



## Segmentasi Citra Keretakan Dinding Beton Menggunakan Teknik Perbandingan Evaluasi Metrik *Image Segmentation of Concrete Wall Cracks Using Techniques Comparison of Evaluation Metrics*

Finki Dona Marleny<sup>1</sup>, Muhammad Fitriansyah<sup>2</sup>, Sa'adah<sup>3</sup>, Winda Astria Nuansa Saputri<sup>4</sup>, Rudy Ansari<sup>5</sup>,  
Mambang<sup>6</sup>

<sup>1,3,4,5</sup>Prodi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

<sup>2</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

<sup>6</sup>Prodi Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sari Mulia

<sup>1</sup>finkidona@umbjm.ac.id, <sup>2</sup>fitriansyah@umbjm.ac.id, <sup>3</sup>saadahmn42@gmail.com, <sup>4</sup>windaastria460@gmail.com,

<sup>5</sup>rudy@umbjm.ac.id, <sup>6</sup>mambang@unism.ac.id

### Abstract

*A common problem encountered in buildings is cracking concrete walls. Various factors affect wall cracks either subtly or severely cracks. Damage to concrete walls can be detected early with various techniques. Image segmentation can be used to speed up and facilitate the detection of cracks in concrete walls. In crack detection analysis on concrete walls, image segmentation is used to separate different areas of the image, such as crack areas and non-fracture areas. After that, further analysis is performed on the fracture area to determine crack characteristics such as length, width, depth, and orientation. Image segmentation of concrete wall cracks can be evaluated through metric evaluation with various methods. The application of image segmentation for crack detection in concrete walls can speed up the inspection process and obtain more accurate results. The image segmentation technique used in this process is to use metric evaluation comparison techniques to be able to segment the image of concrete wall cracks. The results of the image segmentation test will compare three image segmentation methods. Image segmentation is a different segmentation with certain characteristics, namely using the watershed approach, canny filter, and morphological geodesic-active contour method in metric evaluation. To determine the success rate in the image segmentation process using precision-recall, which serves to evaluate the output quality of the image. . In image segmentation carried out using two samples of concrete wall imagery. By comparing the results of the method used in samples 1 and 2, the compact watershed method is superior to the canny filter and morphological GAC methods.*

*Keywords: crack; concrete; walls; segmentation*

### Abstrak

Masalah yang umum ditemui pada bangunan adalah keretakan dinding beton. Berbagai faktor yang mempengaruhi keretakan dinding baik secara halus atau keretakan yang parah. Kerusakan pada dinding beton dapat dideteksi dini dengan berbagai teknik. Segmentasi citra dapat digunakan untuk mempercepat dan mempermudah deteksi keretakan pada dinding beton. Dalam analisis deteksi keretakan pada dinding beton, segmentasi citra digunakan untuk memisahkan area yang berbeda pada citra, seperti area keretakan dan area non-keretakan. Setelah itu, analisis lebih lanjut dilakukan pada area keretakan untuk menentukan karakteristik keretakan seperti panjang, lebar, kedalaman, dan orientasi. Segmentasi citra keretakan dinding beton dapat di evaluasi melalui evaluasi metrik dengan berbagai metode. Penerapan segmentasi citra untuk deteksi keretakan pada dinding beton dapat mempercepat proses inspeksi dan memperoleh hasil yang lebih akurat. Teknik segmentasi citra yang digunakan dalam proses ini adalah menggunakan teknik perbandingan evaluasi metrik untuk dapat melakukan proses segmentasi citra keretakan dinding beton. Hasil uji segmentasi citra akan membandingkan tiga metode segmentasi citra. Segmentasi citra merupakan segmentasi yang berbeda dengan karakteristik tertentu, yaitu menggunakan pendekatan DAS, canny filter, dan metode kontur aktif geodesik morfologi dalam evaluasi metrik. Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dalam proses segmentasi citra menggunakan precision-recall, yang berfungsi untuk mengevaluasi kualitas output dari citra. Dalam segmentasi citra yang dilakukan menggunakan dua sampel citra ketertakan dinding beton. Dengan membandingkan hasil metode yang digunakan pada sampel 1 dan 2 metode compact watershed lebih unggul di bandingkan dengan metode canny filter dan morphological GAC.

Kata kunci: retak, beton, dinding, segmentasi

## 1. Pendahuluan

Penggunaan dinding beton dalam infrastruktur bangunan di Indonesia sangatlah beragam, seperti pada bangunan perkantoran, apartemen, pusat perbelanjaan, rumah sakit, sekolah, gedung pemerintah, stasiun, bandara, dan sebagainya[1],[2]. Dinding beton juga digunakan untuk membangun jembatan, terowongan, tanggul, dan sebagainya[3]. Dalam pembangunan bangunan bertingkat, dinding beton digunakan sebagai dinding penahan beban, baik beban vertikal maupun horizontal. Dinding beton juga digunakan sebagai struktur penahan angin dan gempa, serta sebagai penghalang suara dan insulasi termal[4].

Masalah umum yang sering terjadi pada dinding beton adalah retak, korosi, efloresensi, penetrasi air dan pelapukan. Retak pada dinding beton dapat terjadi karena tekanan atau tarikan yang berlebihan pada struktur, atau karena adanya kebocoran air yang merusak beton. Retak yang terlalu besar dan tidak diperbaiki dapat mengurangi kekuatan dan stabilitas dinding beton. Untuk mencegah masalah-masalah ini, perawatan dan perbaikan rutin harus dilakukan pada dinding beton[5].

Kerusakan permukaan struktur beton, termasuk retakan, pelapukan, dan lubang secara visual mencerminkan daya tahan dan keamanan dari struktur dinding beton[6]. Retak adalah salah satu jenis kerusakan yang memiliki dampak terbesar pada struktur-struktur dan merupakan objek paling menarik perhatian didalam kerusakan dinding beton[7]. Retakan adalah manifestasi pencitraan paling khas dari daya tahan dan keamanan infrastruktur. Teknologi deteksi retak telah banyak diperhatikan oleh para peneliti di bidang pengolahan citra digital untuk pemeliharaan infrastruktur bangunan.

Teknologi deteksi retak pada dinding beton saat ini sudah sangat berkembang. Beberapa teknologi yang dapat digunakan untuk mendeteksi retak pada dinding beton adalah *visual inspection*, *ultrasonic testing*, *infrared thermography*, *Ground Penetrating Radar (GPR)*, dan *X-ray Imaging*[6]. Pada teknik *visual inspection* ini merupakan metode yang paling sederhana dan umum dilakukan untuk mendeteksi retak pada dinding beton. Dalam teknik ini, secara visual memeriksa dinding beton untuk melihat adanya retak, baik dengan mata langsung atau menggunakan alat bantu seperti kaca pembesar. Pilihan teknologi deteksi retak yang digunakan tergantung pada kondisi dinding beton dan kebutuhan penggunaannya.

Penelitian keretakan pada dinding beton sangat penting karena keretakan dapat mengurangi kekuatan dan stabilitas dinding beton[8]. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan atau bahkan kegagalan

struktur, yang dapat berdampak pada keselamatan manusia dan keamanan publik. Selain itu, penelitian tentang keretakan pada dinding beton juga penting untuk memahami faktor-faktor penyebab keretakan dan bagaimana mencegahnya. Hal ini dapat membantu dalam perencanaan dan desain bangunan yang lebih tahan lama dan aman di masa depan.

Dalam penelitian keretakan pada dinding beton, diperlukan pendekatan multidisiplin dan penggunaan teknologi modern untuk memperoleh data yang akurat dan dapat diandalkan. Penelitian ini dapat dilakukan melalui pengujian laboratorium, simulasi komputer, dan pengamatan lapangan. Segmentasi citra merupakan proses membagi citra menjadi beberapa bagian yang homogen, dengan tujuan untuk memudahkan analisis dan ekstraksi informasi dari citra tersebut[9], [10]. Dalam hal ini, segmentasi citra dapat digunakan untuk mempercepat dan mempermudah deteksi keretakan pada dinding beton. Dalam analisis deteksi keretakan pada dinding beton, segmentasi citra digunakan untuk memisahkan area yang berbeda pada citra, seperti area keretakan dan area non-keretakan. Setelah itu, analisis lebih lanjut dilakukan pada area keretakan untuk menentukan karakteristik keretakan seperti panjang, lebar, kedalaman, dan orientasi.

Penerapan segmentasi citra untuk deteksi keretakan pada dinding beton dapat mempercepat proses inspeksi dan memperoleh hasil yang lebih akurat. Metode ini juga dapat membantu dalam pemantauan kondisi dinding beton secara berkala untuk mencegah keretakan yang lebih serius di masa depan. Dalam metode pengolahan citra harus dilakukan beberapa tahapan proses yaitu proses segmentasi citra[11].

Proses segmentasi gambar dapat menggunakan beberapa metode untuk mencocokkan gambar yang diuji[12]. Segmentasi gambar yang akan diuji adalah citra permukaan struktur dinding beton. Proses segmentasi citra pada penelitian ini dimulai dari pengambilan sampel keretakan struktur dinding beton dari berbagai bangunan. Seperti bangunan instansi perkantoran, bangunan ruko dan rumah tinggal. Data citra tersebut diambil untuk membandingkan hasil evaluasi metrik proses segmentasi gambar dari pola retakan sebagai segmentasi gambar kasar[13].

Segmentasi gambar kasar merupakan tahapan penting untuk proses pengenalan pola pada segmentasi objek, dan latar belakang gambar dipisahkan sehingga dapat dilanjutkan ke tahap segmentasi halus yaitu dengan metode-metode segmentasi citra. Segmentasi citra kasar yang dibandingkan merupakan segmentasi yang berbeda dengan karakteristik tertentu, yaitu menggunakan pendekatan metode DAS kompak, canny filter, dan metode kontur aktif geodesik morfologi[14], [15]. Dalam evaluasi metrik segmentasi gambar citra

retakan di ukur menggunakan precision-recall untuk mengevaluasi kualitas klasifikasi dari segmentasi citra objek[16]. Tujuan khusus dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan teknik perbandingan evaluasi metrik apakah dapat melakukan proses segmentasi citra keretakan dinding beton. Hasil uji segmentasi citra akan membandingkan tiga metode segmentasi citra. Paradigma pemecahan masalah dari penelitian ini adalah untuk memproses segmentasi citra keretakan dinding beton menggunakan teknik perbandingan evaluasi metrik. Proses segmentasi citra yang akan diuji dengan metode segmentasi citra menggunakan dua sampel citra ketertakan dinding beton. Metode yang digunakan adalah metode compact watershed canny filter dan morphological GAC.

## 2. Metode Penelitian

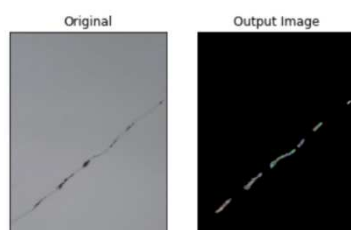
Metode segmentasi citra yang diusulkan adalah menguji citra permukaan struktur dinding beton. Proses segmentasi citra pada penelitian ini dimulai dari pengambilan sampel keretakan struktur dinding beton dari berbagai bangunan. Seperti bangunan instansi perkantoran, banguna ruko dan rumah tinggal. Gambar 1 memperlihatkan kerangka kerja segmentasi gambar dalam penelitian ini. Tahap pra-pemrosesan adalah memasukkan data gambar RGB dan kemudian dalam proses sehingga menjadi gambar keabu-abuan. Pada tahap pra-pengolahan segmentasi citra digunakan dengan pendekatan metode DAS, Canny Filter dan Kontur aktif geodesik morfologi sebagai metode segmentasi kasar, dari segmentasi ke ketiga metode ini dibandingkan pada evaluasi metrik.



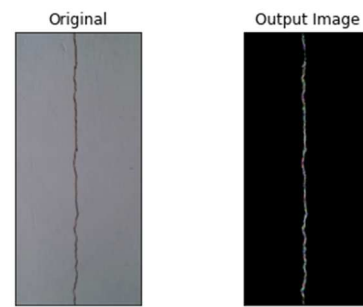
Gambar 1. Kerangka kerja segmentasi gambar yang di usulkan

### 2.1 Tahapan pra pemrosesan citra

Pada tahapan pra pemrosesan citra digital dimulai dari proses akuisisi citra digital yang merupakan proses menangkap atau memindai citra analog sehingga diperoleh citra digital. Citra digital dengan kualitas RGB akan di sesuaikan kedalam skala citra keabu-abuan agar proses segmentasi citra sesuai dengan tahapan proses segmentasi kasar. Gambar 2 dan 3 adalah sampel citra dinding beton dari berbagai sisi dan kasus yang akan di proses.



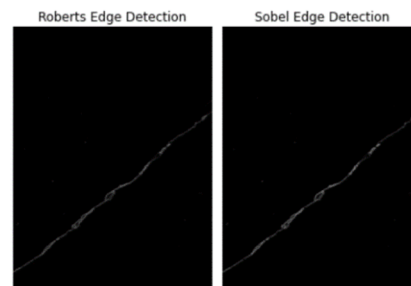
Gambar 2. Pra pemrosesan citra grayscale sampel 1



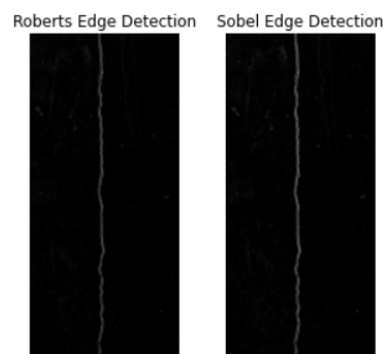
Gambar 3. Pra pemrosesan citra grayscale sampel 2

### 2.2 Segmentasi citra

Dalam pengolahan citra perlu dilakukan proses segmentasi citra yang bertujuan untuk memisahkan antara objek dengan background. Pada umumnya keluaran hasil segmentasi citra adalah berupa citra biner di mana objek yang dikehendaki berwarna putih, sedangkan background yang ingin dihilangkan berwarna hitam. Sama halnya pada proses perbaikan kualitas citra, proses segmentasi citra juga bersifat eksperimental.



Gambar 4. Proses segmentasi citra dengan deteksi tepi sampel 1



Gambar 5. Proses segmentasi citra dengan deteksi tepi sampel 2

Dari contoh sampel Gmbar 4 dan 5 terlihat proses segmentasi citra menggunakan 2 metode deteksi tepi yaitu metode *Sobel* yang merupakan teknik deteksi tepi yang menggunakan operator Sobel untuk menghitung gradien pada setiap piksel pada citra[17]. Gradien ini digunakan untuk mengidentifikasi piksel yang terletak pada tepi objek. Dan menggunakan operator Roberts untuk menghitung gradien pada setiap piksel pada citra. Operator Roberts terdiri dari dua kernel atau matriks konvolusi yang digunakan untuk menghitung gradien pada arah diagonal[18].

### 2.3 Mengevaluasi metrik segmentasi

Beberapa teknik yang dapat mengevaluasi metrik segmentasi yaitu dengan metode *Compact Watershed*, *Edge Detection*, *Morphological GAC*.

Metode *Compact Watershed* segmentasi citra ini digunakan untuk mengelompokkan piksel-piksel pada citra yang memiliki nilai intensitas dan elevasi yang serupa ke dalam segmen-segmen yang homogen. Proses ini dilakukan dengan menggunakan nilai elevasi dari setiap piksel sebagai batas air dan kemudian melakukan proses perairan yang dapat menyebabkan terbentuknya kolam-kolam kecil pada permukaan citra. Kelebihan menggunakan metode *Compact Watershed* adalah kemampuannya untuk menangani citra dengan elevasi yang kompleks dan menghasilkan segmentasi yang lebih halus dan terperinci. Namun, kelemahan dari metode ini adalah sensitivitasnya terhadap noise pada citra dan kesulitan dalam menangani objek yang tumpang tindih atau saling bersinggungan[19].

Dalam menggunakan Metode deteksi tepi *Canny Filter* menggunakan algoritma yang cukup kompleks untuk menghasilkan deteksi tepi yang akurat. Algoritma ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu: *Smoothing*, Deteksi Gradien, *Non-Maximum Suppression*, dan *Hysteresis Thresholding*. Keuntungan dari metode *Canny Filter* adalah kemampuannya untuk menghasilkan deteksi tepi yang akurat dan tidak dipengaruhi oleh noise pada citra. Namun, kelemahan dari metode ini adalah waktu komputasi yang cukup lama karena proses *smoothing* pada citra menggunakan Gaussian filter. Selain itu, pemilihan nilai threshold atas dan bawah juga dapat mempengaruhi hasil akhir dari deteksi tepi pada citra[20].

Metode *Morphological Geodesic Active Contours* (MGAC) adalah salah satu teknik segmentasi citra yang digunakan untuk mengidentifikasi objek pada citra dengan tepi yang kompleks atau kabur. Metode ini memadukan konsep pengolahan citra dan analisis topologi matematika. Metode MGAC memperbaiki kelemahan metode *Active Contours* dengan menambahkan operasi morfologi matematika pada kurva yang dibentuk. Operasi morfologi matematika ini berguna untuk menghaluskan kurva dan membuatnya mengikuti tepi objek pada citra dengan lebih akurat. Metode MGAC juga menggunakan konsep geodesi, yaitu sebuah jalan terpendek antara dua titik pada permukaan objek pada citra, untuk memperbaiki akurasi kurva[21].

### 2.4 Evaluasi kinerja metode segmentasi citra

Dalam pemrosesan gambar dan pembelajaran mesin cara mengevaluasi model saat membangun model merupakan tahapan penting untuk mengukur seberapa akurat model dalam memprediksi hasil yang diharapkan. Perbandingan evaluasi metrik segmentasi citra pada keretakan dinding beton menggunakan

Precision-Recall (PR) curve: PR curve adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara presisi dan recall pada berbagai nilai threshold pada hasil segmentasi. PR curve berguna untuk membandingkan kinerja segmentasi pada dataset yang tidak seimbang, yaitu dataset yang memiliki proporsi piksel yang terklasifikasi positif dan negatif yang berbeda. Berikut adalah persamaannya[1], [22].

*Precision* (P) pada formula merupakan rasio prediksi benar positif dibandingkan dengan keseluruhan hasil yang diprediksi positif.

$$P = \frac{T_p}{T_p + F_p} \quad (1)$$

*Recall* (R) pada formula 2 merupakan rasio prediksi benar positif dibandingkan dengan keseluruhan data yang benar positif.

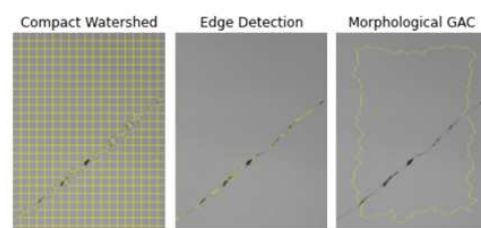
$$R = \frac{T_p}{T_p + F_n} \quad (2)$$

F1 Score pada formula 3 merupakan perbandingan rata-rata presisi dan recall yang dibobotkan.

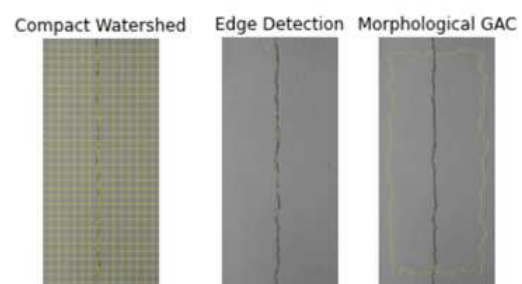
$$F1 = 2 \frac{P \times R}{P + R} \quad (3)$$

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pemrosesan segmentasi citra dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengukur ukuran keretakan pada dinding beton. Langkah awal dari analisis keretakan dinding beton yaitu penentuan citra, setelah di tentukan citra dinding beton diambil dengan kamera digital atau alat pemindaian. Kemudian, citra tersebut diproses menggunakan teknik morfologi matematika, seperti watershed, thresholding, dan operasi morfologi. Gambar 6 dan 7 adalah hasil dari proses segmentasi citra.

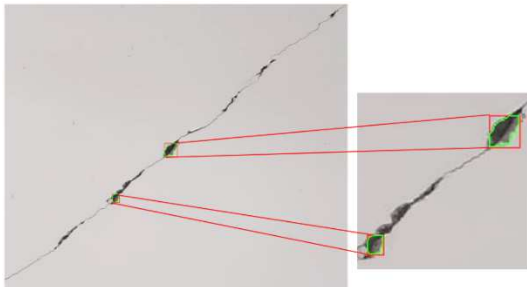


Gambar 6. Hasil segmentasi sampel 1

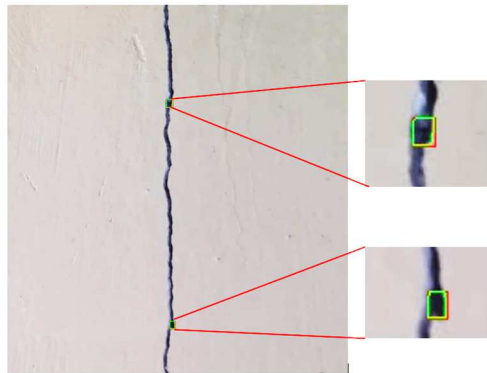


Gambar 7. Hasil segmentasi sampel 2

Setelah proses segmentasi didapatkan hasil pengukuran untuk keretakan dinding beton. Deteksi keretakan dinding beton yang memiliki tanda kerusakan ditandai dengan tanda persegi berwarna merah pada gambar di bawah ini. Sedangkan tanda pada warna hijau didalam persegi merah menjelaskan tentang kedalaman keretakan pada dinding beton. Gambar 8 dan 9 adalah hasil proses deteksi retak dinding beton.

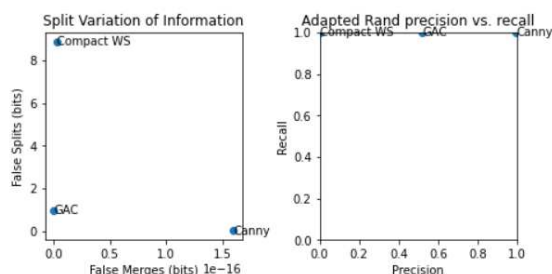


Gambar 8. Hasil deteksi keretakan sampel 1

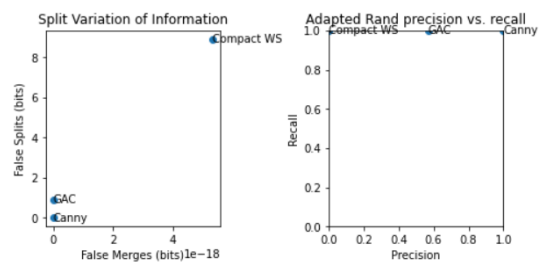


Gambar 9. Hasil deteksi keretakan sampel 2

Setelah hasil deteksi keretakan diketahui maka selanjutnya adalah proses evaluasi. Evaluasi metrik digunakan untuk mengukur kualitas suatu model. Dalam pemrosesan gambar dan pembelajaran mesin bagaimana mengevaluasi model saat membangun model adalah tahap penting untuk mengukur seberapa akurat model dalam memprediksi hasil yang diharapkan. Perbandingan Metrik Segmentasi Gambar Evaluasi pada cina dinding beton diukur menggunakan tahapan proses pengolahan citra digital precision and recall. Gambar 10 dan 11 adalah nilai informasi yang didapatkan dari proses evaluasi metrik.



Gambar 10. Hasil evaluasi metrik sampel 1



Gambar 11. Hasil evaluasi metrik sampel 1

Tabel 1 adalah tabel hasil perbandingan evaluasi metrik segmentasi citra. Pada keterangan nomor merujuk pada sampel citra yang digunakan. Untuk perbandingan hasil metode yang digunakan terdapat metode compact watershed, canny filter dan morphological GAC.

Tabel 1. Tabel Hasil Evaluasi Metrik

| No | Metode     | error  | precision | Recall |
|----|------------|--------|-----------|--------|
| 1  | Compact ws | 0,9957 | 0,0021    | 1,0    |
|    | Canny      | 0,0019 | 0,9962    | 1,0    |
|    | GAC        | 0,3155 | 0,5203    | 1,0    |
| 2  | Compact ws | 0,9958 | 0,0021    | 1,0    |
|    | Canny      | 0,0007 | 0,9986    | 1,0    |
|    | GAC        | 0,2740 | 0,5698    | 1,0    |

Dari hasil pengukuran menggunakan *precision* & *recall*, nilai *precision* pada sampel 1 menggunakan metode *compact watershed* memiliki nilai sebesar 0,9962 dan pada sampel 2 dengan menggunakan metode yang sama memiliki nilai sebesar 0,9986 yang menunjukkan bahwa dari semua prediksi positif yang dilakukan di antaranya adalah benar atau tepat.

Dengan membandingkan hasil metode yang digunakan pada sampel 1 dan 2 metode *compact watershed* lebih unggul di bandingkan dengan metode *canny filter* dan *morphological GAC*.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil proses segmentasi citra dan evaluasi metrik, dapat disimpulkan bahwa metode segmentasi citra berbasis pemrosesan citra digital dengan teknik compact watershed, canny filter, morphology GAC dapat digunakan untuk mendeteksi keretakan pada dinding beton dengan akurat dan efisien. Dari hasil pengukuran menggunakan *precision* & *recall* metode compact watershed memiliki nilai yang lebih unggul. Metode yang digunakan memiliki beberapa keuntungan, antara lain mampu menghasilkan deteksi keretakan yang akurat dan lebih cepat daripada metode manual, memungkinkan untuk dilakukan perbaikan atau pemeliharaan dinding beton dengan lebih efektif dan efisien, serta dapat digunakan untuk memantau kondisi dinding beton secara berkala. Namun, penelitian ini juga menunjukkan bahwa ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi akurasi hasil segmentasi, seperti tingkat kecerahan dan kontras citra, serta jenis dan ukuran keretakan pada dinding beton. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki dan meningkatkan kinerja metode

segmentasi citra ini agar dapat digunakan secara lebih luas dan efektif dalam mendeteksi keretakan pada dinding beton.

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Muhammadiyah Banjarmasin, berdasarkan hasil penelitian yang dibiayai oleh Universitas Muhammadiyah Banjarmasin melalui Program Hibah Penelitian, dan Pengabdian kepada Masyarakat 2023.

### Daftar Rujukan

- [1] Z. Yu, Y. Shen, Z. Sun, J. Chen, and W. Gang, "Cracklab: A high-precision and efficient concrete crack segmentation and quantification network," *Dev. Built Environ.*, vol. 12, no. September, p. 100088, 2022, doi: 10.1016/j.dibe.2022.100088.
- [2] D. Zebua, L. Setia, and B. Wibowo, "Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Simpangan Lateral Gedung Beton Bertulang," *Ge-STRAMJurnal Perenc. dan Rekayasa Sipil*, vol. 06, pp. 7–11, 2023.
- [3] A. Geometri Dan, "Analisis Redesain Pondasi Abutment Dan Dinding Penahan Tanah Jembatan Sungai Desa Kendalbulur Kecamatan Boyolangu Kabupaten Tulungagung Restu," *J. Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 26–37, 2018.
- [4] A. Nahla, "Perencanaan Abutment Jembatan Glendeng Kabupaten Tuban," *De'Teksi J. Tek. Sipil Unigoro*, vol. 7, no. 1, pp. 71–89, 2022.
- [5] I. R. Mulyawan and U. G. Mada, "Evaluasi dan Optimasi Dinding Penahan Tanah Desa Sulangai , Kecamatan Petang , Kabupaten Badung , dengan Perkuatan Ground Anchor," in *Symposium Nasional Teknologi Infrastruktur Abad ke-21*, 2023, no. January 2021, pp. 0–7.
- [6] D. Dais, İ. E. Bal, E. Smyrou, and V. Sarhosis, "Automatic crack classification and segmentation on masonry surfaces using convolutional neural networks and transfer learning," *Autom. Constr.*, vol. 125, no. July 2020, 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103606.
- [7] H. Li, W. Wang, M. Wang, L. Li, and V. Vimlund, "A review of deep learning methods for pixel-level crack detection," *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 9, no. 6, pp. 945–968, 2022, doi: 10.1016/j.jtte.2022.11.003.
- [8] Q. Qin, Q. Meng, H. Yang, and W. Wu, "Study of the anti-abrasion performance and mechanism of coral reef sand concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 291, p. 123263, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123263.
- [9] S. Guillaume, V. Mohammadi, A. Tidjani, S. Mahama, and P. Gouton, "A deep semantic segmentation-based algorithm to segment crops and weeds in agronomic color images," *Inf. Process. Agric.*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.inpa.2021.08.003.
- [10] A. Ibrahim and E.-S. M. El-Kenawy, "Image Segmentation Methods Based on Superpixel Techniques: A Survey," *J. Comput. Sci. Inf. Syst.*, vol. 2020, no. 6, pp. 1–10, 2020, [Online]. Available: [www.jcsis.org/](http://www.jcsis.org/).
- [11] D. Zhao *et al.*, "Ant Colony Optimization with Horizontal and Vertical Crossover Search: Fundamental Visions for Multi-threshold Image Segmentation," *Expert Syst. Appl.*, p. 114122, 2020, doi: 10.1016/j.eswa.2020.114122.
- [12] S. Zhao *et al.*, "Multilevel threshold image segmentation with diffusion association slime mould algorithm and Renyi ' s entropy for chronic obstructive pulmonary disease," *Comput. Biol. Med.*, vol. 134, no. May, p. 104427, 2021, doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104427.
- [13] J. Ma, X. Wang, and B. Xiao, "An image segmentation method based on Simple Linear Iterative Clustering and graph-based semi-supervised learning," *Proc. 2015 Int. Conf. Orange Technol. ICOT 2015*, no. 2014, pp. 10–13, 2016, doi: 10.1109/ICOT.2015.7498477.
- [14] D. Riana, S. Rahayu, and M. Hasan, "Heliyon Comparison of segmentation and identification of swietenia mahagoni wood defects with augmentation images," *Heliyon*, vol. 7, no. January, p. e07417, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07417.
- [15] F. D. Marleny, "Comparison of Evaluation Image Segmentation Metrics on Sasirangan Fabric Pattern Journal of Computer Networks , Architecture and High Performance Computing," *J. Comput. Networks , Archit. High Perform. Comput.*, vol. 4, no. 2, pp. 96–103, 2022.
- [16] L. Wang, J. Wang, Z. Liu, J. Zhu, and F. Qin, "Evaluation of a deep-learning model for multispectral remote sensing of land use and crop classification," *Crop J.*, no. xxxx, 2022, doi: 10.1016/j.cj.2022.01.009.
- [17] S. Pan and M. Kudo, "Segmentation of pores in wood microscopic images based on mathematical morphology with a variable structuring element," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 75, no. 2, pp. 250–260, 2011, doi: 10.1016/j.compag.2010.11.010.
- [18] A. Azeroual and K. Afdel, "Fast Image Edge Detection based on Faber Schauder Wavelet and Otsu Threshold," *Heliyon*, no. July, pp. 1–19, 2017, doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00485.
- [19] F. I. Rahma, E. Utami, and H. Al Fatta, "The Using of Gaussian Pyramid Decomposition, Compact Watershed Segmentation Masking and DBSCAN in Copy-Move Forgery Detection with SIFT," *2020 3rd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2020*, pp. 325–330, 2020, doi: 10.1109/ICOIACT50329.2020.9332081.
- [20] M. Huang, Y. Liu, and Y. Yang, "Edge detection of ore and rock on the surface of explosion pile based on improved Canny operator," *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 12, pp. 10769–10777, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2022.04.019.
- [21] A. G. Medeiros *et al.*, "A new fast morphological geodesic active contour method for lung CT image segmentation," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 148, 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2019.05.078.
- [22] R. Pérez-zavala, M. Torres-torriti, F. A. Cheein, and G. Troni, "Original papers A pattern recognition strategy for visual grape bunch detection in vineyards," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 151, no. September 2017, pp. 136–149, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.05.019.