

Analisis Keretakan Permukaan Jalan Menggunakan Fitur Thresholding, Median Filter, dan Teknik Morfologi

Zulfachmi¹, Muhammad Rizky Fatahillah², Samuel Belman Silalahi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Indonesia Tanjung Pinang
Jalan Pompa Air No. 28 Tanjungpinang Kepulauan Riau, 29122

Korespondensi Email : fahmi.stt@gmail.com

²mrf25864@gmail.com

³samuelbs@gmail.com

Intisari— Pendeteksian retakan pada permukaan jalan secara teratur merupakan mata rantai yang diperlukan untuk memastikan keamanan dari pengguna jalan. Terdapat beberapa metode tradisional yang berkembang untuk mendeteksi retakan jalan, namun masih banyak kekurangan dalam metode tradisional tersebut. Ketidakefisien metode konvensional tersebut menjadi pelopor dikembangkannya metode pendeteksi otomatis dengan pengolahan citra. Penelitian ini bertujuan mendeteksi keretakan permukaan jalan dengan menggunakan metode thresholding, median filter, dan teknik morfologi yang diterapkan pada 40 citra permukaan jalan yang terbagi menjadi data latih dan data uji. Olah data citra deteksi keretakan permukaan jalan pada penelitian ini menggunakan alat bantu Open CV. Dari hasil tersebut didapati bahwa metode ini dapat diterapkan dengan tingkat keberhasilan sebesar 85%.

Kata kunci— Deteksi, Keretakan Permukaan Jalan, Median Filter, Morfologi, Threshold.

Abstract— Regular detection of cracks on the road surface is a necessary link to ensure the safety of road users. There are several traditional methods that have been developed to detect road cracks, but there are still many shortcomings in these traditional methods. The inefficiency of conventional methods has led to the development of automatic detection methods using image processing. This research aims to detect road surface cracks using the thresholding method, median filter, and morphological techniques applied to 40 road surface images which are divided into training data and test data. Processing image data for road surface crack detection in this research uses the Open CV tool. From these results it was found that this method can be applied with a success rate of 85%.

Keywords— Detection, Road Surface Cracks, Median Filter, Morphology, Threshold.

I. PENDAHULUAN

Peraturan Pemerintah (PP) No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan yang menyebutkan bahwa jalan adalah prasarana transportasi bagi lalu lintas. Jalan berguna untuk memudahkan kendaraan untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain untuk memenuhi kebutuhan. Sehingga adanya jalan yang memiliki kuantitas dan kualitas yang bagus akan menunjang perkembangan suatu wilayah. Prasarana ini harus direncanakan dengan baik untuk memberikan fasilitas yang prima untuk meningkatkan aksesibilitas dan memberikan keamanan dan kenyamanan dalam berkendara [1]. Sistem infrastruktur yang ada juga dapat mengalami berbagai risiko akibat kelebihan beban dan dampak lingkungan dalam siklus hidupnya [2].

Selain inspeksi kondisi jalan, infrastruktur jalan ini perlu perawatan. Menurut Pedoman Pemeliharaan Jalan No. 03/MN/B/1983 Ditjen Bina Marga, jenis kerusakan jalan ada bermacam-macam, antara lain kerusakan jalan berlubang, retak buaya, retak membujur dan melintang (long and trans cracking), perdarahan, pelapukan dan raveling, rutting, jalur / bahu drop off, depresi, benjolan dan sags, dan bergelombang. Pemeliharaan diperlukan ialah mendeteksi adanya retakan jalan dan mulai memperbaiki jalan tersebut. Pendeteksian dan

perkuatan retakan pada permukaan bangunan secara teratur merupakan mata rantai yang diperlukan untuk memastikan keamanan [3]. Sudah banyak metode tradisional yang berkembang untuk mendeteksi retakan jalan, namun masih banyak kekurangan dalam metode tradisional tersebut.

Metode konvensional yang dilakukan untuk mendeteksi retakan pada permukaan jalan dinilai kurang efektif. Metode manual deteksi retak melibatkan ahli yang memeriksa komponen secara visual dan penggunaan spesifik alat untuk mengidentifikasi kekurangan dalam komponen. Namun, metode ini kurang efisien, membutuhkan tenaga kerja yang banyak dan rentan terhadap kesalahan manusia [4]. Ketidakefisien metode konvensional tersebut menjadi pelopor dikembangkannya metode pendeteksi otomatis dengan pengolahan citra. Sistem pendeteksian retak dapat secara efektif menilai kualitas permukaan jalan dan membantu pemerintah merencanakan dan memprioritaskan pemeliharaan jaringan jalan, sehingga menjaga jalan dalam kondisi baik dan memperpanjang umur layanan [5]. Cara konvensional lain untuk mendeteksi lubang adalah pengaduan masyarakat atau deteksi mobil patroli, dan dilakukan perbaikan. Dengan cara ini memungkinkan untuk mendeteksi kerusakan di lokasi yang akurat, tetapi tanggapan tentang kerusakan jalan terkadang terlambat dilakukan [6].

Metode yang dikembangkan dengan teknologi terbaru dinilai memiliki tingkat keakuratan yang tinggi dan keefisien saat melakukan deteksi retakan. Salah satu metode yang diusulkan adalah metode adaptasi penyaringan morfologi yang dapat menghasilkan gambar output yang sama dari gambar inputnya. Metode ini dikembangkan untuk menjadi alternatif dari metode CNN yang harus memasukkan banyak data retak dan non retak [7].

Selain metode morfologi, ada juga penelitian yang menggunakan metode Mobile Laser Scanning (MLS). Penelitian ini mengubah data MLS menjadi struktur grid biasa untuk mempresentasikan metode ekstraksi retakan berbasis gambar yang sudah terbukti. Akurasi yang diuji dengan metode ini cukup tinggi, yaitu sekitar 87% dengan rata-rata akurasi lebar dan panjang retak yang melebihi 0,812 dan 0,897 [8]. Ada juga metode lain untuk mendeteksi retak dengan menggunakan algoritma segmentasi piksel. Metode ini menggunakan fungsi dari densitas kumulatif gaussian sebagai Threshold adaptif yang mengatasi kelemahan Threshold untuk tetap di lingkungan yang berpiksel kecil. Dari pengujian metode ini dihasilkan output dengan akurasi 97,3% dengan presisi 79,21% [9]. Pada penelitian lain yang menggunakan algoritma Fruit Fly Optimisation Density Peak Clustering (FO-DPC). Algoritma ini menggunakan data retakan aspal dengan menggunakan sensor cerdas binokular seri Gocator3100. Data tersebut dikumpulkan dan dikelompokkan berdasarkan puncak kepadatannya. Kemudian akan di analisis clustering untuk dapat mendeteksi retakan secara akurat yang dilakukan pada data karakteristik ketinggian 3D retakan aspal. Hasil uji yang didapatkan dengan menggunakan metode ini ialah 89,97% [10]. Jarak juga mempengaruhi tingkat akurasi deteksi retakan. Penelitian yang menggunakan metode deteksi tepi, diuji dengan mengambil data sample dengan berbagai jarak untuk mendapatkan hasil akurat pada jarak maksimum. Metode ini dapat mendeteksi retakan dari jarak jauh dengan akurasi 80% sampai jarak 100m [11]. Selain retak, di Korea juga dikembangkan alat deteksi lubang yang menggunakan algoritma yolo dengan akurasi rata-rata 75% [12]. Dalam terowongan kereta bawah tanah juga rentan terjadi kerusakan pada terowongan, sehingga dikembangkan alat deteksi retak terowongan dengan memakai model mas R-CNN untuk segmentasi gambar yang menghasilkan 79,35% [13].

Dari berbagai metode penelitian sebelumnya, terdapat metode Morphological Processing yaitu serangkaian operasi untuk memproses gambar dengan menata elemen input dan menciptakan output dengan ukuran gambar yang sama. Teknik ini digunakan untuk menghilangkan ketidaksempurnaan yang bentuknya menentukan informasi dari bentuk objek yang cocok dengannya untuk mempresentasikan bentuk objeknya. Teknik morfologi yang sering digunakan ialah erosi dan dilation [14]. Metode ini mengkombinasikan thresholding, median filtering, dan morphological closure. Hasil pengujian menghasilkan skor 85% dan waktu pemrosesan per gambar 4,25 detik [15]. Sehingga metode ini cocok untuk diimplementasikan pada proses mendeteksi retak pada sistem pendeteksi retak permukaan jalan berbasis pengolahan citra karena memiliki tingkat keakuratan yang tinggi.

Selain itu pada penelitian ini, sistem kedepannya bisa di kombinasikan dengan menambahkan fitur pengklasifikasi berdasarkan bentuk dan ukurannya. Sehingga pengguna dapat langsung mengetahui jenis retakan jalan dan mampu merencanakan perbaikan yang sesuai dengan retakan yang di deteksi.

Pada Penelitian ini hanya berfokus untuk mendeteksi keretakan pada permukaan jalan kota Tanjungpinang tanpa mengklasifikasikan jenis retakannya.

II. STUDI PUSTAKA

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mingxing Gao adalah mengintegrasikan pemrosesan fitur skala abu-abu dan tekstur. Metode ini terutama menggabungkan kamera industri untuk mewujudkan deteksi lubang yang cepat dan akurat. Teknik pemrosesan gambar termasuk filter tekstur, skala abu-abu gambar, morfologi dan ekstraksi domain terhubung maksimum digunakan secara sinergis untuk mengekstraksi fitur-fitur berguna dari gambar digital. Model pembelajaran mesin berdasarkan perpustakaan untuk mesin vektor pendukung (LIBSVM) dibangun untuk membedakan lubang dari retakan memanjang, retakan melintang, dan retakan kompleks. Metode ini divalidasi menggunakan data yang dikumpulkan dari wilayah pertanian dan penggembalaan di Mongolia Dalam, Tiongkok. Eksperimen komprehensif untuk pengenalan lubang menunjukkan bahwa perolehan, presisi, dan Skor F1 yang dicapai masing-masing adalah 100%, 97,4%, dan 98,7%. Selain itu, tingkat tumpang tindih antara area lubang yang diekstraksi dan gambar aslinya juga diperkirakan. Gambar dengan tingkat tumpang tindih lebih dari 90% mencakup 76,8% dari total gambar, dan gambar dengan tingkat tumpang tindih lebih dari 80% mencakup 94% dari total gambar. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan lebih baik daripada metode yang ada, tidak hanya dari sudut pandang akurasi deteksi lubang tetapi juga dari sudut pandang efek segmentasi dan efisiensi pemrosesan [16].

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Hafiz Suliman Munawar menjelaskan bahwa deteksi retakan merupakan tugas yang sangat melelahkan jika dilakukan melalui inspeksi visual manual. Banyak elemen infrastruktur yang perlu diperiksa secara berkala sehingga tidak bisa dilakukan karena memerlukan banyak sumber daya manusia. Hal ini juga dapat mengakibatkan retakan yang tidak terdeteksi. Dengan menggunakan teknik pemrosesan gambar, gambar bagian infrastruktur yang diambil atau dipindai dapat dianalisis untuk mengidentifikasi kemungkinan cacat. Selain pemrosesan gambar, metode pembelajaran mesin semakin banyak digunakan untuk memastikan kinerja dan ketahanan yang lebih baik dalam deteksi retakan. Penelitian ini memberikan kajian terhadap teknik pendeteksian retakan berbasis gambar yang menggunakan pemrosesan gambar dan/atau pembelajaran mesin. Analisis komprehensif dan perbandingan metode ini dilakukan untuk mengidentifikasi pendekatan otomatis yang paling menjanjikan untuk deteksi retakan [17].

Lebih lanjut, penelitian yang dilakukan oleh Nima Safei menjelaskan tentang pengembangan metode penilaian retakan otomatis untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan retakan pada gambar perkerasan 2D dan 3D. Metode pengolahan citra berbasis ubin diusulkan untuk menerapkan teknik ambang

batas lokal pada setiap ubin dan mendeteksi ubin retak (ubin yang mengandung retakan) berdasarkan distribusi spasial piksel retak. Untuk retakan memanjang dan melintang, kemudian ditempatkan kurva pada ubin retak untuk menghubungkannya. Selanjutnya retakan diklasifikasi dan panjangnya diukur berdasarkan sumbu orientasi dan panjang kurva retakan. Metode ini tidak terbatas pada jenis tekstur perkerasan jalan, dan juga hemat biaya karena memerlukan waktu kurang dari 20 detik per gambar agar komputer komoditas dapat memberikan hasil. Metode ini diuji pada 130 gambar permukaan Portland Cement Concrete (PCC) dan Asphalt Concrete (AC); hasil pengujian terbukti menjanjikan (Presisi = 0,89, Recall = 0,83, skor F1 = 0,86, dan Akurasi pengukuran panjang Retak = 80%) [18].

Penelitian lebih lanjut yang dilakukan oleh Yusup Yulianto menjelaskan penerapan metode smart system dalam mendeteksi kerusakan jalan menggunakan algoritma Convolutional Neural Network (CNN). Inputnya berupa gambar permukaan jalan dalam format RGB. Gambar tersebut diperoleh dari Kaggle sebanyak 2074 gambar. Kemudian dilakukan pra-pemrosesan gambar yang meliputi konversi gambar RGB menjadi skala abu-abu, perubahan ukuran gambar, dan deteksi tepi. Setelah pra-pemrosesan gambar, langkah selanjutnya adalah mengkonfigurasi ulang dan melatih dataset. Dalam proses pelatihan terdapat parameter pengujian antara lain Optimasi, waktu pembagian validasi, dan ukuran grup. Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil menghasilkan data yang sangat baik dibuktikan dengan tingkat akurasi sebesar 92,9% [19].

Kajian selanjutnya yang dilakukan Setiadi menjelaskan bahwa salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan perkerasan jalan adalah dengan menggunakan teknologi terkini, salah satunya dengan memanfaatkan deep learning. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah deep learning berbasis web CNN. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyusun dataset latihan yang khusus digunakan untuk membedakan perkerasan retak dan tidak retak, yang kemudian ditambahkan ke dataset uji dari dataset masukan dari web yang telah kita buat. Dimana masukan kumpulan data ini dapat diakses oleh semua kalangan untuk menguji sistem yang kita buat dan secara real time hasil klasifikasi dapat diketahui oleh orang yang memberikan masukan kumpulan data tersebut. Dataset pelatihan yang digunakan sebanyak 4.000 gambar dimana kami mengambil gambar dari katalog Kaggle. Sedangkan untuk dataset pengujian kami menggunakan dataset gabungan yang terdiri dari dataset eksternal yang diambil dari Kaggle dan dataset internal yang diambil secara terpisah. Dari penelitian yang kami lakukan, hasil pengujian menunjukkan bahwa model berhasil membedakan permukaan perkerasan retak dan tidak retak dengan akurasi yang relatif tinggi, dimana rata-rata nilai akurasi yang dihasilkan lebih dari 96% [20].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, teknik pemrosesan citra digunakan untuk mengidentifikasi retakan permukaan jalan kota Tanjungpinang dengan cara yang sebagai berikut :

A. Studi Literatur

Tinjauan literatur dilakukan untuk mengevaluasi penelitian yang telah diselesaikan sebelumnya. Literatur akan dimanfaatkan sebagai sumber untuk perbaikan melalui membangun hubungan antar karya. Sumber literatur berbasis internet meliputi buku, jurnal, makalah, seminar, dan artikel.

B. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan pada pukul 08.00 hingga pukul 10.00 dengan mengambil sampel gambar di jalan kota Tanjungpinang dengan posisi tegak lurus dengan kemiringan 90 derajat serta ketinggian 1 meter dari permukaan retakan. Alat yang digunakan ialah smartphone dengan kamera 13mp dan alat bantu tripod sebagai penyeimbang kamera. Pengambilan citra menggunakan beberapa variasi citra retakan seperti retak longitudinal, retak transversal, retak alligator, dan kondisi tidak retak.

C. Tahapan Penelitian

Pada tahapan ini menjelaskan alur penelitian pendeteksian keretakan permukaan jalan. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Algoritma Pendeteksian Keretakan Jalan

Berikut adalah penjelasan alur algoritma pendeteksian keretakan jalan :

1) Preprocessing Citra

Pada tahap ini melalui beberapa langkah pemrosesan citra yaitu Konversi ke Skala Keabuan (Grayscale), Smoothing, Contrast Enhancement, Normalization, Resizing, Cropping, Transformasi Geometri, dan Noise Removal.

Langkah pertama dimulai dari mengkonversikan citra merah, hijau, dan biru (RGB) menjadi keabuan (Grayscale). Hal ini bertujuan untuk memudahkan proses perhitungan menjadi lebih mudah dan sederhana.



Gambar 2. Tampilan Keretakan Permukaan Jalan dengan Citra RGB

Algoritma grayscale dilakukan dengan menghitung rata-rata dari komponen warna RGB dari setiap piksel. Sehingga terbentuklah nilai piksel baru yaitu grayscale.



Gambar 3. Tampilan Citra Hasil Konversi RGB ke Grayscale

Kemudian langkah selanjutnya ialah teknik smoothing untuk mengurangi noise pada citra dan detail yang tidak diinginkan dalam citra menggunakan filter gaussian. Selanjutnya perbaikan kontras untuk meningkatkan jangkauan nilai intensitas piksel dalam citra menggunakan histogram equalization. Hal ini berguna untuk membuat detail pada citra menjadi lebih jelas dan meningkatkan perbedaan antara objek dan latar belakang.



Gambar 4. Tampilan Citra Hasil Smoothing

Langkah berikutnya normalisasikan nilai intensitas piksel jika diperlukan agar citra memiliki rentang nilai yang konsisten. Kemudian reduksi ukuran dapat mempercepat waktu komputasi dan mengurangi konsumsi memori. Selanjutnya proses crop untuk memfokuskan area yang akan dianalisis. Berikutnya proses transformasi geometri untuk memperbaiki orientasi citra. Dan terakhir proses penghapusan noise tambahan jika diperlukan untuk menghilangkan noise yang tersisa setelah proses pemulusan awal dengan menggunakan filter median.

2) Segmentasi Citra

Metode Threshold adalah salah satu metode sederhana dalam transformasi citra dari citra grayscale kedalam bentuk citra biner. Citra biner ialah citra digital yang hanya memiliki 2 piksel warna yaitu hitam dan putih. Didalam penelitian, thresholding digunakan untuk proses segmentasi [16].

Dari bagian citra retakan dan citra dari permukaan jalan. Nilai threshold ditentukan oleh histogram grayscale, dimana citra yang direkah memiliki nilai keabuan yang lebih rendah dari citra permukaan. Piksel ini dianggap sebagai retakan gambar. Sementara itu, foto yang memiliki nilai grayscale lebih besar dari nilai threshold dianggap sebagai citra

permukaan jalan. Prosedur ambang akan dievaluasi dengan bereksperimen dengan rentang nilai ambang untuk mencari yang paling akurat. Segmentasi retakan dari gambaran permukaan jalan merupakan hasil dari teknik thresholding.



Gambar 5. Tampilan Citra Hasil Threshold

3) Peningkatan Citra

Tahapan peningkatan citra adalah bagian penting dari proses preprocessing citra di mana tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas dan kejelasan citra sehingga informasi yang penting dalam citra dapat diidentifikasi dengan lebih baik. Tahapan peningkatan citra bertujuan untuk memperbaiki citra yang telah diberi segmentasi untuk memfasilitasi proses deteksi dan analisis keretakan.

Median filter digunakan untuk mengurangi noise dalam citra dan mempertahankan detail yang penting. Setiap piksel dalam citra diproses dengan mengganti nilai piksel tersebut dengan nilai median dari piksel-piksel tetangganya dalam suatu area tertentu (kernel). Median filter berguna untuk menghilangkan noise salt-and-pepper atau noise impuls yang sering muncul dalam citra hasil segmentasi.



Gambar 5. Tampilan Citra Hasil Median Filter

Sesuaikan ukuran kernel median filter sesuai dengan karakteristik citra dan tingkat noise yang ada. Kernel yang lebih besar dapat menghasilkan penghalusan yang lebih besar, tetapi juga dapat menyebabkan hilangnya detail dalam citra. Evaluasi hasil citra setelah penerapan median filter untuk memastikan bahwa noise telah dikurangi dengan baik tanpa mengaburkan detail penting dalam citra. Membandingkan citra sebelum dan sesudah penerapan median filter untuk mengevaluasi perubahan yang terjadi.

4) Deteksi Keretakan

Langkah awal adalah menggunakan citra hasil segmentasi yang telah diperoleh melalui tahapan segmentasi citra sebelumnya. Citra ini harus memisahkan area keretakan dari

latar belakang dengan baik. Menggunakan teknik morfologi untuk memperjelas dan memperbaiki representasi keretakan dalam citra. Langkah berikutnya menyesuaikan parameter operasi morfologi, seperti ukuran elemen struktural dan jumlah iterasi, sesuai dengan karakteristik keretakan yang dihadapi dalam citra.

Langkah selanjutnya menggabungkan bagian-bagian keretakan yang terhubung dan pisahkan area keretakan dari latar belakang gambar. Menghitung fitur geometris dari keretakan yang terdeteksi, seperti panjang, lebar, luas, dan bentuk keretakan. Evaluasi hasil deteksi keretakan menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Membandingkan hasil deteksi dengan ground truth atau evaluasi manual yang dilakukan oleh ahli untuk memastikan keakuratan dan keandalan deteksi.

5) Analisis Fitur

Pada tahapan ini ekstraksi fitur geometris dilakukan dengan mengukur atribut-atribut geometris dari setiap keretakan yang terdeteksi, seperti panjang, lebar, luas, perimeter, dan bentuk. Pengukuran bentuk keretakan menggunakan metode convex hull. Kemudian penggunaan ekstraksi fitur intensitas untuk pengukuran statistik dari intensitas piksel dalam dan sekitar keretakan.

6) Validasi dan Evaluasi

Proses validasi dan evaluasi pada penelitian adalah tahapan penting untuk memastikan keandalan dan kualitas hasil yang diperoleh dari penelitian analisis keretakan permukaan jalan. Langkah selanjutnya analisis kualitatif terhadap hasil deteksi, termasuk visualisasi keretakan yang terdeteksi dan perbandingan dengan ground truth.

7) Optimasi dan Kernel Fitur

Kernel fitur yang diimplementasikan pada penelitian ini adalah kernel sobel. Hal ini cenderung lebih cocok untuk mengekstraksi detail citra keretakan permukaan jalan secara halus.

D. Pembuatan Program

Perangkat lunak Open CV (*Open Source Computer Vision Library*) digunakan dalam pengembangan aplikasi. Perangkat lunak ini adalah *open source* yang dibuat oleh Intel yang berfokus pada penyederhanaan pemrograman untuk gambar digital dan menyertakan sejumlah algoritma Computer Vision dasar untuk API tingkat rendah.

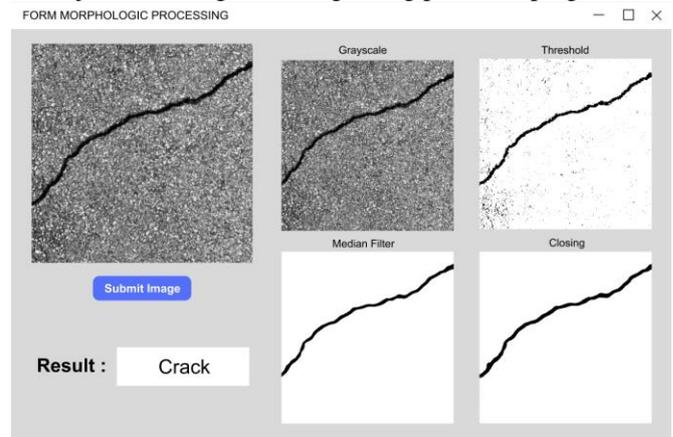
Pemrograman pada penelitian ini menggunakan bahasa Python. Fitur utama Open CV meliputi I/O gambar dan video, visi komputer secara umum dan pemrosesan gambar digital (API tingkat rendah dan menengah), modul visi komputer tingkat tinggi, AI dan metodologi pembelajaran mesin, serta kemampuan pengambilan sampel dan transformasi gambar.

E. Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil seleksi yang dilakukan menggunakan teknik image processing dengan hasil seleksi visual yang dilakukan oleh para ahli.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

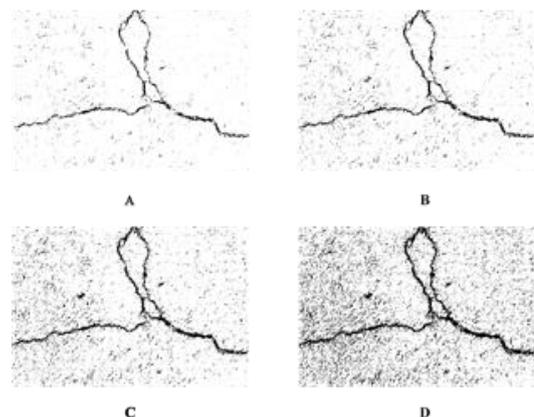
Pendekatan ini menggunakan 40 foto permukaan jalan yang retak dan 7 foto permukaan jalan yang tidak retak. Gambar 2 menunjukkan hasil gambar tergantung pada fase program.



Gambar 2: Contoh hasil citra (A) input citra asli (b) Konversi citra berwarna ke citra grayscale (C) thresholding (D) median filter (E) dan (F) morphological closing

A. Hasil Analisa thresholding optimum

Pada penelitian ini, nilai thresholding di analisa dengan menguji beberapa variasi nilai thresholding untuk mendapatkan nilai thresholding yang optimum. Beberapa nilai thresholding awal, mulai dari 80 hingga 110 dengan peningkatan 10 poin, telah diuji untuk menentukan nilai thresholding yang optimal. Nilai awal dipilih dengan melihat histogram citra, dan nilai optimal ditentukan dari hasil uji akurasi. Gambar 3 menggambarkan contoh gambar yang dihasilkan untuk setiap pengaturan ambang awal, sedangkan Tabel 1 menampilkan akurasi temuan. Pada nilai 80, gambar tampak sebagian besar berwarna putih. Namun, pada angka 110, gambar yang dihasilkan dikemas dengan titik-titik hitam. Sebuah foto yang hampir putih mengungkapkan beberapa aspek dari gambar tersebut. Retakan yang memutih atau terlihat sebagai representasi dari permukaan jalan. Gambar yang hampir putih adalah hasil dari pengaturan ambang yang terlalu rendah. Temuan citra yang sebagian besar berwarna hitam menunjukkan bahwa sebagian besar foto permukaan jalan telah berubah menjadi hitam atau dianggap sebagai citra retakan. Pengaturan ambang yang sangat tinggi menghasilkan gambar dengan sejumlah besar area hitam.



Gambar 3: Contoh hasil citra beberapa nilai threshold (A) threshold 80 (b) threshold 90 (C) threshold 100 (D) threshold 110

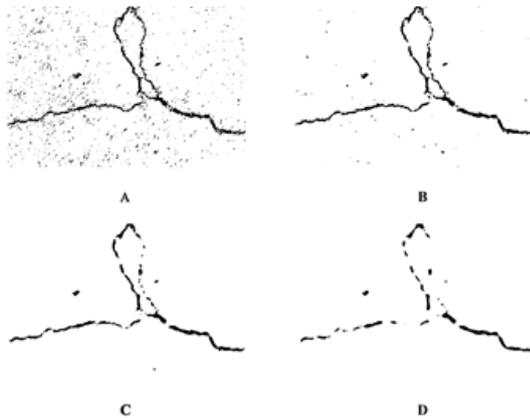
Nilai optimal dapat diketahui dengan membandingkan hasil akurasi citra yang dihasilkan, dimana akurasi maksimal dicapai ketika menggunakan nilai threshold 100. Hasilnya adalah nilai optimal untuk threshold adalah 100. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan nilai threshold 80, 90, 100, dan 110 didapati hasil akurasi keretakan jalan yang optimal yaitu dengan nilai threshold sebesar 100. Hal ini dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I
HASIL AKURASI BEBERAPA NILAI THRESHOLDING

Nilai Thresholding	80	90	100	110
Akurasi (%)	65,5%	70,5%	82,5%	73,5%

B. Hasil Analisa ukuran median filter optimal

Untuk menguji filter median, nilai median piksel terdekat dihitung. Misalnya, empat ukuran jendela yang dapat diakses adalah 2x2, 3x3, 4x4, dan 5x5, dengan contoh yang diilustrasikan pada Gambar 4. Filter dengan jendela 2x2 membuat gambar dengan beberapa titik hitam selain gambar retak. Ini menunjukkan bahwa ukuran filter ini kurang berhasil dalam menghilangkan noise gambar. Perbandingan dengan filter dengan ukuran jendela 5x5 memberikan gambar yang hampir putih karena filter menghilangkan titik informasi noise dan crack. Untuk mencapai ukuran jendela yang ideal, terlihat dengan membandingkan hasil akurasi pada Tabel 2 bahwa ukuran 3x3 menghasilkan nilai yang paling besar yaitu 82,5%, meskipun perbedaan antara ukuran lainnya tidak terlihat signifikan.



Gambar 4: Contoh hasil citra beberapa ukuran jendela median filter (A) 2x2 (b) 3x3 (C) 4x4 (D) 5x5

Hasil perbandingan median filter pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL II.
HASIL AKURASI BEBERAPA NILAI MEDIAN FILTER

Nilai Median Filter	2x2	3x3	4x4	5x5
Akurasi (%)	80,0%	82,5%	82,0	80,0%

C. Hasil Analisa elemen stuktur morfologi

Morfologi digunakan untuk mengisi celah kecil yang menyebabkan piksel terpisah. Dalam penelitian ini, kuadrat dari proporsi 2x2, 3x3, 4x4, dan 5x5 digunakan sebagai komponen struktural. Pengukuran ukuran optimal ditentukan

dengan membandingkan temuan akurasi pada Tabel 3. Akurasi terbaik dicapai dengan potongan struktur 3x3 adalah 82,5%.

TABEL III.
HASIL AKURASI BEBERAPA MORPHOLOGICAL CLOSING

Nilai Morphological Closing	2x2	3x3	4x4	5x5
Akurasi (%)	80,0%	82,5%	82,0	80,0%

D. Hasil keseluruhan untuk deteksi retakan

Nilai optimal untuk setiap langkah digunakan untuk menghitung semua gambar, dengan nilai yang dihasilkan ditunjukkan. Adapun hasil keakuratan pada penelitian ini membandingkan antara data latih dengan data uji.

Algoritma pemrosesan gambar yang disarankan mampu mengidentifikasi secara akurat 32 dari empat puluh foto yang dianalisis, atau sekitar 85 persen. Ada lebih banyak kesalahan pendeteksian karena gambar abu-abu tidak jauh berbeda dengan gambar permukaan jalan.

TABEL IV.
HASIL AKURASI KESELURUHAN DETEKSI

Nama Citra	Hasil deteksi		Keterangan
	Data Latih	Data Uji	
Citra_1	Retak	Retak	Benar
Citra_2	Retak	Retak	Benar
Citra_3	Retak	Retak	Benar
Citra_4	Retak	Retak	Benar
Citra_5	Retak	Tidak Retak	Salah
Citra_6	Retak	Retak	Benar
Citra_7	Tidak Retak	Tidak Retak	Benar
Citra_8	Tidak Retak	Tidak Retak	Benar
Citra_9	Retak	Retak	Benar
Citra_10	Retak	Retak	Benar
Citra_11	Retak	Retak	Benar
Citra_12	Retak	Retak	Benar
Citra_13	Retak	Retak	Benar
Citra_14	Tidak Retak	Retak	Salah
Citra_15	Tidak Retak	Retak	Salah
Citra_16	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_17	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_18	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_19	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_20	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_21	Tidak Retak	Retak	Salah
Citra_22	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_23	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_24	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_25	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_26	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_27	1 (Retak)	Retak	Benar
Citra_28	Tidak Retak	Tidak Retak	Benar
Citra_29	Retak	Retak	Benar
Citra_30	Retak	Retak	Benar
Citra_31	Tidak Retak	Tidak Retak	Benar
Citra_32	Retak	Retak	Benar
Citra_33	Retak	Retak	Benar
Citra_34	Retak	Retak	Benar
Citra_35	Retak	Retak	Benar
Citra_36	Retak	Tidak Retak	Salah
Citra_37	Retak	Tidak Retak	Salah
Citra_38	Retak	Retak	Benar
Citra_39	Retak	Retak	Benar
Citra_40	Retak	Retak	Benar

Berdasarkan hasil pengujian didapati hasil tingkat akurasi deteksi keretakan jalan sebesar 85%. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5: Perbandingan Penilaian Pakar dan Sistem

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Kombinasi dari teknik thresholding, median filter dan morfologi berhasil mendeteksi retakan di permukaan jalan. Metode deteksi retak permukaan jalan ini memperoleh hasil akurasi sebesar 85%. Metode deteksi retak permukaan jalan ini menggunakan Teknik thresholding yang memerlukan cahaya yang optimal dan pengambilan gambar yang tepat agar citra retakan terlihat jelas saat diproses.

REFERENSI

- [1] A. Faisal, F., & Hidayat, "Analisa Kerusakan Jalan Berdasarkan Metode Bina Marga (Studi Kasus Jalan Mangliawan – Tumpang Kabupaten Malang)".
- [2] Q. Mei, M. Gül, And M. R. Azim, "Densely Connected Deep Neural Network Considering Connectivity Of Pixels For Automatic Crack Detection," *Autom. Constr.*, Vol. 110, Feb. 2020, Doi: 10.1016/J.Autcon.2019.103018.
- [3] X. Xiong, L. Huang, And J. Tian, "Application Of Image Processing Technology In Building Surface Crack Detection," In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, Oct. 2019, Vol. 612, No. 3. Doi: 10.1088/1757-899x/612/3/032057.
- [4] 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.
- [5] R. Fan Et Al., "Road Crack Detection Using Deep Convolutional Neural Network And Adaptive Thresholding," *Apr.* 2019, [Online]. Available: [Http://Arxiv.Org/Abs/1904.08582](http://arxiv.org/abs/1904.08582)
- [6] M.-J. Kim, H.-J. Kwon, J.-W. Baek, H. Jung, And K. Chung, "Pothole Region Extraction Based On Similarity Evaluation Scale Classification Using Image Processing," 2021.
- [7] H. Hou And W. Lin, "A New Approach For The Detection Of Concrete Cracks Based On Adaptive Morphological Filtering," In *Frontiers In Artificial Intelligence And Applications*, 2020, Vol. 331, Pp. 690–699. Doi: 10.3233/Faia200747.
- [8] M. Zhong, L. Sui, Z. Wang, And D. Hu, "Pavement Crack Detection From Mobile Laser Scanning Point Clouds Using A Time Grid," *Sensors (Switzerland)*, Vol. 20, No. 15, Pp. 1–20, Aug. 2020, Doi: 10.3390/S20154198.
- [9] N. Safaei, O. Smadi, B. Safaei, A. Masoud, And G. Student, "A Novel Adaptive Pixels Segmentation Algorithm For Pavement Crack Detection." [Online]. Available: [Https://Drive.Google.Com/File/D/1u8ie-H-](https://drive.google.com/file/d/1u8ie-H-)
- [10] W. Li, R. Deng, Y. Zhang, Z. Sun, X. Hao, And J. Huyan, "Three-Dimensional Asphalt Pavement Crack Detection Based On Fruit Fly Optimisation Density Peak Clustering," *Math. Probl. Eng.*, Vol. 2019, 2019, Doi: 10.1155/2019/4302805.
- [11] Dayananda Sagar College Of Engineering, Institute Of Electrical And Electronics Engineers. Bangalore Section, And Institute Of Electrical And Electronics Engineers, 2nd International Conference On Innovative Mechanisms For Industry Applications (Icimia 2020): *Conference Proceedings* : 5-7 March, 2020.
- [12] J. W. Baek And K. Chung, "Pothole Classification Model Using Edge Detection In Road Image," *Applied Sciences (Switzerland)*, Vol. 10, No. 19. Mdpi Ag, Oct. 01, 2020. Doi: 10.3390/App10196662.
- [13] H. Huang, S. Zhao, D. Zhang, And J. Chen, "Deep Learning-Based Instance Segmentation Of Cracks From Shield Tunnel Lining Images," *Struct. Infrastruct. Eng.*, Vol. 18, No. 2, Pp. 183–196, 2022, Doi: 10.1080/15732479.2020.1838559.
- [14] D. Jiang Et Al., "Visual-Based Crack Detection And Skeleton Extraction Of Cement Surface."
- [15] [S. Riyadi, R. Azyumarridha Azra, R. Syahputra, Dan K. Tony Hariadi, M. Yogyakarta Jln Lingkar Selatan, And T. Tirta, "Simposium Nasional Teknologi Terapan (Sntt)2 2014 Filter Dan Morphological Closing."
- [16] M. Gao, X. Wang, S. Zhu, and P. Guan, "Detection and Segmentation of Cement Concrete Pavement Pothole Based on Image Processing Technology," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/1360832.
- [17] 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, pp. 1–20, 2021, doi: 10.3390/infrastructures6080115.
- [18] S. Matarneh, F. Elghaish, A. Al-Ghraibah, E. Abdellatif, and D. J. Edwards, "An automatic image processing based on Hough transform algorithm for pavement crack detection and classification," *Smart Sustain. Built Environ.*, no. 0123456789, pp. 16–18, 2023, doi: 10.1108/SASBE-01-2023-0004.
- [19] Y. Yulianto and A. Wibowo, "Deteksi Keretakan Jalan Aspal Menggunakan Metode Convolutional Neural Network," *Power Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 581–594, 2023, doi: 10.1007/978-3-030-97645-3_11.
- [20] A. Wibowo and E. Setiyadi, "Klasifikasi Dan Deteksi Keretakan Pada Trotoar Menggunakan Metode Convolutional Neural Network," *J. Tek. Sipil Cendekia*, vol. 4, no. 1, pp. 412–427, 2023, doi: 10.51988/jtsc.v4i1.116.