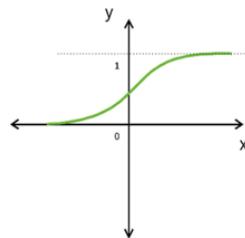
Dalam arsitektur CNN, setelah setiap lapisan yang dapat dipelajari (lapisan dengan bobot, yaitu lapisan konvolisional dan FC), lapisan aktivasi non-linier digunakan. Perilaku non-linearitas dari lapisan-lapisan tersebut memungkinkan model CNN mempelajari hal-hal yang lebih kompleks dan berhasil memetakan masukan ke keluaran secara non-linier. Fitur penting dari fungsi aktivasi adalah fungsi tersebut

harus dapat dibedakan untuk mengaktifkan propagasi mundur kesalahan untuk melatih model. Fungsi aktivasi yang paling umum digunakan di jaringan saraf dalam (termasuk CNN) adalah *Sigmoid*, *Tanh*, *ReLU*, *Leaky ReLU*, *Noisy ReLU*, dan *Parametric Linear Units*.

#### 2.5.2.1 *Sigmoid*

Fungsi aktivasi sigmoid mengambil bilangan real sebagai masukannya dan mengikat keluaran dalam rentang [0,1]. Kurva fungsi sigmoid berbentuk 'S'. Representasi matematis dari sigmoid adalah:

$$f(x)_{sigm} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.8)$$

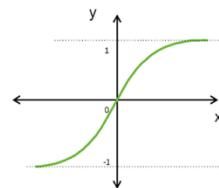


Gambar 2.16 Kurva Fungsi Aktivasi Sigmoid (Ghosh et al., 2019)

#### 2.5.2.2 *Tanh*

Fungsi aktivasi Tanh digunakan untuk mengikat nilai input (bilangan real) dalam rentang [-1, 1 ]. Representasi matematis dari Tanh adalah:

$$f(x)_{tanh} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.9)$$

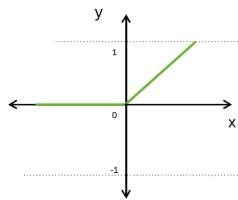


Gambar 2.17 Kurva Fungsi Aktivasi Tanh (Ghosh et al., 2019)

#### 2.5.2.3 *ReLU*

*Rectifier Linear Unit* (ReLU) adalah fungsi aktivasi yang paling umum digunakan di Convolutional Neural Networks. Ini digunakan untuk mengubah semua nilai input menjadi angka positif. Kelebihan ReLU adalah membutuhkan beban komputasi yang sangat minim dibandingkan yang lain. Representasi matematis dari ReLU adalah:

$$f(x)_{ReLU} = \max(0, x) \quad (2.10)$$



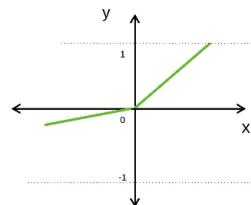
Gambar 2.18 Kurva Fungsi Aktivasi ReLU (Ghosh et al., 2019)

#### 2.5.2.4 Leaky ReLU

Berbeda dengan ReLU, fungsi aktivasi Leaky ReLU tidak sepenuhnya mengabaikan masukan negatif, melainkan menurunkan skala masukan negatif tersebut. *Leaky ReLU* digunakan untuk mengatasi masalah *Dying ReLU*. Representasi matematis dari *Leaky ReLU* adalah:

$$f(x)_{\text{LeakyReLU}} = \begin{cases} x, & \text{if } x > 0 \\ mx, & x \leq 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Variabel m adalah sebuah konstanta, disebut faktor kebocoran dan umumnya diatur ke nilai yang kecil (misalnya 0,001).

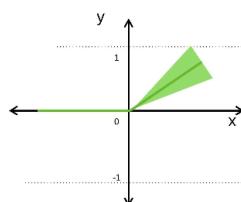


Gambar 2.19 Kurva Fungsi Aktivasi Leaky ReLU (Ghosh et al., 2019)

#### 2.5.2.5 Noisy ReLU

*Noisy ReLU* menggunakan distribusi Gaussian untuk membuat ReLU berisik. Representasi matematis dari *Noisy ReLU* adalah:

$$f(x)_{\text{NoisyReLU}} = \max(x + Y), \text{ with } Y \sim N(0, \sigma(x)) \quad (2.12)$$



Gambar 2.20 Kurva Fungsi Aktivasi Noisy ReLU (Ghosh et al., 2019)

#### 2.5.2.6 Parametric Linear Units

Hampir mirip dengan Leaky ReLU, namun di sini faktor kebocoran diatur selama proses pelatihan model. Representasi matematis Satuan Linier Parametrik adalah:

$$f(x)_{ParametricLinearUnits} = \begin{cases} x, & \text{if } x > 0 \\ ax, & x \leq 0 \end{cases} \quad (2.13)$$

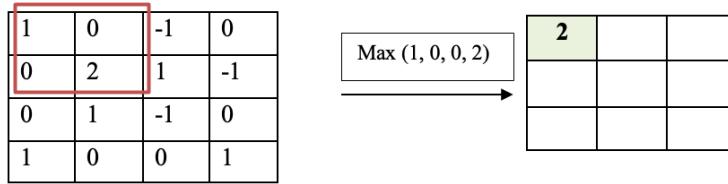
Variabel  $a$  adalah bobot yang dapat dipelajari.

#### 2.5.3 Pooling Layer

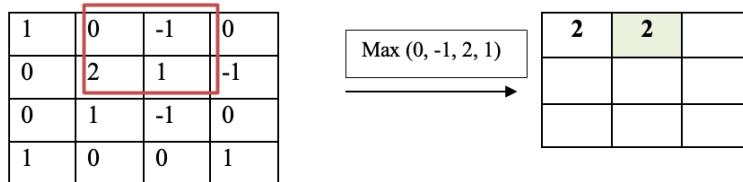
Lapisan pooling digunakan untuk membuat sub-sampel peta fitur (yang dihasilkan setelah operasi konvolusi), yaitu mengambil peta fitur berukuran lebih besar dan memperkecilnya menjadi peta fitur berukuran lebih rendah. Sambil memperkecil peta fitur, fitur (atau informasi) yang paling dominan di setiap langkah kumpulan selalu dipertahankan. Operasi pengumpulan dilakukan dengan menentukan ukuran wilayah gabungan dan langkah operasi, mirip dengan operasi konvolusi. Ada berbagai jenis teknik penyatuan yang digunakan dalam lapisan penyatuan berbeda seperti penyatuan maksimal, penyatuan minimum, penyatuan rata-rata, penyatuan bergerbang, penyatuan pohon, dll (Ghosh et al., 2019).

Max Pooling adalah teknik pooling yang paling populer dan paling banyak digunakan. Kelemahan utama dari pooling layer adalah terkadang menurunkan kinerja CNN secara keseluruhan. Alasan dibalik ini adalah bahwa pooling layer membantu CNN menemukan apakah fitur tertentu ada pada gambar masukan yang diberikan atau tidak tanpa mempedulikan posisi yang benar dari fitur tersebut. Berikut merupakan contoh penerapan *maxpooling* dengan ukuran wilayah *pooling* 2 x 2.

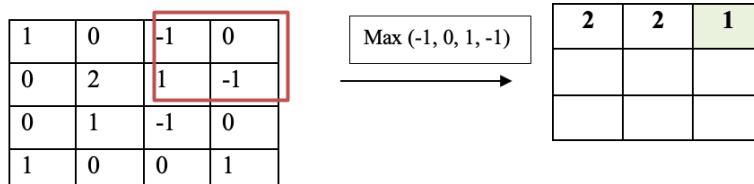
**Langkah ke-1:**



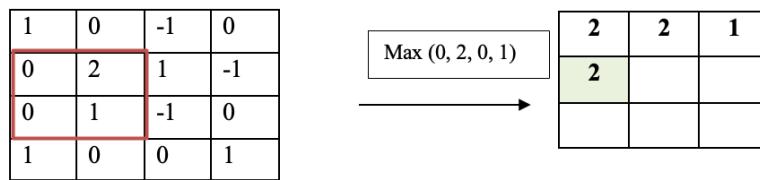
**Langkah ke-2:**



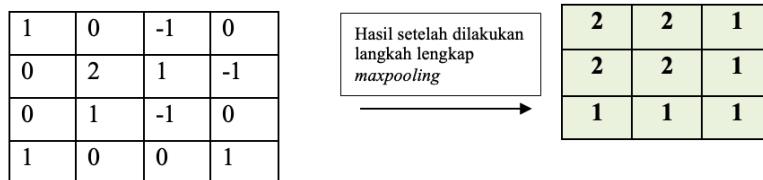
**Langkah ke-3:**



**Langkah ke-4:**



**Langkah ke-n:**

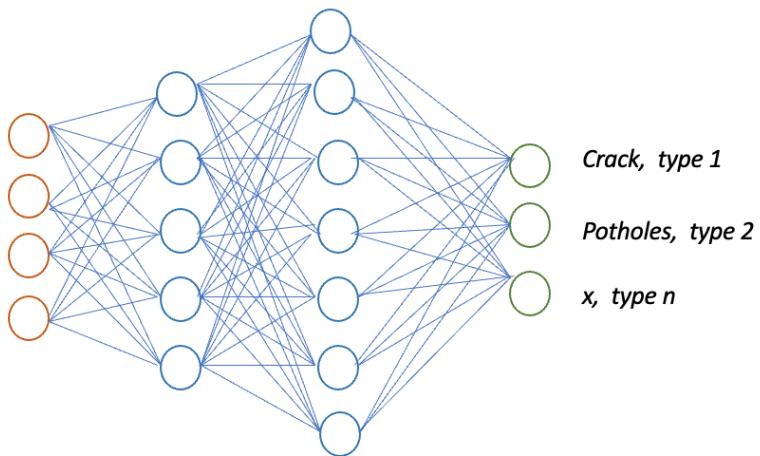


#### 2.5.4 Fully Connected Layer (FC) Layer

Lapisan atau bagian terakhir dari arsitektur CNN (yang digunakan untuk klasifikasi) terdiri dari lapisan yang terhubung sepenuhnya, di mana setiap neuron di dalam suatu lapisan terhubung dengan setiap neuron dari lapisan sebelumnya. Lapisan terakhir dari lapisan Terhubung Sepenuhnya digunakan sebagai lapisan keluaran (pengklasifikasi) arsitektur CNN.

Lapisan Terhubung Sepenuhnya adalah jenis jaringan syaraf tiruan (JST) feed-forward dan mengikuti prinsip jaringan syaraf perceptron (MLP) multi-lapisan tradisional. Lapisan FC mengambil masukan dari lapisan konvolusional atau penggabungan akhir, yang berupa sekumpulan metrik (peta fitur) dan metrik tersebut diratakan untuk membuat vektor dan vektor ini

kemudian dimasukkan ke dalam lapisan FC untuk menghasilkan hasil akhir. keluaran CNN seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.21



Gambar 2.21 Fully Connected Layer (Ghosh et al., 2019)

### 2.5.5 Proses Pelatihan Data

Proses pelatihan data yang dilakukan terbagi menjadi beberapa bagian berikut (Ghosh et al., 2019):

#### 2.5.5.1 Pra-Pemrosesan Data Dan Augmentasi Data

Pra-pemrosesan data mengacu pada beberapa transformasi buatan pada kumpulan data mentah di dalamnya termasuk kumpulan data pelatihan, validasi, dan pengujian untuk menjadikan kumpulan data lebih bersih, lebih penuh fitur, lebih mudah dipelajari, dan dalam format yang seragam. Pra-pemrosesan data dilakukan sebelum memasukkan data ke model CNN. Dalam jaringan neural konvolusional, faktanya kinerja CNN berbanding lurus dengan jumlah data yang digunakan untuk melatihnya, yaitu pra-pemrosesan yang baik, selalu meningkatkan akurasi model. Namun di sisi lain, pre-processing yang buruk juga dapat menurunkan performa model.

Augmentasi Data adalah teknik yang digunakan untuk menambah atau memperluas ukuran kumpulan data pelatihan secara artifisial. Operasi yang berbeda diterapkan pada data pelatihan dan mengubahnya secara artifisial menjadi satu atau banyak sampel data baru, yang kemudian digunakan dalam proses pelatihan. Augmentasi Data penting karena, terkadang kumpulan data pelatihan berukuran sangat terbatas tersedia untuk sebagian besar masalah kompleks di kehidupan nyata (misalnya kumpulan data medis) dan fakta sebenarnya adalah semakin banyak sampel data pelatihan dapat menghasilkan CNN yang lebih terampil model (Ghosh et al., 2019).

Augmentasi data dapat dibagi menjadi dua pendekatan yaitu dasar dan lanjutan. Pendekatan dasar terdiri dari tiga bagian utama yaitu (Yang et al., 2022):

1. *Image Manipulation* misal merotasi, berubah skala rasio dari gambar, membalik gambar, dll.
2. *Image Erasing* misal Pemotongan gambar, Penghapusan secara acak, *Grid Mask*, dll
3. *Image Mix* misal penggambungan gambar, pemotongan dan penggabungan gambar, dll

Pendekatan lanjutan dari augmentasi data juga terdiri dari tiga bagian utama yaitu (Yang et al., 2022),

1. *Auto Augment* merupakan metode yang dijalankan secara otomatis untuk meningkatkan performa augmentasi jika dibandingkan dengan penggerjaan secara manual.
2. *Feature Augmentation* merupakan metode yang melakukan augmentasi pada citra dalam ruang fitur citra yang dipelajari.
3. *Deep Generative Models* dilakukan dengan mengambil sampel dari distribusi yang mewakili pembangkitan kumpulan data.

#### 2.5.5.2 Inisialisasi Parameter

CNN yang dalam terdiri dari jutaan atau miliaran parameter. Sehingga inisialisasi parameter harus dilakukan dengan baik pada awal proses pelatihan. Inisialisasi bobot secara langsung menentukan seberapa cepat model CNN akan menyatu dan seberapa akurat model tersebut akan dihasilkan. Teknik inisialisasi parameter yang paling banyak digunakan di CNN sebagai berikut (Ghosh et al., 2019):

##### 1. Inisialisasi Acak

Inisialisasi bobot yang berasal dari lapisan konvolusional dan *Fully Connected* secara acak menggunakan matriks acak, di mana elemen matriks tersebut diambil sampelnya dari beberapa distribusi dengan deviasi standar kecil (misalnya, 0,1 dan 0,01) dan dengan mean nol . Namun masalah utama dari inisialisasi acak adalah bahwa hal ini berpotensi menyebabkan hilangnya gradien atau meledaknya

masalah gradien. Metode inisialisasi acak yang populer adalah sebagai berikut:

- *Gaussian Random Initialization*

Bobot diinisialisasi secara acak menggunakan matriks acak, di mana elemen matriks tersebut diambil sampelnya dari distribusi Gaussian.

- *Uniform Random Initialization*

Bobot diinisialisasi secara acak menggunakan matriks Uniform acak, dimana elemen matriks tersebut diambil sampelnya dari distribusi seragam.

- *Orthogonal Random Initialization*

Di sini bobot diinisialisasi secara acak menggunakan matriks ortogonal acak, di mana elemen matriks tersebut diambil sampelnya dari distribusi ortogonal.

## 2. Xavier

Teknik ini dikemukakan oleh Xavier Glorot dan Yoshua Bengio pada tahun 2010, mencoba membuat varian koneksi output dan koneksi input menjadi sama untuk setiap lapisan dalam jaringan (Ghosh et al., 2019). Ide utama dari teknik xavier adalah menyeimbangkan varians fungsi aktivasi. Inisialisasi xavier dirancang untuk fungsi aktivasi sigmoid logistik, sehingga tidak berfungsi dengan baik dengan fungsi aktivasi ReLU yang banyak digunakan dalam arsitektur CNN pada saat ini.

## 3. Inisialisasi Pra-pelatihan Tanpa Pengawasan

Inisialisasi Pra-pelatihan Tanpa Pengawasan bekerja menginisialisasi jaringan saraf konvolusional dengan jaringan saraf konvolusional lain yang dilatih menggunakan teknik tanpa pengawasan, misalnya, *autoencoder* mendalam atau jaringan kepercayaan mendalam. Metode ini dapat bekerja dengan sangat baik dalam membantu menangani masalah pengoptimalan dan overfitting (Ghosh et al., 2019).

#### 2.5.5.3 Regularisasi CNN

Kemampuan beradaptasi dengan baik terhadap masukan baru atau yang sebelumnya tidak terlihat, yang diambil dari distribusi yang sama dengan data pelatihan disebut generalisasi. Masalah utama model CNN untuk mencapai generalisasi yang baik adalah *overfitting*. Model dapat dikatakan *overfitting* jika model berperforma baik pada data pelatihan namun hasilnya kurang baik pada data pengujian. *Underfitting* terjadi jika model belum cukup belajar dari data pelatihan sehingga hasil prediksi model kurang baik. *Justfitting* ketika model berperforma baik pada data pelatihan maupun data pengujian. Regularisasi membantu menghindari penyesuaian yang berlebihan dengan menggunakan beberapa ide intuitif yaitu, *Drop Out*, *Drop Weight*, *The  $\ell^2$  Regularization*, *The  $\ell^1$  Regularization*, *Data Augmentation*, *Early Stopping*, dan *Batch Normalization* (Ghosh et al., 2019).

#### 2.5.5.4 Pemilihan Pengoptimal

Proses pembelajaran mencakup dua hal besar, yang pertama adalah pemilihan algoritma pembelajaran (Optimizer) dan yang berikutnya adalah menggunakan beberapa perbaikan seperti momentum, Adagrad, AdaDelta pada algoritma pembelajaran tersebut untuk meningkatkan hasil. Tujuan utama dari setiap algoritma pembelajaran yang diawasi adalah untuk meminimalkan kesalahan terhadap perbedaan antara keluaran yang diprediksi dan keluaran aktual atau dapat disebut dengan fungsi kerugian, berdasarkan beberapa parameter yang dapat dipelajari seperti bobot, bias, dll. Model CNN, metode pembelajaran berbasis gradien hadir sebagai pilihan yang wajar. Untuk mengurangi kesalahan, parameter model terus diperbarui selama setiap periode pelatihan dan model secara berulang mencari solusi optimal lokal di setiap periode pelatihan. Ukuran langkah pembaharuan parameter disebut dengan “learning rate” dan iterasi lengkap pembaruan parameter yang mencakup seluruh kumpulan data pelatihan satu kali disebut “training epoch” (Ghosh et al., 2019).

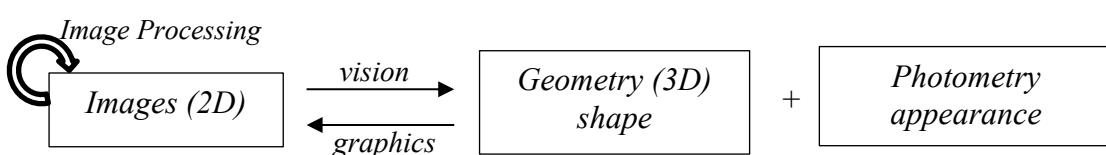
### 2.5.6 Computer Vision

*Computer vision* adalah sebuah teknologi yang dimanfaatkan untuk mendeskripsikan dunia nyata sesuai visual mata manusia dalam satu atau lebih gambar dan merekonstruksi propertinya, seperti bentuk, pencahayaan, dan distribusi warna

(Szeliski, 2021). Berbagai aplikasi dari *computer vision* yang diaplikasikan dalam dunia nyata meliputi:

- *Optical Character Recogniton* (OCR): membaca kode pos tulisan tangan pada huruf dan pengenalan plat nomor otomatis (ANPR).
- *Machine Inspection*: inspeksi suku cadang secara cepat untuk menjamin kualitas menggunakan penglihatan stereo dengan penerangan khusus untuk mengukur toleransi pada sayap pesawat terbang atau bagian bodi mobil atau mencari cacat pada cetakan baja dengan menggunakan penglihatan sinar-X.
- *Retail*: pengenalan objek untuk jalur pembayaran otomatis.
- Pembuatan model 3D (fotogrametri): konstruksi model 3D yang sepenuhnya otomatis dari foto udara yang digunakan dalam sistem seperti Bing Maps.
- Pencitraan medis: mencatat gambaran pra-operasi dan intra-operasi atau melakukan studi jangka panjang terhadap morfologi otak seseorang seiring bertambahnya usia.
- Keselamatan otomotif: mendeteksi hambatan tak terduga seperti pejalan kaki di jalan, dalam kondisi di mana teknik penglihatan aktif seperti radar atau lidar tidak bekerja dengan baik.
- *Match Move*: menggabungkan citra yang dihasilkan komputer (CGI) dengan rekaman aksi langsung dengan melacak titik-titik fitur dalam video sumber untuk memperkirakan gerakan kamera 3D dan bentuk lingkungan.
- *Motion Capture* (mocap): menggunakan penanda retro-reflektif yang dilihat dari beberapa kamera atau teknik berbasis penglihatan lainnya untuk menangkap aktor untuk animasi komputer.
- Pengawasan: pemantauan terhadap penyusup, analisis lalu lintas jalan raya, dan pemantauan kolam untuk korban tenggelam.
- Pengenalan sidik jari dan biometrik: untuk otentifikasi akses otomatis serta aplikasi forensik.

Berikut merupakan gambaran secara umum dari hubungan antara gambar, geometri, dan fotometri(Szeliski, 2021).



Gambar 2.22 Hubungan Antara Gambar, Geometri, dan Fotometri dalam Computer Vision  
(Szeliski, 2021)

### 2.5.7 Evaluasi Kinerja Sistem

Pengukuran kinerja sistem menggunakan basis konsep *confusion* matrix. Dibagi ke dalam dua kelas, kelas positif (+) merepresentasikan data asli sedangkan kelas negatif (-) merepresentasikan data prediksi yang dihasilkan sistem. Matriks konfusi merangkum kinerja klasifikasi pengklasifikasi sehubungan dengan beberapa data pengujian. Ini adalah matriks dua dimensi, yang diindeks dalam satu dimensi oleh kelas sebenarnya dari suatu objek dan di dimensi lain oleh kelas yang ditetapkan oleh pengklasifikasi.

Tabel 2.2 Contoh Matriks Konfusi Untuk Tugas Klasifikasi Tiga Kelas, Dengan Kelas A, B, dan C (Ting, 2010).

		Assigned Class		
		A	B	C
Actual Class	A	13	2	1
	B	1	8	3
	C	0	2	10

Pada tabel di atas baris pertama mengindikasikan ada 16 objek yang seharusnya ada di *Class A*. Terdapat 13 objek yang benar diklasifikasikan ke *Class A*, 2 objek salah diklasifikasikan ke *Class B*, dan 1 objek juga salah diklasifikasikan ke *Class C*.

Kasus khusus dari matriks konfusi sering digunakan dengan dua kelas, yang satu ditetapkan sebagai kelas positif dan yang lainnya sebagai kelas negatif. Dalam konteks ini, empat sel matriks ditetapkan sebagai *true positives (TP)*, *false positives (FP)*, *true negatives (TN)*, and *false negatives (FN)*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Confussion Matrix

<i>Confussion Matrix</i>		<i>Assigned Class</i>	
		<i>Positive</i>	<i>Negative</i>
<i>Actual Class</i>	<i>Positive</i>	<i>TP</i>	<i>FN</i>
	<i>Negative</i>	<i>FP</i>	<i>TN</i>

#### 1. Akurasi:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2.14)$$

2. Presisi (Precision) atau Positive Predictive Value (PPV):

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2.15)$$

3. Recall (Sensitivitas atau True Positive Rate):

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2.16)$$

4. F1-Score:

$$F1 - Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (2.17)$$

## 2.6 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem informasi geografis adalah suatu kesatuan yang saling terintegrasi yang terdiri dari komponen perangkat lunak, perangkat keras, sumber daya manusia, serta data geografis yang dapat bekerja menyimpan, memperbaiki, mengolah, memanipulasi, menganalisa maupun menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis.

Data yang diolah dalam SIG merupakan data spasial. Data spasial adalah data yang berorientasi geografis, memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya. Data spasial memiliki dua bagian penting yaitu :

- a. Informasi lokasi (spasial) : Berkaitan dengan koordinat geografis (lintang dan bujur) dan koordinat xyz.
- b. Informasi deskriptif : keterangan tambahan selain koordinat lokasi, misal, vegetasi, populasi, luasan, dan sebagainya.

## 2.7 Penelitian Terkait

Penelitian-penelitian terkait pencarian dokumen gambar yang mengandung informasi teks disajikan pada tabel 2.4.

*Tabel 2.4 Ringkasan Penelitian Identifikasi Kerusakan Jalan Perkerasan*

No	Peneliti / Judul	Metode	Hasil	Keterbatasan
1.	Ju huyan, Wei Li, Susan Tighe, Zhengchao xu, Junzhi Zhai, 2020 “CrackU-net: A novel deep convolutional neural network for pixelwise pavement crack detection”	Algoritma CrackU-Net	Hasil dari model yang dibentuk menggunakan algoritma cracku-net dapat berjalan dengan baik dibandingkan algoritma pengembangan CNN sebelumnya FCN, U-net, tradisional CNN dan lain-lain. Keberhasilan model ditandai dengan baiknya hasil perhitungan performance of loss = 0.025, accuracy = 0.9901, precision = 0.9856, recall = 0.9798, and F-measure = 0.9842 with learning rate of 10–2.	Metode tidak dapat menghasilkan hasil maksimal jika diimplementasi pada dataset yang kecil

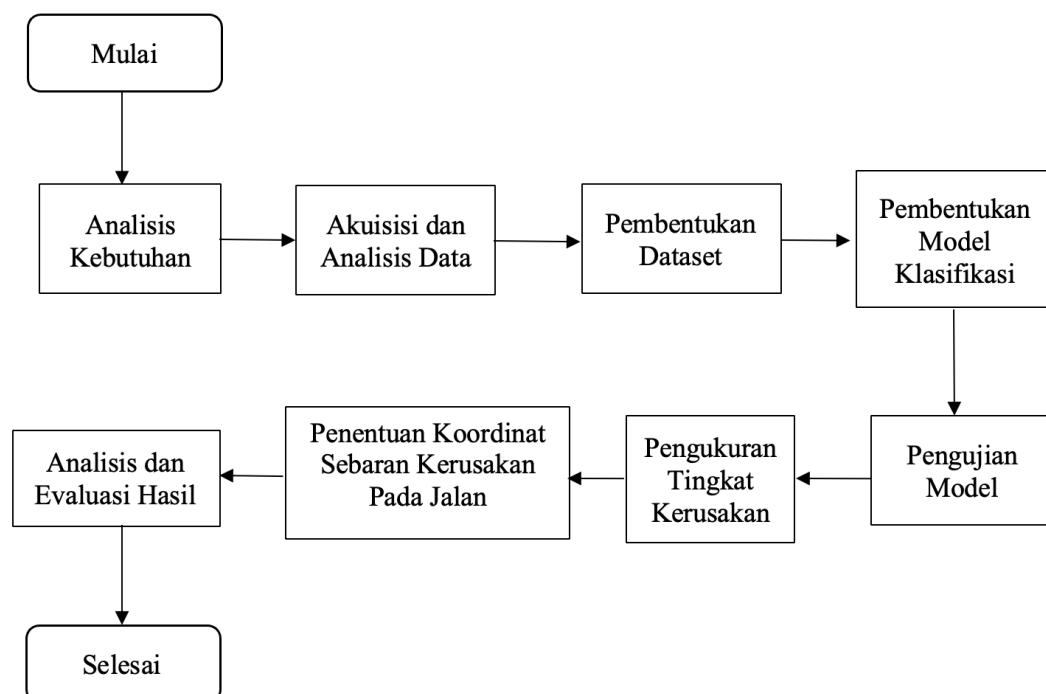
2.	Luqman Ali, Najiya Koderi V, Mary Josy J, Hamad Al J, dan Daniya Najiha A, 2020  “A Pavement Crack Detection and Localization using Convolutional Neural Networks (CNNs)”	Algoritma Convolutional Neural Network	Dengan menggunakan algoritma CNN, model klasifikasi kerusakan jalan aspal dibuat dengan pengambilan gambar menggunakan pesawat terbang tanpa awak. Klasifikasi dibagi menjadi dua label yaitu jalan retak dan tidak retak. Dengan model tersebut didapatkan akurasi sebesar 92% pada tahap validasi dan 90% pada tahap pengujian.	Pengklasifikasian kerusakan jalan aspal masih terbatas hanya pada jenis retak saja. Sedangkan masih banyak jenis kerusakan perkerasan yang belum terdefinisi.
3.	Peng Jing, Haiyang Yu, Zhihua Hua, Saifei Xie, Caoyuan Song, 2023  “Road Crack Detection Using Deep Neural Network Based on Attention Mechanism and Residual Structure”	CNN dengan <i>convolutional block attention module (CBAM)</i> dan <i>BasicBlock</i> .	Pembuatan model pendekripsi kerusakan jalan menggunakan CNN dengan <i>convolutional block attention module (CBAM)</i> sebagai encoder dan decoder untuk mengekstrak informasi juga menggunakan BasicBlock sebagai pengganti layer konvolusi untuk menghindari degradasi jaringan. Dataset yang digunakan sebanyak tiga data yaitu, <i>DeepCrack</i> , <i>CrackdataForest</i> , dan <i>Road Image Dataset</i> . Hasil yang dikeluarkan oleh model ini adalah pada dataset pertama mendapatkan F1-Score 85.82% pada dataset kedua F1-Score 68.85%. Pada dataset RID 55.47%	Model ini belum bekerja baik pada dataset yang memiliki derau seperti bayangan ataupun penanda jalan. Ditandai dengan perbandingan dengan metode lain yang masih lebih baik dibandingkan metode yang digunakan penulis.
4.	Cafiso S., D’Agostino C., Delfino, E., Montella, A, 2017  “From manual to automatic pavement distress detection and classification”	Algoritma Probabilitas Neural Network	Hasilnya menunjukkan seiring dengan peningkatan pengklasifikasi PNN, signifikansi hubungan statistik antara parameter ketidakrataan dan gangguan inspeksi visual. Meskipun analisis regresi hanya mampu menjelaskan 6% varians variabel dependen, PNN mengklasifikasikan sekitar 90% bagian tanpa tekanan dan 50% bagian yang mengalami tekanan. Selain itu, dari perbandingan hasil, dengan menggunakan variabel input parameter ketidakrataan yang berbeda, Straight Edge 5 m memberikan hasil terbaik, yang disebutkan sebelumnya	Jenis kerusakan terus berkembang sehingga jenis kerusakan masih menjadi isu terbuka yang harus berjalan beriringan dengan pendekripsi secara manual
5.	Bandi Sasmito, Bagus Hario Setiadji, Rizal Isnanto, 2023  “Deteksi Kerusakan Jalan Menggunakan Pengolahan Citra Deep Learning di Kota Semarang”	Algoritma YOLOv4-Tiny	Jenis kerusakan yang dideteksi adalah retakan dan lubang serta tambahan berupa garis putih jalan. Uji akurasi model dengan matriks konfusi dengan 85 sampel. Model memiliki nilai overall accuracy sebesar 88% dan nilai kappa accuracy sebesar 86%. Lokasi kerusakan jalan dalam model di uji dengan validasi posisi menggunakan GPS tangan (hand-held) menghasilkan nilai RMSE sebesar 5,6 meter.	Model ini memiliki besaran mean Average Precision (mAP) sebesar 41% dan nilai average loss sebesar 0,6428. Nilai mAP yang didapat sebesar 41% karena dataset yang digunakan sedikit sulit dikenali oleh

				mesin.
6.	Ahmed Abed, Mujib Rahman, Nick Thom, David Hargreaves, Linglin Li & Gordon Airey, 2023  <i>“Predicting pavement performance using distress deterioration curves”</i>	Algoritma Scanner	Data citra kerusakan jalan yang digunakan dikumpulkan dari tahun 2014 – 2018. Dengan pengklasifikasian kerusakan berdasarkan 3 jenis yaitu, alur, intensitas keretakan, dan kedalaman tekstur. Hasil yang didapatkan dari pembuatan model ini adalah Prediksi alur dengan kesalahan hingga 1 mm atau prediksi intensitas retak dengan kesalahan hingga 0,25% atau prediksi kedalaman tekstur dengan kesalahan hingga 0,15 mm dianggap sebagai prediksi yang sangat baik. Prediksi rutting dengan error lebih dari 3 mm, prediksi intensitas retak dengan error lebih dari 0,75%, atau prediksi kedalaman tekstur dengan error lebih dari 1 mm dianggap sebagai prediksi yang kurang memuaskan. Ambang batas prediksi yang dapat diterima dan buruk berada di antara kedua ekstrem ini.	Model prediksi dibuat statis, pengembangan yang dapat dilakukan menggunakan model dinamis.
7	Jennie Kusumaningrum, Sarifuddin Madenda, Karmilasari, Nahdalina, 2022  <i>“Detection and Classification of Road Damage Based on Image Morphology and K- NN Method (K Nearest Neighbour)”</i>	Algoritma K- NN Method (K Nearest Neighbour)	Data citra yang digunakan diambil menggunakan kamera Canon EOS M100 dengan resolusi 6000 x 4000 pixels. Data citra yang diakuisisi sebanyak 597 citra dengan proporsi 95% untuk data latih dan 5% untuk data uji. Kerusakan pada perkerasan jalan yang diidentifikasi kedalam tiga pengklasifikasian yaitu retak, retak kulit buaya, dan lubang. Nilai akurasi yang dihasilkan berada pada rerata 83% pada model yang dibuat.	Pengklasifikasian kerusakan jalan masih terbatas hanya pada tiga jenis kerusakan belum mencakup sampai tingkat kerusakannya.

### 3 Metode Penelitian

#### 3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini berusahan mengembangkan sistem Identifikasi Jenis dan Tingkat Kerusakan Jalan Serta Sebarannya Menggunakan Model Convolutional Neural Network dengan tahapan penelitian awal adalah analisis kebutuhan dari Direktorat Jenderal Bina Marga mengenai jenis kerusakan jalan serta tingkat kerusakannya. Akuisisi dan Analisis data dalam pengambilan citra kerusakan perkerasan jalan dilakukan mengikuti prosedur pedoman survei yang dikeluarkan Direktorat Jenderal Bina Marga. Pembentukan data set dilakukan dengan melabeli setiap citra yang dilakukan oleh pakar berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan. Setelahnya dilakukan augmentasi data terhadap data set citra untuk mengurangi overfitting dengan cara meningkatkan dataset. Pembentukan model identifikasi jenis kerusakan dan tingkat kerusakan dibuat menggunakan model CNN dengan data latih yang diambil 90% dari dataset yang sudah dibuat. Pengujian dan validasi sistem dilakukan dengan memanfaatkan matrik konfusi untuk menghitung akurasi dari model yang sudah dibuat. Penentuan Koordinat Sebaran Kerusakan Pada Jalan akan dilakukan dengan penetapan titik koordinat setiap kerusakan pada peta lokasi. Berikut merupakan bagan tahapan penilitian ditunjukan pada gambar



Gambar 3.1 Tahapan Rencana Penelitian

### 3.2 Analisis kebutuhan

Jenis kerusakan yang dilakukan pencatatanya pada tabel komponen perkerasan berdasarkan pedoman survei pengumpulan data kondisi jaringan jalan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga sebagai berikut:

- 1) Retak Permukaan:
  - a) Retak Kulit Buaya
  - b) Retak Tepi
  - c) Retak Refleksi Sambungan
  - d) Retak Selip
- 2) Lubang
- 3) Alur

Berdasarkan Indeks Kondisi Perkerasan tingkat kerusakan perkerasan jalan dalam Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan Dan Rekayasa Sipil dibagi menjadi tiga tingkatan yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi untuk setiap masing-masing jenis kerusakan dijelaskan dalam tabel 3.1 (Nono & Hamdani, 2016).

*Tabel 3.1 Jenis dan Tingkat Kerusakan serta Perbaikan Terhadap Kerusakan Jalan Perkerasan (Nono & Hamdani, 2016)*

JENIS KERUSAKAN	TINGKAT KERUSAKAN			PERBAIKAN
	R (RENDAH)	S (SEDANG)	T (TINGGI)	
Retak Kulit Buaya	Retak halus/rambut, yang sejajar tanpa atau dengan sedikit retak penghubung. Tidak disertai gompal.	Retak berpola/jaringan retak, dapat disertai dengan gompal ringan	Terbentuk kotak-kotak jelas, disertai gompal pada bagian tepi. Akibat beberapa beban roda kendaraan, kotak dapat bergoyang	Perkerasan dibongkar dan membuang bagian-bagian yang basah, kemudian dilapis kembali dengan bahan yang sesuai. Perbaikan drainase
Retak Tepi	Retak tidak disertai pelepasan butir	Retak disertai pelepasan butir ringan	Kehancuran/pelepasan butir pada sepanjang tepi perkerasan	Retak dapat diperbaiki dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir. Perbaikan drainase harus dilakukan, bahu jalan diperlebar dan dipadatkan. Jika pinggir perkerasan mengalami penurunan, elevasi dapat diperbaiki dengan mempergunakan hotmix.

Retak Refleksi Sambungan	Retak tanpa penyumbat dengan lebar < 10mm; Retak dengan penyumbat berapapun lebarnya; bahan penyumbat dalam kondisi yang baik	Retak tanpa penyumbat dengan lebar $\geq 10\text{mm}$ atau $< 75\text{mm}$ yang disertai dengan retak sekunder; Retak dengan penyumbat berapapun lebarnya dan terdapat retak sekunder dengan tingkat sedang/tinggi	Retak tanpa penyumbat dengan lebar $>75\text{mm}$ ; Retak dengan penyumbat berapapun lebarnya dan terdapat retak sekunder dengan tingkat sedang/tinggi (pelepasan butir parah/hancur)	Untuk retak memanjang, melintang, dan digonal perbaikan dapat dilakukan dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir. Untuk retak berbentuk kotak perbaikan dilakukan dengan membongkar dan melapis kembali dengan bahan yang sesuai
Retak Selip	$LR = \text{Lebar Retak}$ $LR < 10\text{mm}$	$LR = \text{Lebar Retak}$ $10\text{mm} < LR < 40\text{mm}$ Atau permukaan sekitar gompal moderat / retak sekunder	$LR = \text{Lebar Retak}$ $LR > 40\text{mm}$ Atau permukaan sekitar pecah-pecah sehingga pecahannya mudah tercabut.	Membongkar bagian yang rusak dan menggantikannya dengan lapisan yang lebih baik.
Lubang	D : Diameter rerata lubang K : Kedalaman Maks  1) D : 100mm – 200mm & 13mm < K $\leq$ 25mm 2) D : 200mm – 450mm & 13mm < K $\leq$ 25mm 3) D : 100mm – 200mm & 25mm < K $\leq$ 50mm	D : Diameter rerata lubang K : Kedalaman Maks  1) D : 200mm – 450mm & 25mm < K $\leq$ 50mm 2) D : 200mm – 450mm & K > 50mm 3) D : 100mm – 200mm & K > 50mm 4) D : 450mm – 750mm & 13mm < K $\leq$ 25mm	D : Diameter rerata lubang K : Kedalaman Maks  1) D : 450mm – 750mm & 25mm < K $\leq$ 50mm 2) D : 450mm – 750mm & K > 50mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Bersihkan lubang dari air dan material-material yang lepas.</li> <li>b. Bongkar bagian lapis permukaan dan pondasi sedalam-dalamnya sehingga mencapai lapisan yang kokoh (potong dalam bentuk yang persegi panjang).</li> <li>c. Beri lapis tack coat sebagai lapis pengikat.</li> <li>d. Isikan campuran aspal dengan hati-hati sehingga tidak terjadi segregasi.</li> <li>e. Padatkan lapis campuran dan bentuk permukaan sesuai dengan lingkungannya.</li> </ul>
Alur	Kedalaman 6mm – 13mm	Kedalaman >13mm – 25mm	Kedalaman >25mm	Memberi lapisan tambahan dari lapis permukaan yang sesuai.

### 3.3 Akuisisi dan Analisis Data

Akuisisi data citra kerusakan dilakukan dengan menggunakan gambar video atau gambar digital yang berkoordinat, berikut merupakan beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam proses akuisisi data citra berdasarkan pedoman survei pengumpulan data kondisi jaringan jalan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga:

- 1) Kamera yang digunakan harus dapat menghasilkan gambar digital dengan resolusi kamera minimum  $1280 \times 1920$  pixel (setara dengan full HD video).

- 2) Gambar diambil dari kamera yang menghadap ke depan dengan sudut pandang minimum  $120^\circ$  dari garis depan kendaraan.
- 3) Interval pengambilan gambar maksimal 10 meter.
- 4) Setiap gambar yang diambil harus memiliki data koordinat yang dicatat secara menerus dengan GPS yang mempunyai ketelitian  $\pm 5$  meter.
- 5) Gambar harus dapat ditampilkan dengan perangkat lunak video yang umum dioperasikan pada sistem operasi Windows.
- 6) Data kerusakan jalan dapat ditetapkan lokasinya dari gambar, dengan ketelitian 0,1 meter untuk ukuran dimensi dan jarak, dan  $\pm 10$  meter untuk lokasi.
- 7) Penentuan unit-unit sampel.

Semua data gambar harus memiliki koordinat berdasarkan pengukuran GPS, dan harus memenuhi beberapa persyaratan berikut:

- 1) Survei hanya dilakukan pada saat cuaca cerah, dan permukaan jalan kering.
- 2) Gambar harus jelas dan tidak terganggu karena adanya debu, butir air, serangga atau benda lainnya pada lensa kamera.
- 3) Ketika merekam data, kendaraan survei tidak boleh berjalan menghadap sinar matahari.
- 4) Bayangan yang tampak pada gambar tidak boleh mengurangi mutu data gambar.

Analisis Data dilakukan dengan menganalisis hasil dari gambar yang diambil saat melakukan survei kondisi perkerasan. Survei dengan metoda ini lebih disarankan dibandingkan dengan metoda survei dengan penilaian langsung di lapangan, karena:

1) Keselamatan

Kendaraan survei dijalankan dengan kecepatan normal, tidak memerlukan manajemen lalu lintas, dan petugas survei tidak terpapar langsung dengan lalu-lintas maupun cuaca.

2) Cepat

Perekaman data gambar di lapangan umumnya dapat mencapai 100 lajur km per hari dan penilaian per operator umumnya sekitar 30 km per hari.

3) Sumberdaya

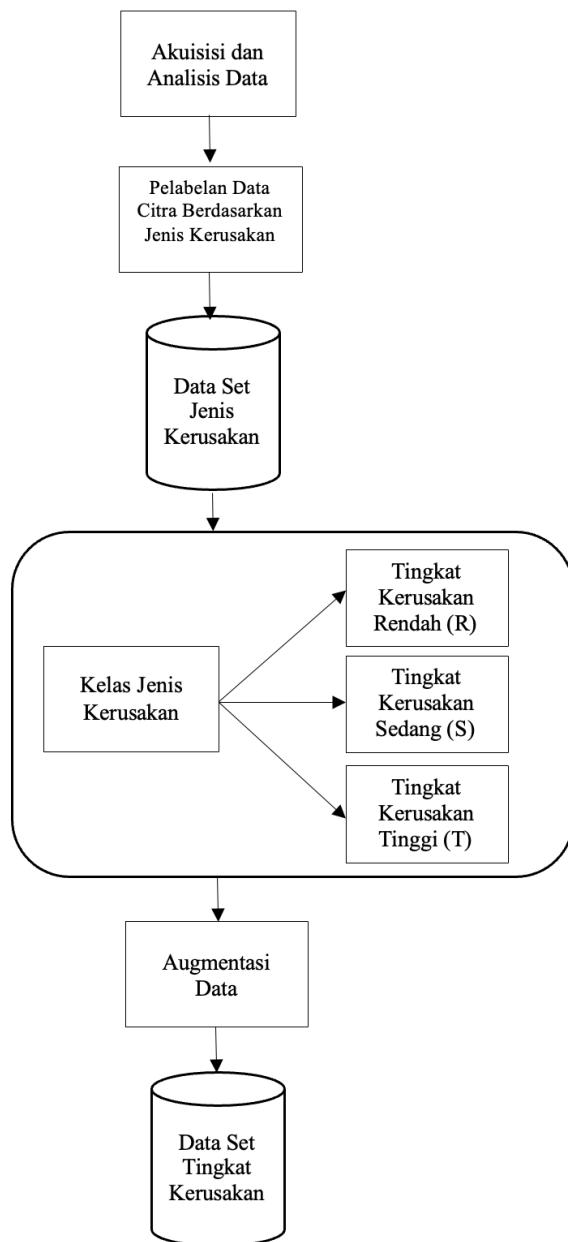
Petugas penilai dapat ditugaskan lebih banyak untuk menilai kondisi dari gambar yang direkam.

4) Dapat diperiksa

Gambar-gambar yang digunakan, dan penilaian kondisi dapat diperiksa (diaudit) setiap saat untuk memeriksa konsistensi antar petugas penilai dan mutu penilaian.

### 3.4 Pembentukan Dataset

Pembentukan dataset diawali dengan pelabelan data oleh pakar ke dalam tiga jenis yang akan diidentifikasi berdasarkan tingkat kerusakannya. Berikut merupakan alur dari pembentukan dataset



*Gambar 3.2 Tahapan Pembentukan Dataset Jenis dan Tingkat Kerusakan*

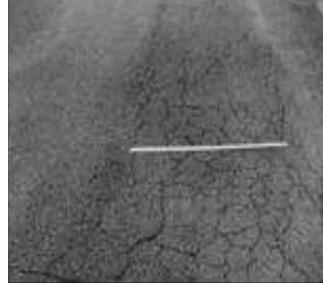
Berikut merupakan contoh pelabelan data citra berdasarkan jenis kerusakan (Nono & Hamdani, 2016) dalam tabel 3.2.

*Tabel 3.2 Contoh Pelabelan Citra Kerusakan Berdasarkan Jenis Kerusakan (Nono & Hamdani, 2016)*

Id_Kerusakan	Gambar	Kelas
R1		Retak Kulit Buaya
R2		Retak Tepi
R3		Retak Refleksi Sambungan
R4		Retak Selip
R5		Lubang
R6		Alur

Setelah didapatkan dataset klasifikasi jenis kerusakan, maka akan dibentuk dataset berdasarkan tingkat kerusakan seperti contoh pada tabel berikut (Nono & Hamdani, 2016):

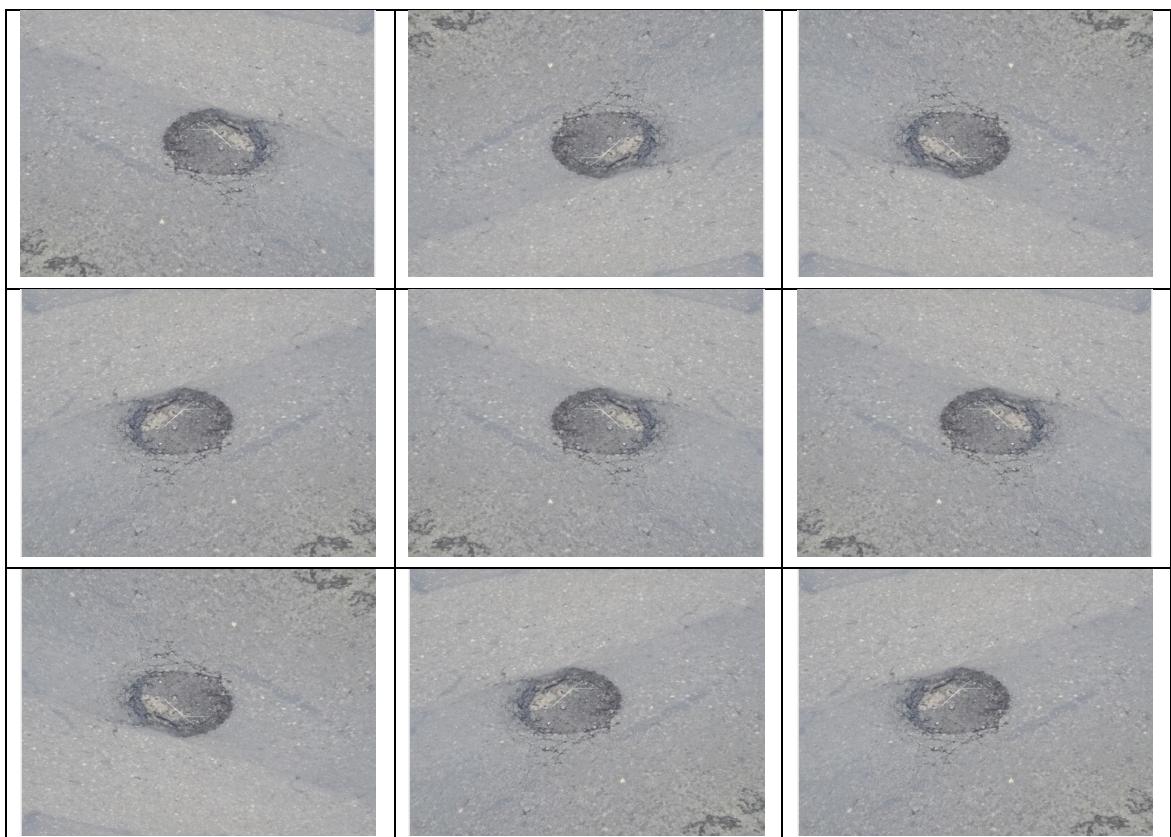
*Tabel 3.3 Contoh Tingkat Kerusakan Jalan Perkerasan Berdarkan Indeks Kondisi Perkersan Jalan (Nono & Hamdani, 2016)*

Id_Ker rusakan	Tingkat Kerusakan		
	Rendah (R)	Sedang (S)	Tinggi (T)
R1			
R2			
R3			
R4			

R5			
R6			

- **Augmentasi data**

Augmentasi data dilakukan untuk menghindari *overfitting* pada model dan juga untuk memperluas ukuran suatu data set secara artifisial. Berikut merupakan contoh dari augmentasi data citra kerusakan jalan.



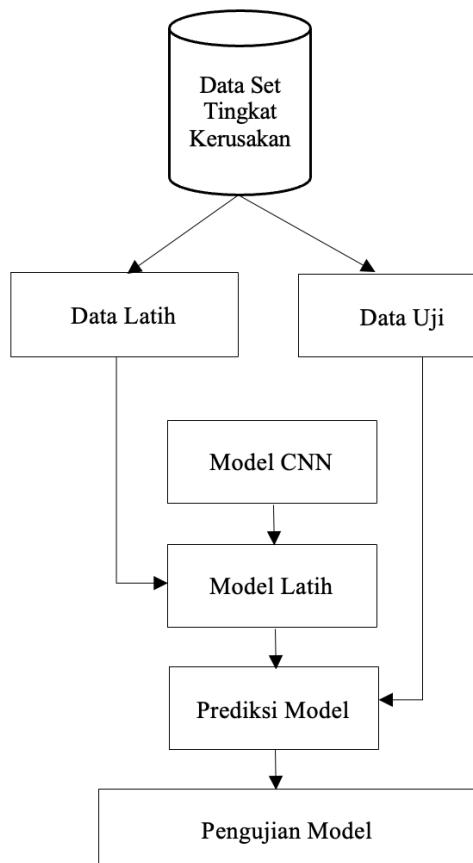
### 3.5 Pembentukan Model Klasifikasi

Model klasifikasi dibentuk dengan menggunakan arsitektur CNN dengan data set yang telah terbentuk dari subbab 3.4 maka akan dibagi ke dalam dua bagian yaitu Data Latih dan Data Uji. Presentase pembagian dataset yang akan dilakukan baik untuk data latih maupun data uji tertera pada tabel.

Tabel 3.4 Pembagian Dataset (Data Latih dan Data Uji)

Data Latih	Data Uji
50%	50%
60%	40%
70%	30%
80%	20%
90%	10%

Alur pemodelan secara umum sampai dengan prediksi model digambarkan dalam diagram di bawah ini.



Gambar 3.3 Tahapan Pembentukan Model Klasifikasi

### **3.6 Pengujian Model**

Pengujian dilakukan dengan cara menguji satu per satu citra data uji sesuai dengan proses klasifikasi yang telah dijelaskan pada sub bab 3.4. Pengujian model dilakukan dengan memanfaatkan matrik konfusi untuk menghitung akurasi, presisi, *recall*, dan F1-Score seperti teori yang sudah dijelaskan pada subbab 2.5.6 dari model yang sudah dibuat.

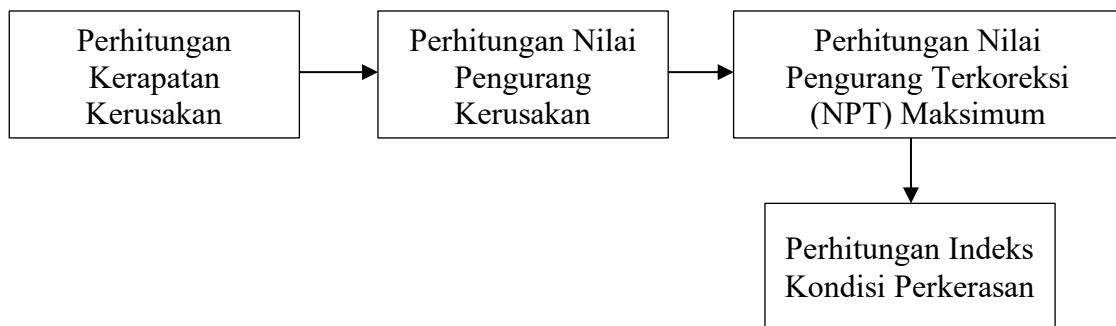
### **3.7 Pengukuran Tingkat Kerusakan**

Perkerasan pada ruas yang telah dipilih dibagi menjadi beberapa unit perkerasan. Apabila perkerasan pada ruas tidak seragam, maka ruas perlu terlebih dulu dibagi menjadi seksi-seksi yang seragam dan kemudian tiap seksi dibagi menjadi unit-unit perkerasan. Selanjutnya, dari unit-unit perkerasan dipilih beberapa unit sampel yang akan disurvei. Survei dilakukan secara visual dan data yang dinilai dan dicatat pada saat survei tiap unit sampel adalah jenis, tingkat keparahan, dan kuantitas kerusakan perkerasan. Peralatan yang digunakan untuk survei manual kondisi perkerasan adalah sebagai berikut:

1. Formulir survei atau alat yang dapat merekam sekurang-kurangnya informasi sebagai berikut: tanggal, lokasi, ruas, seksi, ukuran unit sampel, jumlah dan ukuran panel, jenis, tingkat keparahan, dan kuantitas kerusakan, dan nama-nama petugas survei.
2. Meteran roda yang dapat mengukur jarak dengan ketelitian 30 mm (0,1 feet) terdekat.
3. Mistar atau benang (untuk perkerasan beton aspal), 3 m (10 feet).
4. Mistar berskala 300 mm (12 in) yang dapat membaca jarak sampai 3 mm (1/8 in) atau lebih teliti.
5. Peta jaringan untuk jaringan jalan yang akan disurvei.
6. Perambuan sesuai Pd T-12-2003.

Berdasarkan Indeks Kondisi Perkerasan cara pengukuran tingkat kerusakan perkerasan jalan dalam Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan Dan Rekayasa Sipil Penilaian kondisi perkerasan dilakukan untuk setiap lajur jalan, dengan arah pengukuran 2 (dua) arah. Metoda penilaian kondisi perkerasan secara manual ini mencakup perekaman data gambar berkoordinat dan penilaian kondisi perkerasan dari gambar. Penilaian kondisi dapat dilakukan di kantor (Nono & Hamdani, 2016).

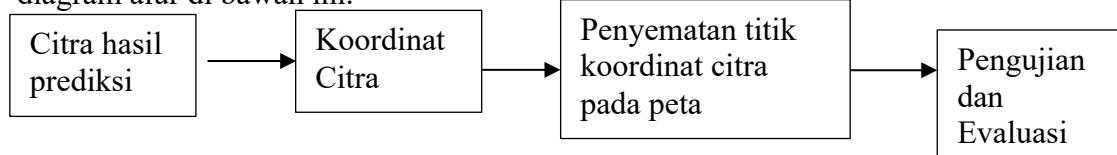
Penentuan IKP ruas perkerasan beton aspal ditentukan berdasarkan IKP unit-unit sampel, maka untuk mendapatkan IKP ruas perlu terlebih dulu ditentukan IKP tiap unit sampel dan tiap unit khusus (bila ada). Tahapan penentuan IKP dapat dikelompokan menjadi empat tahap yang telah dijelaskan pada teori di subbab 2.6. yang ditunjukkan pada gambar



*Gambar 3.4 Tahapan Perhitungan Penentuan IKP Unit Sampel*

### 3.8 Penentuan Koordinat Sebaran Kerusakan Pada Jalan

Penentuan Koordinat Sebaran Kerusakan Pada Jalan akan dilakukan dengan penetapan titik koordinat setiap kerusakan pada peta lokasi. Digambarkan dalam diagram alur di bawah ini.



*Gambar 3.5 Tahapan Penentuan Koordinat Sebaran Kerusakan Pada Jalan*

### 3.9 Analisis dan Evaluasi Hasil

Hasil pengukuran yang dihasilkan dari citra jenis kerusakan jalan perkerasan akan dianalisis dan evaluasi dengan pengolahan data secara manual yang dikerjakan oleh binamarga serta dihitung kembali akurasi dari pengukuran tingkat kerusakan tersebut.

### 3.10 Rencana Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan	Bulan																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...
Studi Pustaka																					
Pemilihan Tema																					
Penyusunan																					

Proposal																			
Mempelajari Literatur																			
Akuisisi Data																			
Pra Pemrosesan Data																			
Mendesain Model																			
Implementasi Model																			
Pengujian Model																			
Pembuatan Aplikasi																			
Publikasi Ilmiah																			

## DAFTAR PUSTAKA

- Abed, A., Rahman, M., Thom, N., Hargreaves, D., Li, L., & Airey, G. (2023). Predicting pavement performance using distress deterioration curves. *Road Materials and Pavement Design*. <https://doi.org/10.1080/14680629.2023.2238094>
- Ali, L., John, M. J., Valappil, N. K., Jassmi, H. Al, & Kareem, D. N. A. (2019). Pavement Crack Detection and Localization using Convolutional Neural Networks (CNNs). *Proceeding of 2019 International Conference on Digitization (ICD) : Theme: Landscaping Artificial Intelligence : November 18th-19th, 2019*, 217–221.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2011). *Klasifikasi jalan rusak menurut bina marga*.
- Ghosh, A., Sufian, A., Sultana, F., Chakrabarti, A., & De, D. (2019). Fundamental concepts of convolutional neural network. In *Intelligent Systems Reference Library* (Vol. 172, pp. 519–567). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32644-9\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32644-9_36)
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (Richard E. (2008). *Digital image processing*. Prentice Hall.
- Huyan, J., Li, W., Tighe, S., Xu, Z., & Zhai, J. (2020). CrackU-net: A novel deep convolutional neural network for pixelwise pavement crack detection. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(8). <https://doi.org/10.1002/stc.2551>
- Jing, P., Yu, H., Hua, Z., Xie, S., & Song, C. (2023). Road Crack Detection Using Deep Neural Network Based on Attention Mechanism and Residual Structure. *IEEE Access*, 11, 919–929. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3233072>
- Kusumaningrum, J., Madenda, S., Karmilasari, & Nahdalina. (2022). Detection and Classification of Road Damage Based on Image Morphology and K-NN Method (K Nearest Neighbour). *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 11(5), 86–90. <https://doi.org/10.35940/ijeat.E3543.0611522>
- Munir, R. (2004). *Pengolahan Citra Digital Dengan Pendekatan Algoritmik*. Informatika.
- Nono, & Hamdani, D. (2016). *Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil*.
- Peraturan Daerah (PERDA) Kota Depok Nomor 1 Tahun 2015. (2015). *Peraturan Daerah (PERDA) Kota Depok Nomor 1 Tahun 2015 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Depok Tahun 2012-2032*.
- PUPR. (2023). *Kondisi Jalan Nasional 2023 Semester I*.
- Sasmito, B., Setiadji, B. H., & Isnanto, R. (2023). Deteksi Kerusakan Jalan Menggunakan Pengolahan Citra Deep Learning di Kota Semarang. *TEKNIK*, 44(1), 7–14. <https://doi.org/10.14710/teknik.v44i1.51908>
- Szeliski, R. (2021). *Computer Vision: Algorithms and Applications 2nd Edition*. <https://szeliski.org/Book>,
- Ting, K. M. (2010a). Confusion Matrix. In G. I. Sammut Claude and Webb (Ed.), *Encyclopedia of Machine Learning* (p. 209). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8\\_157](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_157)
- Ting, K. M. (2010b). Encyclopedia of Machine Learning : Sensitivity and Specificity. In G. I. Sammut Claude and Webb (Ed.), *Encyclopedia of Machine Learning* (pp. 901–902). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8\\_752](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_752)
- Yang, S., Xiao, W., Zhang, M., Guo, S., Zhao, J., & Shen, F. (2022). *Image Data Augmentation for Deep Learning: A Survey*. <http://arxiv.org/abs/2204.08610>
- Yanu, M., Yuwono, B., & Boedi, D. (2022). *Dasar Pengolahan Citra Digital: Edisi 2022*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UPN Veteran Yogyakarta.