

## PENERAPAN ANALISIS BERBASIS FRAKTAL DALAM KLASIFIKASI CITRA RETAKAN PADA PERMUKAAN JEMBATAN BETON

Mutmainnah Muchtar<sup>1\*</sup>, Muhammad Nurtanzis Sutoyo<sup>2</sup>, Alders Paliling<sup>3</sup>, Sunyanti<sup>4</sup>, Johar Nur In<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

<sup>2,5</sup>Program Studi Sistem Informasi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka  
muchtarmutmainnah@gmail.com<sup>1</sup>

*Submitted October 4, 2023; Revised June 14, 2024; Accepted June 24, 2024*

### Abstrak

Retakan jembatan adalah celah atau rekahan yang terbentuk pada permukaan beton jembatan akibat proses penuaan atau beban melebihi kapasitasnya. Mengetahui retakan pada jembatan sangat penting karena retakan yang tidak terdeteksi dapat mengakibatkan kerusakan serius pada struktur jembatan, mengancam keselamatan pengguna jalan, dan meningkatkan biaya perawatan dan perbaikan infrastruktur. Analisis fraktal adalah pendekatan matematika yang mempelajari struktur dan pola dalam objek yang kompleks dan berbentuk tidak teratur. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan analisis berbasis fraktal dengan menggunakan fitur dimensi fraktal dan *lacunarity* dalam klasifikasi citra retakan pada permukaan jembatan beton. Dengan menggunakan analisis fraktal dan *K-Nearest Neighbor classifier*, penelitian ini berhasil mencapai akurasi klasifikasi citra retakan pada jembatan beton sebesar 97,6%, diikuti dengan nilai presisi dan *recall* sebesar 97,659% dan 97,6%. Hasil ini membuktikan potensi analisis fraktal sebagai metode yang efektif dalam deteksi retakan pada jembatan beton dan dapat memberikan kontribusi dalam pemeliharaan dan keamanan infrastruktur jembatan di masa depan.

**Kata Kunci :** Analisis Fraktal, Dimensi Fraktal, Jembatan, Lakunaritas, Klasifikasi Retakan

### Abstract

*Bridge cracks are gaps that form on the concrete surface of the bridge due to the aging process or the load exceeding its capacity. Knowing the cracks in the bridge is very important because undetected cracks can cause serious damage to the bridge structure, threaten the safety of road users, and increase the cost of maintaining and repairing infrastructure. Fractal analysis is a mathematical approach that studies structures and patterns in complex and irregularly shaped objects. This study aims to apply fractal-based analysis using fractal dimension and lacunarity features in classifying image cracks on the surface of concrete bridges. By using fractal analysis and the K-Nearest Neighbor classifier, this study succeeded in achieving an accuracy of crack image classification on concrete bridges of 97.6%, followed by precision and recall values of 97.659% and 97.6%. These results prove the potential of fractal analysis as an effective method for detecting cracks in concrete bridges and can make an important contribution to the maintenance and safety of bridge infrastructure in the future.*

**Keywords :** Fractal Analysis, Fractal Dimension, Bridge, Lacunarity, Crack Classification

### 1. PENDAHULUAN

Jembatan beton adalah jenis struktur jembatan yang menggunakan beton sebagai bahan konstruksinya [1]. Beton merupakan campuran dari semen, pasir, kerikil, air, dan aditif lainnya yang digunakan untuk membentuk elemen struktural jembatan, seperti balok, tiang, lantai, dan fondasi [2]. Jembatan beton sering digunakan karena keunggulannya dalam kekuatan, ketahanan

terhadap beban berat, dan masa pakai yang lama sehingga menjadi pilihan yang populer dalam pembangunan infrastruktur jangka panjang [3].

Retakan atau *crack* merupakan keadaan dimana terjadi proses pisah atau pecahnya struktur tanpa adanya keruntuhan [2]. Retakan pada jembatan beton bisa terjadi karena berbagai faktor. Seperti karena faktor beban, perubahan suhu, deformasi

tanah yang mendasarinya, atau hadirnya elemen lingkungan yang merusak [4]. Jika tidak diidentifikasi dan ditangani dengan tepat waktu, retakan dapat memperburuk kondisi jembatan dan mengancam keselamatan pengguna. Oleh karena itu, pemantauan, inspeksi rutin, dan pemeliharaan yang teratur menjadi penting untuk mendeteksi retakan sejak dini untuk mengambil langkah-langkah perbaikan yang diperlukan.

Proses deteksi dan klasifikasi retakan pada jembatan beton secara manual melibatkan intervensi dan pengamatan manusia secara langsung [5]. Proses inspeksi retakan secara manual ini memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya meliputi subjektivitas manusia dan keterbatasan dalam mendeteksi retakan yang tersembunyi. Selain itu, proses manual kurang efektif jika jembatan memiliki luas permukaan yang besar atau akses yang sulit. Dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi deteksi dan klasifikasi retakan, pengolahan citra digital menjadi alternatif yang menjanjikan untuk mendukung proses ini. Metode ini membantu dalam mendeteksi, mengklasifikasikan, dan mengukur retakan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi serta mempercepat proses inspeksi dan pemantauan jembatan beton [5].

Analisis fraktal adalah pendekatan matematika yang digunakan untuk mempelajari dan mengukur pola-pola kompleks dalam objek geometris yang tidak teratur [6], [7]. Dalam konteks analisis struktur retakan pada citra, analisis fraktal dapat memberikan informasi tentang perincian, kompleksitas, dan hubungan spasial retakan dalam suatu struktur [8]. Fitur dimensi fraktal dan fitur *lacunarity* merupakan fitur fraktal yang cukup banyak digunakan dalam analisis fraktal pada tekstur citra. Dimensi fraktal menggambarkan kompleksitas dan kerapatan retakan pada skala yang berbeda, sementara *lacunarity* menggambarkan

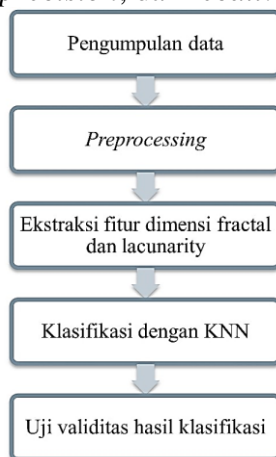
distribusi spasial atau ketidakteraturan retakan.

Penelitian yang dilakukan oleh [9] secara otomatis mendeteksi retakan pada citra jembatan menggunakan CNN (*Covolutional Neural Network*), sedangkan [10] melakukan deteksi dan klasifikasi keretakan pada citra trotoar dengan menggunakan metode YOLO (*You Only Look Once*). Kedua penelitian menunjukkan akurasi di atas 90%. Namun, baik metode CNN dan YOLO mengandalkan jaringan saraf tiruan yang kompleks, sehingga membutuhkan waktu dan daya komputasi yang signifikan. Penelitian oleh [11] menerapkan pengklasifikasi yang lebih sederhana yaitu KNN (*K-Nearest Neighbor*) dalam klasifikasi kerusakan pada jalan raya menggunakan fitur tekstur GLCM, begitu pula penelitian oleh [12] yang menerapkan fitur GLCM dalam mendeteksi kerusakan jalan aspal. Namun kekurangan fitur GLCM yaitu kurang mampu mengatasi variasi dalam skala dan orientasi retakan. Berbeda dengan teknik analisis tekstur berbasis analisis fraktal dimana metode fraktal dapat untuk menggambarkan dan menganalisis struktur pada skala yang berbeda. Penelitian oleh [6] mengusulkan suatu teknik diagnosa awal penyakit Retinopati Hipertensi menggunakan pendekatan analisis fraktal yaitu fitur dimensi fraktal dan *lacunarity* pada citra fundus retina, dengan hasil yang cukup signifikan. Dilanjutkan oleh penelitian [13] yang menerapkan metode ekstraksi fitur dimensi fraktal dan *lacunarity* dalam klasifikasi citra daun menggunakan pengklasifikasi SVM (*Support Vector Machine*) dengan akurasi di atas 90%. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan analisis berbasis fraktal yaitu dimensi fraktal dan *lacunarity*, dalam klasifikasi citra retakan pada jembatan beton. Penelitian ini juga menggunakan evaluasi dan validasi kinerja metode dengan menggunakan dataset citra retakan yang akan diproses menggunakan

serangkaian teknik *pre-processing* citra. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan pemahaman tentang penggunaan analisis fraktal dalam deteksi dan pemantauan retakan pada jembatan beton, serta dalam penerapan teknik klasifikasi yang lebih efektif dan efisien di bidang tersebut.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Tahap pertama adalah pengumpulan dataset citra permukaan jembatan beton yang dikelompokkan ke dalam 2 kelas, yaitu citra jembatan beton yang mengalami keretakan dan citra jembatan beton yang tidak mengalami keretakan. Selanjutnya citra jembatan beton diperbaiki di tahap *preprocessing* citra yang terdiri atas proses konversi citra RGB ke *grayscale* dan proses *filtering*. Pada tahap berikutnya dilakukan segmentasi berdasarkan intensitas warna yang diikuti oleh operasi morfologi citra. Setelah area retakan berhasil disegmentasi, maka dilakukan analisis fraktal sehingga diperoleh fitur dimensi fraktal dan *lacunarity*. Terakhir, dilakukan klasifikasi citra retakan menggunakan metode KNN diikuti uji validasi menggunakan *k-fold cross validation* untuk mendapatkan nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall*.

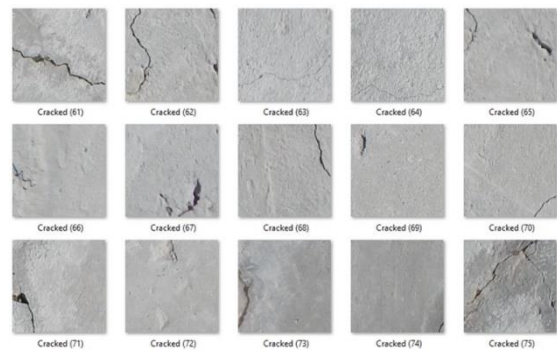


Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 1. Metode Penelitian

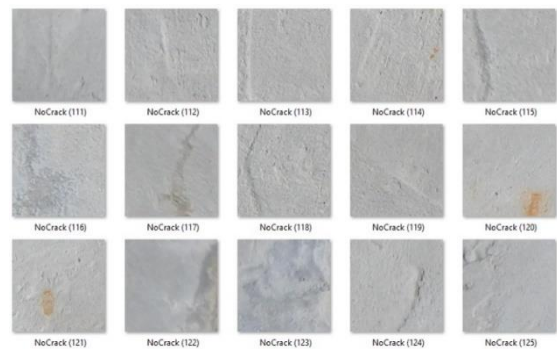
## Dataset

Sebanyak 250 citra permukaan jembatan beton berdimensi 256 x 256 piksel dengan resolusi 96 dpi digunakan dalam penelitian ini. Dataset ini merupakan bagian dari dataset yang digunakan oleh repositori institusi Utah State University [14]. Citra permukaan jembatan beton ini terdiri atas 2 kelas yaitu “Retak” dan “Tidak Retak”. Masing-masing kelas terdiri atas 125 citra. Gambar 2 dan 3 menunjukkan beberapa sampel citra permukaan jembatan yang digunakan dalam penelitian ini untuk kelas “Retak” dan “Tidak Retak”.



Sumber: [14]

Gambar 2. Contoh Kelas “Retak”



Sumber: [14]

Gambar 3. Contoh Kelas “Tidak Retak”

## Preprocessing citra

Tahap *preprocessing* citra bertujuan untuk mempersiapkan dan meningkatkan kualitas citra sebelum tahap analisis lebih lanjut. Pada tahap ini dilakukan konversi citra RGB ke *grayscale* dilanjutkan dengan proses *filtering* menggunakan filter median. Hasil filter kemudian dikonversi ke citra

biner dengan menggunakan metode *thresholding* dan operasi morfologi.

### 1. Konversi citra RGB ke *Grayscale*

Salah satu metode konversi RGB ke *grayscale* adalah metode *luminance* [15]. Metode ini memberikan bobot berbeda pada komponen R (Red), G (Green) dan B (Blue) berdasarkan kontribusinya terhadap kecerahan atau luminositas, yang ditunjukkan oleh persamaan (1).

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.144 * B \quad (1)$$

dimana  $Y$  adalah nilai intensitas piksel dalam citra *grayscale*.

### 2. Filter Median

Filter median berfungsi untuk mengurangi derau (*noise*) dan menghaluskan citra dengan menggantikan nilai piksel dengan nilai median dari tetangga-tetangganya [16]. Dengan menggunakan algoritma filter median pada citra permukaan jembatan, maka hasil akhir citra lebih bersih dan jelas. Persamaan (2) menunjukkan rumus filter median.

$$f(x, y) = \text{median} \{g(s, t)\}; (s, t) \in S_{x,y} \quad (2)$$

Keterangan:

$f(x, y)$  = citra hasil median filter

$S_{x,y}$  = *window area* yang diliputi oleh filter

$g(s, t)$  = sub-image dari  $S_{x,y}$

### 3. *Thresholding*

Metode *thresholding* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *thresholding* berbasis warna dengan menggunakan 2 nilai ambang. Tujuannya adalah untuk mengontrol rentang intensitas yang ingin disegmentasikan sehingga memungkinkan perolehan objek dengan intensitas yang berbeda secara lebih akurat [17]. Berikut ini algoritma segmentasi yang digunakan dalam penelitian ini: (1) Membaca citra *grayscale*; (2) Menentukan dua ambang batas, yaitu batas bawah dan batas atas, untuk memisahkan piksel dalam citra (3) Jika nilai piksel berada di antara ambang batas bawah dan batas atas, ubah nilai piksel dalam citra

biner menjadi 255 (putih). Jika tidak, mengubah nilai piksel dalam citra biner menjadi 0 (hitam).

### 4. Operasi Morfologi

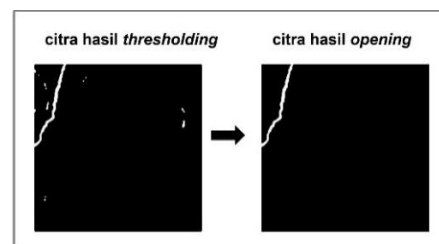
Metode morfologi *opening* adalah operasi pengolahan citra yang menggabungkan operasi erosi dan dilasi [15]. Tujuan dilakukannya operasi ini adalah untuk menghilangkan titik-titik atau struktur kecil di dalam citra biner permukaan jembatan dengan tetap mempertahankan struktur objek yang lebih signifikan, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Persamaan (3) menunjukkan proses *opening* citra.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

Keterangan:

$A$  = citra biner yang menjadi input

$B$  = elemen struktural



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 4. Operasi Morfologi *Opening*

### Ekstraksi Fitur Fraktal

Fraktal adalah sebuah konsep dalam matematika yang digunakan untuk menggambarkan objek atau struktur yang memiliki sifat *self-similar* atau pengulangan diri [13]. Tujuan utama dari analisis citra berbasis fraktal pada penelitian ini adalah untuk mengukur kompleksitas struktur citra permukaan jembatan beton serta mengekstraksi fitur-fitur berbasis fraktal yang dapat digunakan untuk tujuan klasifikasi. Dalam analisis citra berbasis fraktal, beberapa metode yang umum digunakan meliputi: (1) *Box counting* untuk mengestimasi fitur dimensi fraktal; dan (2) *Gliding box* untuk penyebaran objek fraktal yang juga biasa disebut dengan *lacunarity*.

### 1. Fitur Dimensi Fraktal

Konsep dimensi fraktal dikembangkan oleh matematikawan Benoit Mandelbrot pada tahun 1970-an sebagai bagian dari teori fraktal. Dimensi fraktal memperluas konsep dimensi Euclidean (bilangan bulat seperti 1, 2, atau 3) untuk menggambarkan objek dengan struktur geometris yang kompleks dan tidak teratur. Dimensi fraktal juga dapat memberikan informasi tentang struktur dan properti statistik objek fraktal, seperti tingkat kekasaran, bentuk, atau tingkat perubahan. Fitur dimensi fraktal dari citra retakan permukaan jembatan dapat dihitung dengan menggunakan berbagai metode, termasuk metode *box counting* [6], [7]. Persamaan (4) menunjukkan proses perolehan fitur dimensi fraktal ( $D$ ) dari citra dengan menggunakan metode *box counting*. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan dimensi fraktal dari citra hasil *thresholding* dan citra hasil operasi *opening*. Gambar 5 menunjukkan proses diperolehnya nilai fitur fraktal untuk citra hasil operasi *opening*.

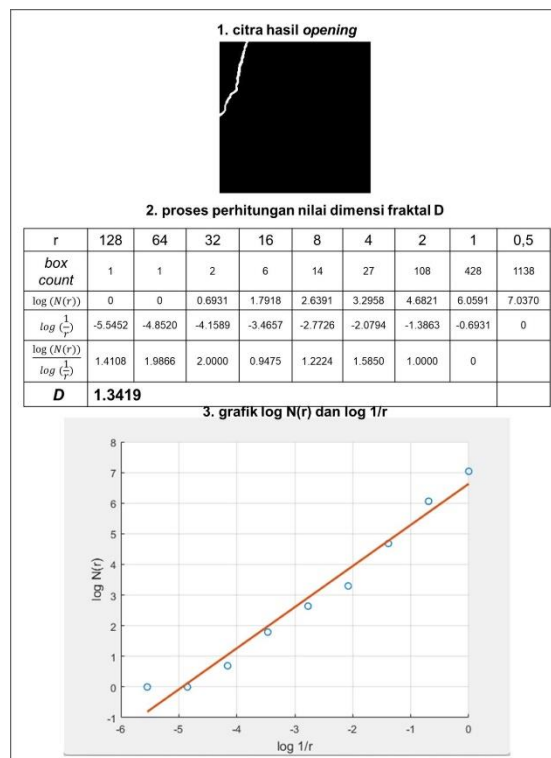
$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(N(r))}{\log(\frac{1}{r})} \tag{4}$$

Keterangan:

$D$  = dimensi fraktal

$r$  = rasio kotak

$N(r)$  = banyaknya kotak yang ditutupi  $r$



Sumber : Dokumen Pribadi

**Gambar 5. Proses Perhitungan Nilai Dimensi Fraktal  $D$**

### 2. Fitur *Lacunarity*

*Lacunarity* atau lakunaritas memberikan informasi tentang sejauh mana objek fraktal mengisi atau meliputi ruang dalam berbagai skala, serta pola distribusi atau penyebaran detail-detail dalam objek tersebut. *Lacunarity* yang rendah menunjukkan bahwa tekstur bersifat homogen, sebaliknya *lacunarity* yang tinggi menunjukkan bahwa tekstur bersifat heterogen. *Lacunarity* diharapkan dapat memberikan informasi tentang keberagaman dan pola spasial retakan pada jembatan beton. Salah satu metode untuk memperoleh fitur *lacunarity* adalah metode *gliding box* [18]. Algoritma ini menganalisis citra dengan menerapkan kotak (*box*) yang bersifat *overlapping* dengan panjang tertentu yang bisa disebut juga dengan *moving window*. Persamaan (5) merupakan rumus untuk memperoleh fitur *lacunarity* ( $\Lambda$ ) dari citra dengan menggunakan metode *gliding box* [7].

$$\Lambda(r) = \frac{S_s^2(r)}{S^2(r)} + 1 \tag{5}$$

Keterangan:

$\Lambda(r)$  = nilai *lacunarity* pada kotak ukuran  $r$

$r$  = ukuran kotak

$S_s^2(r)$  = varians dari jumlah piksel pada tiap kotak  $r$

$\bar{S}(r)$  = rata-rata nilai piksel pada tiap kotak  $r$

Setelah diperoleh masing-masing fitur dimensi fraktal dan *lacunarity*, maka akan terbentuk 1 buah fitur vektor baru yang merupakan hasil penggabungan kedua fitur (2 atribut fitur dimensi fraktal dan 8 atribut fitur *lacunarity*). Sehingga, ukuran dimensi dari fitur tiap citra yang diproses dalam penelitian ini adalah sebanyak 10 dimensi.

#### **K-Nearest Neighbor Classifier**

Metode K-Nearest Neighbors (KNN) adalah salah satu algoritma klasifikasi yang sederhana dan intuitif dalam *data mining*. Pada dasarnya, KNN melakukan klasifikasi dengan membandingkan suatu data yang akan diklasifikasikan dengan data latih yang sudah ada. Algoritma ini bekerja dengan cara mencari K tetangga terdekat dari data yang akan diklasifikasikan berdasarkan ukuran jarak yang ditentukan [11].

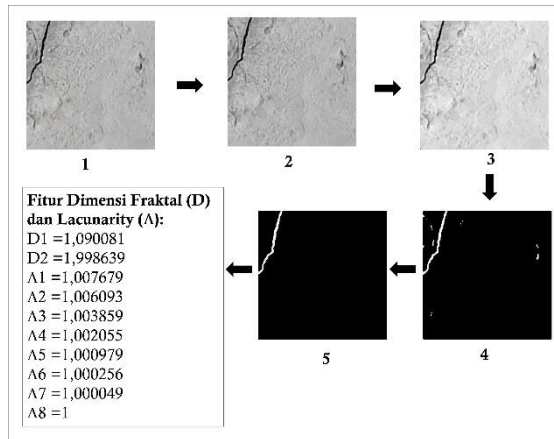
#### **k-Fold Cross Validation**

*k-Fold Cross Validation* adalah metode evaluasi yang digunakan dalam *machine learning* untuk mengukur performa model atau algoritma. Prosesnya melibatkan membagi data menjadi  $k$  subset (*fold*), di mana salah satu subset digunakan sebagai data pengujian atau data validasi dan sisanya sebagai data pelatihan. Model dilatih dan dievaluasi sebanyak  $k$  kali menggunakan subset yang berbeda-beda. Hasil evaluasi dari  $k$  iterasi tersebut kemudian diambil rata-ratanya untuk memberikan estimasi performa dari model secara keseluruhan. Teknik ini membantu menghindari *overfitting* dan memberikan gambaran yang lebih andal tentang seberapa baik model dapat melakukan generalisasi pada data baru [19], [20].

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Proses *preprocessing* dan ekstraksi fitur citra dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab R2018a. Dilanjutkan dengan proses uji validasi dan performansi menggunakan *software* RapidMiner Studio. Sebanyak 250 citra permukaan jembatan beton yang terdiri atas 125 citra untuk kelas “Retak” dan 125 citra untuk kelas “Tidak retak” digunakan dalam pengujian. Pengujian ke-1 bertujuan untuk melihat performa dari analisis berbasis fraktal dengan menggunakan pengklasifikasi KNN dan *5-fold cross validation*. Selanjutnya pada pengujian ke-2, dilakukan analisis perbandingan dengan menggunakan pengklasifikasi lainnya seperti SVM, Naïve Bayes, dan Decision Tree.

Gambar 6 menunjukkan salah satu contoh hasil ekstraksi fitur fraktal dengan menggunakan metode *box counting* untuk memperoleh fitur dimensi fraktal dan metode *gliding box* untuk memperoleh fitur *lacunarity*. Awalnya citra 1 merupakan citra RGB, yang kemudian dikonversi menjadi citra 2 yaitu citra *grayscale*. Citra *grayscale* kemudian dinormaliasi dan difilter menggunakan median filter. Di tahap ke 4, citra disegmentasi dengan metode *thresholding*, dilanjutkan dengan operasi *opening* pada tahap ke 5. Terakhir, citra hasil *thresholding* dan citra hasil *opening* dianalisis untuk memperoleh fitur dimensi fraktal  $D1$  dan  $D2$ . Sedangkan fitur *lacunarity* ( $\Lambda1$ - $\Lambda8$ ) diperoleh dengan menerapkan *gliding box* pada citra hasil *opening*. Angka 1 sampai 8 menunjukkan ukuran *box*  $r$  yang digunakan yaitu (4,8,16,32,64,128, 256 dan 512).



Sumber : Dokumen Pribadi

**Gambar 6. Proses Perolehan Fitur Fraktal**

**Tabel 1. Pengujian Performa Hasil Klasifikasi dengan 5-fold cross validation**

Fold ke-	Akurasi	Presisi (%)	Recall(%)
1	98	98,075	98
2	98	98,075	98
3	94	94,07	94
4	98	98,075	98
5	100	100	100
<b>Rata-Rata</b>	<b>97,6</b>	<b>97,659</b>	<b>97,6</b>

Sumber : Dokumen Pribadi

Berdasarkan Tabel 1, dapat diamati bahwa diperoleh rata-rata nilai akurasi klasifikasi dengan KNN sebesar 97,6%. Kemudian diikuti dengan nilai presisi dan recall secara berturut-turut adalah 97,659% dan 97,6%. Performa terbaik ditunjukkan oleh *fold* ke 5 dengan akurasi, presisi dan recall secara berturut-turut bernilai 100%. Performa terendah terdapat pada *fold* ke 3, di mana terdapat 2 citra yang seharusnya berada di kelas “Retak” terklasifikasi di kelas “Tidak Retak”. Sementara itu, terdapat 1 citra yang seharusnya berada di kelas “Tidak Retak” terklasifikasi di kelas “Retak”.

Tabel 2 menunjukkan 2 contoh citra yang mengalami kesalahan klasifikasi beserta fitur vektor dimensi fraktal dan *lacunarity*-nya. Kesalahan klasifikasi ini disebabkan karena: (1) pada citra yang seharusnya berada pada kelas “Retak”, ditemukan bahwa retakan pada permukaan jembatan terlalu tipis sehingga ketika tahap *preprocessing* citra dilakukan, piksel-piksel yang nilainya terlalu kecil akan dihilangkan

pada proses operasi *thresholding* dan *opening*; (2) pada citra yang seharusnya berada pada kelas “Tidak Retak”, terdapat area yang struktur permukaan betonnya tidak rata sehingga menimbulkan kesan garis pada citra, yang didukung dengan hadirnya *noise* berupa bayangan. Hal ini menyebabkan terdeteksinya area yang ciri pikselnya mirip dengan ciri piksel retakan. Resolusi keseluruhan citra yang cukup kecil, yakni 256x256 piksel dengan 96 dpi juga bisa mempengaruhi proses ekstraksi fitur karena retakan tipis menunjukkan jumlah piksel yang juga sedikit.

**Tabel 2. Citra yang Terklasifikasi Secara Salah**

Citra asli	Kelas yang benar	Hasil Klasifikasi	Fitur fraktal
	Retak	Tidak Retak	D1=0,34039036 D2=2 A1=1 A2=1 A3=1 A4=1 A5=1 A6=1 A7=1 A8=1
	Tidak Retak	Retak	D1=0,74930523 D2=1,99986345 A1=1,00081182 A2=1,00054632 A3=1,00029625 A4=1,00014220 A5=1,00006011 A6=1,00002237 A7=1,00000357 A8=1

Sumber : Dokumen Pribadi

**Tabel 3. Pengujian Metode Klasifikasi**

Nama Classifier	Akurasi(%)	Presisi(%)	Recall(%)
KNN	97,6	97,659	97,6
SVM	95,2	95,675	95,6
Naïve Bayes	92,4	93,195	92,4
Decision Tree	97,2	97,205	97,2

Sumber : Dokumen Pribadi

Percobaan 2 dilakukan untuk menguji keandalan teknik analisis citra berbasis

fraktal menggunakan fitur dimensi fraktal dan *lacunarity*. Pada percobaan ini dilakukan pengujian dengan beberapa metode klasifikasi sederhana lainnya yang umum digunakan dalam *data mining*, yaitu KNN, SVM, Naïve Bayes dan Decision Tree menggunakan metode validasi *k-fold cross validation*. Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan performa dari masing-masing *classifier*. Hasil pengujian menunjukkan performa yang baik pada semua pengklasifikasi dengan akurasi di atas 90%. Akurasi tertinggi masih ditunjukkan ketika metode KNN digunakan sebagai *classifier*. Hal ini menunjukkan bahwa, fitur berbasis fraktal bisa digunakan dalam mendeteksi adanya retakan di permukaan jembatan beton dengan performa yang signifikan.

#### 4. SIMPULAN

Penerapan analisis berbasis fraktal pada ekstraksi fitur citra permukaan jembatan beton terbukti dapat digunakan dalam membedakan citra permukaan jembatan yang mengalami keretakan dengan citra yang tidak mengalami keretakan dengan akurasi rata-rata sebesar 97,6%. Pengujian menggunakan metode-metode klasifikasi yang umum digunakan dalam *data mining* menunjukkan performa yang baik utamanya untuk pengklasifikasi KNN. Hal ini menunjukkan bahwa klasifikasi citra retakan jembatan beton bisa dilakukan dengan menggunakan pengklasifikasi yang sederhana jika menggunakan fitur dimensi fraktal dan *lacunarity*. Namun demikian, masih ditemukan sedikit kesalahan dalam mendeteksi retakan yang berukuran sangat halus, sehingga bagian kekurangan ini bisa dikembangkan lagi untuk penelitian selanjutnya dengan citra beresolusi lebih tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] P. R. Rangan, "Perencanaan Jembatan Sungai Mappajang Dengan Jembatan

- Beton Prategang," *Dynamic Saint*, Vol. 1, No. 4, Pp. 782–787, Apr. 2019.
- [2] M. Vricilia, A. Ridwan, And A. I. Candra, "Kuat Tekan Pelat Beton Menggunakan Pasir Wlingi Dan Wiremesh Diameter 4 Mm," *Jurmateks : Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 2, Pp. 220–233, 2020, Doi: 10.30737/Jurmateks.
- [3] Q. An Et Al., "Segmentation Of Concrete Cracks By Using Fractal Dimension And Uhk-Net," *Fractal & Fractional*, Vol. 6, No. 2, 2022, Doi: 10.3390/Fractalfract.
- [4] R. B. Muin, S. Alva, A. H. Patty, Fidi, And A. D. Arianty, "Pengontrolan Retak Pada Beton Dengan Optimalisasi Interaksi Komposit Beton Pada Interface Zone," *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 27, No. 1, Pp. 61–70, Apr. 2020.
- [5] H. S. Munawar, A. W. A. Hammad, A. Haddad, C. A. P. Soares, And S. T. Waller, "Image-Based Crack Detection Methods: A Review," *Infrastructures*, Vol. 6, No. 8. Mdpi Ag, Aug. 01, 2021. Doi: 10.3390/Infrastructures6080115.
- [6] M. Y. Kipti, Wiharto, And E. Suryani, "Deteksi Awal Penyakit Retinopati Hipertensi Dengan Pendekatan Analisis Fraktal Citra Fundus Retina," Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2015.
- [7] M. Muchtar, "Penggabungan Fitur Dimensi Fraktal Dan Lacunarity Untuk Klasifikasi Daun," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [8] L. Li, Y. Zhang, Y. Shi, Z. Xue, And M. Cao, "Surface Cracking And Fractal Characteristics Of Cement Paste After Exposure To High Temperatures," *Fractal And Fractional*, Vol. 6, No. 9, Sep. 2022, Doi: 10.3390/Fractalfract6090465.



- [9] H. Xu, X. Su, Y. Wang, H. Cai, K. Cui, And X. Chen, "Automatic Bridge Crack Detection Using A Convolutional Neural Network," *Applied Sciences (Switzerland)*, Vol. 9, No. 14, Jul. 2019, Doi: 10.3390/App9142867.
- [10] Y. Du, N. Pan, Z. Xu, F. Deng, Y. Shen, And H. Kang, "Pavement Distress Detection And Classification Based On Yolo Network," *International Journal Of Pavement Engineering*, Vol. 22, No. 13, Pp. 1659–1672, 2021, Doi: 10.1080/10298436.2020.1714047.
- [11] A. Lubis, I. Iskandar, And M. L. W Panjaitan, "Implementation Of Knn Methods And Glcm Extraction For Classification Of Road Damage Level," *Iaic Transactions On Sustainable Digital Innovation (Itsdi)*, Vol. 4, No. 1, Pp. 1–7, Aug. 2022, Doi: 10.34306/Itsdi.V4i1.564.
- [12] I. Maylani, V. W. Ambarwati, B. Wasykuru, Alqaroni, F. Tri Buana Kusuma Wati, And F. T. B. K. Wati, "Grey Level Co-Occurrence Matrix (Glcm) & Hybrid Klasifikasi Untuk Mendeteksi Kerusakan Jalan Aspal," In *Snestik Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, Dan Teknik Informatika*, Surabaya, 2023, Pp. 225–231. Doi: 10.31284/P.Snestik.2023.4219.
- [13] M. Muchtar, N. Suciati, And C. Fatichah, "Fractal Dimension And Lacunarity Combination For Plant Leaf Classification," *Jurnal Ilmu Komputer Dan Informasi*, Vol. 9, No. 2, P. 96, Jun. 2016, Doi: 10.21609/Jiki.V9i2.385.
- [14] M. Maguire, S. Dorafshan, And R. J. Thomas, "Sdnet2018: A Concrete Crack Image Dataset For Machine Learning Applications."
- [15] Y. P. Pasrun, M. Muchtar, A. N. Basyarah, And Noorhasanah, "Indonesian License Plate Detection Using Morphological Operation," In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, Institute Of Physics Publishing, Jun. 2020. Doi: 10.1088/1757-899x/797/1/012037.
- [16] A. Setiyorini, I. P. N. Purnama, J. Y. Sari, M. Muchtar, And E. Ngii, "Vehicle Number Plate Identification Using Template Matching Algorithm For Automatic Parking System," In *Acm International Conference Proceeding Series*, Association For Computing Machinery, Apr. 2019, Pp. 196–200. Doi: 10.1145/3330482.3330483.
- [17] A. Banakar, H. Zareiforoush, M. Baigvand, M. Montazeri, J. Khodaei, And N. Behroozi-Khazaei, "Combined Application Of Decision Tree And Fuzzy Logic Techniques For Intelligent Grading Of Dried Figs," *J Food Process Eng*, Vol. 40, No. 3, Jun. 2017, Doi: 10.1111/Jfpe.12456.
- [18] Y. Xia, J. Cai, E. Perfect, W. Wei, Q. Zhang, And Q. Meng, "Fractal Dimension, Lacunarity And Succolarity Analyses On Ct Images Of Reservoir Rocks For Permeability Prediction," *J Hydrol (Amst)*, Vol. 579, Dec. 2019, Doi: 10.1016/J.jhydrol.2019.124198.
- [19] A. Rohanah, D. L. Rianti, B. N. Sari, T. Informatika, And U. S. Karawang, "Perbandingan Naïve Bayes Dan Support Vector Machine Untuk Klasifikasi Ulasan Pelanggan Indihome," *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, Vol. 6, No. 1, Pp. 23–30, 2021.
- [20] D. Muhidin And A. Wibowo, "Perbandingan Kinerja Algoritma Support Vector Machine dan K-Nearest Neighbor Terhadap Analisis Sentimen Kebijakan New Normal," *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, vol. 5, no. 2, pp. 153–159, 2020.