

Evaluasi Kinerja Metode Canny Dan Roberts Dalam Deteksi Tepi Citra Buah Apel Berdasarkan Kualitas Kontur Dan Waktu Komputasi

Asfa Zaky Assa'ad^{1*)}, Reni Rahmadewi², Lela Nurpulaela³, Egi Sunardi⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS. Ronggo Waluyo Puseurjaya. Telukjambe Timur,
Karawang 41361, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: 2210631160080@student.unsika.ac.id

ABSTRAK

Deteksi tepi merupakan salah satu tahapan pengolahan citra yang digunakan untuk mengidentifikasi batas objek berdasarkan perubahan intensitas piksel. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dan membandingkan kinerja metode Roberts dan Canny dalam mendeteksi tepi citra buah apel pada dua kondisi masukan, yaitu citra grayscale dan citra hasil segmentasi Otsu. Pengujian dilakukan terhadap 30 citra buah apel dengan ukuran yang diseragamkan menjadi 256×256 piksel. Kinerja kedua metode dievaluasi berdasarkan Precision, Recall, F1-score, waktu komputasi, serta uji Wilcoxon signed-rank. Pada citra grayscale, Roberts menghasilkan F1-score sebesar 0,656, sedangkan Canny sebesar 0,296 dengan perbedaan yang signifikan ($p < 0,001$). Setelah segmentasi Otsu, F1-score Roberts dan Canny masing-masing sebesar 0,584 dan 0,585 serta tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p = 0,704$). Roberts juga memiliki waktu komputasi lebih rendah dibandingkan Canny pada kedua kondisi masukan ($p < 0,001$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja Roberts dan Canny dipengaruhi oleh kondisi citra masukan. Segmentasi Otsu memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kedua metode dan menyebabkan kualitas hasil Roberts dan Canny berdasarkan F1-score menjadi relatif setara setelah segmentasi.

Kata Kunci: Canny, deteksi tepi, Otsu, Roberts, pengolahan citra.

ABSTRACT

Edge detection is an image processing technique used to identify object boundaries based on changes in pixel intensity. This study aims to evaluate and compare the performance of the Roberts and Canny methods for edge detection in apple images under two input conditions: grayscale images and Otsu-segmented images. The experiment was conducted on 30 apple images resized to 256×256 pixels. The performance of both methods was evaluated using Precision, Recall, F1-score, computation time, and the Wilcoxon signed-rank test. On grayscale images, Roberts achieved an F1-score of 0.656, while Canny achieved 0.296, with a significant difference ($p < 0.001$). After Otsu segmentation, the F1-scores of Roberts and Canny were 0.584 and 0.585, respectively, with no significant difference ($p = 0.704$). Roberts also required less computation time than Canny under both input conditions ($p < 0.001$). The results indicate that the performance of Roberts and Canny is influenced by the input image condition. Otsu segmentation affected the two methods differently and resulted in relatively comparable F1-score performance after segmentation.

Keywords: Canny, edge detection, image processing, Otsu, Roberts.



1. PENDAHULUAN

Pengolahan citra digital telah banyak dimanfaatkan dalam bidang pertanian untuk membantu proses identifikasi dan analisis objek berdasarkan karakteristik visual pada citra. Penerapannya pada komoditas buah dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kematangan dan karakteristik kualitas berdasarkan informasi seperti warna, bentuk, dan tekstur. Ekstraksi fitur RGB dan HSV telah digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah melinjo [1], sedangkan kombinasi fitur tekstur dan warna Lab dapat dimanfaatkan untuk melakukan klasifikasi kandungan nutrisi pada citra buah pisang [2]. Penerapan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik visual pada citra buah dapat diolah menjadi informasi yang mendukung proses identifikasi maupun klasifikasi secara otomatis.

Salah satu informasi penting dalam pengolahan citra adalah tepi objek yang menunjukkan perubahan intensitas antarpiksel dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi batas suatu objek. Deteksi tepi bertujuan menonjolkan bagian citra yang mengalami perubahan intensitas sehingga bentuk atau batas objek dapat dikenali dengan lebih jelas. Berbagai operator telah dikembangkan untuk melakukan deteksi tepi, antara lain Roberts, Sobel, Prewitt, Laplacian of Gaussian (LoG), dan Canny. Setiap operator memiliki karakteristik yang berbeda dalam mendeteksi batas objek karena menggunakan mekanisme dan tingkat kompleksitas pemrosesan yang berbeda [3][4]. Oleh karena itu, pemilihan metode deteksi tepi perlu mempertimbangkan karakteristik citra dan tujuan pengolahan yang dilakukan.

Metode Canny dan Roberts memiliki karakteristik yang berbeda dalam proses deteksi tepi. Canny menggunakan beberapa tahapan pemrosesan, termasuk penghalusan citra dan analisis gradien, untuk menghasilkan tepi yang lebih terhubung, sedangkan Roberts menggunakan operasi gradien yang lebih sederhana [3]. Perbedaan mekanisme tersebut dapat menghasilkan karakteristik tepi yang berbeda ketika diterapkan pada suatu citra. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Canny dapat menghasilkan tepi yang lebih tajam dan terhubung dibandingkan beberapa operator lain pada citra yang diuji [3]. Perbedaan kinerja antara Canny dan Roberts juga ditemukan pada citra iris, dengan nilai Precision Canny sebesar 0,357867 dan Roberts sebesar 0,279196 [5]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kinerja operator deteksi tepi dapat berbeda sesuai dengan karakteristik citra dan kondisi pengujian yang digunakan.

Penelitian terdahulu telah membandingkan beberapa metode deteksi tepi menggunakan pendekatan evaluasi yang berbeda. Perbandingan Roberts, Sobel, Prewitt, dan Canny telah dilakukan berdasarkan jumlah piksel tepi yang dihasilkan pada citra pengujian [3]. Evaluasi lain membandingkan Canny, Sobel, Prewitt, dan Roberts pada citra iris dengan menggunakan Precision sebagai salah satu parameter penilaian [5]. Meskipun penelitian tersebut telah memberikan perbandingan kuantitatif antaroperator deteksi tepi, evaluasi yang dilakukan belum mengkaji perubahan kinerja Roberts dan Canny pada kondisi citra masukan yang berbeda, khususnya antara citra grayscale dan citra yang telah melalui segmentasi Otsu. Selain itu, penggunaan kombinasi Precision, Recall, dan F1-score serta analisis statistik diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kualitas hasil deteksi tepi pada kondisi pengujian yang berbeda.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja metode Roberts dan Canny dalam mendeteksi tepi citra buah apel pada dua kondisi masukan, yaitu citra grayscale dan citra hasil segmentasi Otsu. Kedua metode dievaluasi berdasarkan kualitas hasil deteksi tepi menggunakan Precision, Recall, dan F1-score serta berdasarkan waktu komputasi deteksi tepi. Penelitian ini juga menganalisis pengaruh segmentasi Otsu terhadap perubahan kinerja masing-masing metode melalui perbandingan hasil pada kedua kondisi masukan dan pengujian statistik. Dengan pendekatan tersebut, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih objektif mengenai hubungan antara kondisi citra masukan, kualitas deteksi tepi, dan kebutuhan komputasi metode Roberts dan Canny pada citra buah apel.



1.1 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital merupakan proses pengolahan citra dalam bentuk digital untuk memperoleh informasi yang dapat digunakan dalam proses analisis lebih lanjut. Informasi visual yang terdapat pada citra dapat direpresentasikan melalui berbagai karakteristik, seperti warna, bentuk, tekstur, dan batas objek. Dalam bidang pertanian, pengolahan citra digital telah dimanfaatkan untuk membantu proses identifikasi maupun klasifikasi objek berdasarkan karakteristik visual yang terdapat pada citra [6]. Penerapan pengolahan citra pada objek buah juga memungkinkan karakteristik visual digunakan sebagai informasi dalam proses analisis dan klasifikasi secara otomatis [7].

1.2 Ruang Warna RGB

Citra RGB merupakan citra berwarna yang merepresentasikan informasi warna melalui tiga kanal utama, yaitu merah (red), hijau (green), dan biru (blue). Kombinasi nilai intensitas pada ketiga kanal tersebut membentuk variasi warna pada setiap piksel citra. Dalam proses pengolahan citra, citra RGB dapat dikonversi menjadi citra grayscale untuk merepresentasikan informasi citra berdasarkan tingkat intensitas keabuan. Konversi tersebut menyederhanakan informasi warna sehingga citra grayscale dapat digunakan sebagai masukan pada proses pengolahan citra berikutnya. Penggunaan citra grayscale dalam proses deteksi tepi dapat menghasilkan karakteristik hasil deteksi yang berbeda dibandingkan citra berwarna [8]. Pada penelitian ini, citra grayscale digunakan sebagai masukan untuk deteksi tepi secara langsung serta sebagai masukan pada proses segmentasi Otsu.

1.3 Segmentasi Citra

Segmentasi citra merupakan proses pemisahan citra menjadi beberapa bagian untuk membedakan objek yang menjadi fokus analisis dengan latar belakang. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam proses segmentasi adalah Otsu thresholding. Metode Otsu menentukan nilai ambang secara otomatis berdasarkan distribusi intensitas pada citra sehingga piksel dapat dikelompokkan menjadi objek (foreground) dan latar belakang (background). Penerapan Otsu thresholding dapat dikombinasikan dengan median filter sebagai tahap preprocessing untuk mengurangi noise sebelum proses segmentasi. Hasil segmentasi dapat dievaluasi menggunakan Relative Foreground Area Error (RAE) dan Misclassification Error (ME) [9]. Pada penelitian ini, metode Otsu digunakan untuk menghasilkan citra biner yang selanjutnya digunakan sebagai salah satu kondisi masukan pada metode Roberts dan Canny. Penggunaan kondisi tersebut memungkinkan perbandingan kinerja kedua metode antara deteksi tepi pada citra grayscale dan deteksi tepi setelah segmentasi Otsu.

1.4 Deteksi Tepi

Deteksi tepi merupakan proses dalam pengolahan citra digital yang digunakan untuk mengidentifikasi batas suatu objek berdasarkan perubahan intensitas pada citra. Informasi tepi dapat digunakan untuk memperjelas bentuk dan batas objek sehingga mendukung proses analisis citra pada tahap selanjutnya. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam deteksi tepi antara lain Roberts, Sobel, Prewitt, *Laplacian of Gaussian* (LoG), dan Canny [4]. Setiap metode memiliki mekanisme pemrosesan yang berbeda sehingga dapat menghasilkan karakteristik tepi yang berbeda pada citra yang sama. Perbandingan beberapa metode deteksi tepi menunjukkan adanya perbedaan hasil deteksi pada citra dengan kondisi objek dan latar belakang yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan metode deteksi tepi perlu disesuaikan dengan karakteristik citra serta kebutuhan analisis yang dilakukan. Pada penelitian ini, metode deteksi tepi yang dibandingkan adalah Roberts dan Canny.

1.5 Metode Roberts

Metode Roberts merupakan salah satu operator deteksi tepi berbasis gradien yang digunakan untuk mengidentifikasi perubahan intensitas pada citra. Operator Roberts bekerja dengan mendeteksi perubahan intensitas pada piksel yang berdekatan untuk memperoleh informasi mengenai batas objek. Perbandingan metode Roberts dengan operator deteksi tepi lainnya, seperti Prewitt, Robinson, dan Kirsch, menunjukkan



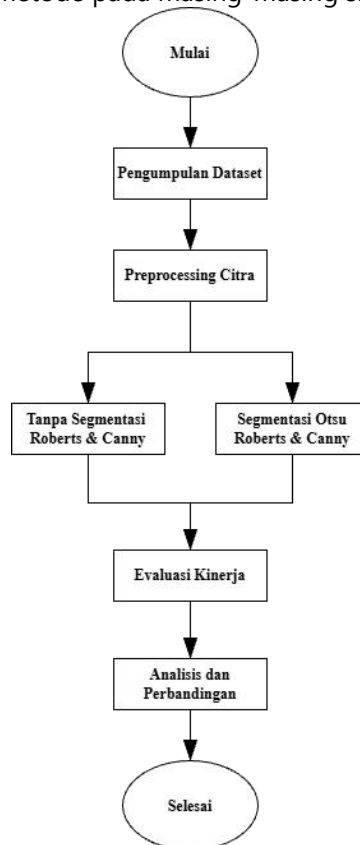
bahwa setiap operator dapat menghasilkan karakteristik deteksi tepi yang berbeda [10]. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pemilihan operator perlu mempertimbangkan karakteristik citra yang dianalisis. Pada penelitian ini, metode Roberts diterapkan pada citra *grayscale* dan citra biner hasil segmentasi Otsu untuk mengevaluasi kualitas hasil deteksi tepi dan waktu komputasinya pada kedua kondisi masukan.

1.6 Metode Canny

Metode Canny merupakan metode deteksi tepi yang menggunakan beberapa tahapan pemrosesan untuk memperoleh informasi tepi pada citra. Proses Canny meliputi penghalusan citra menggunakan Gaussian filter untuk mengurangi noise, perhitungan gradien intensitas, non-maximum suppression untuk mempertahankan respons tepi yang relevan, serta penggunaan double threshold dan hysteresis untuk menentukan piksel yang termasuk sebagai tepi [11]. Tahapan tersebut memungkinkan Canny melakukan seleksi terhadap respons gradien sebelum menghasilkan citra tepi akhir. Pada penelitian ini, metode Canny diterapkan pada citra *grayscale* dan citra biner hasil segmentasi Otsu untuk mengevaluasi kualitas hasil deteksi tepi serta waktu komputasinya pada kedua kondisi masukan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk membandingkan kinerja metode Roberts dan Canny dalam mendeteksi tepi citra buah apel. Pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB terhadap 30 citra buah apel dengan dua skenario pengujian, yaitu deteksi tepi secara langsung pada citra *grayscale* dan deteksi tepi setelah segmentasi menggunakan metode Otsu. Kinerja kedua metode dievaluasi berdasarkan kualitas hasil deteksi tepi menggunakan nilai Precision, Recall, dan F1-score serta berdasarkan waktu komputasi. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan statistik untuk mengetahui perbedaan kinerja kedua metode pada masing-masing skenario pengujian.



Gambar 1: Diagram Alir Metode Penelitian



2.1 Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari dataset *Fruits fresh and rotten for classification* yang tersedia pada platform Kaggle [12]. Penelitian ini menggunakan 30 citra buah apel dari kelas *freshapples* sebagai data pengujian. Citra yang digunakan memiliki variasi karakteristik objek, meliputi perbedaan warna buah, bentuk, keberadaan tangkai atau daun, serta variasi intensitas pada permukaan objek. Seluruh citra digunakan pada setiap skenario pengujian sehingga perbandingan metode Roberts dan Canny dilakukan terhadap kumpulan citra yang sama. Sebelum proses pengolahan citra, seluruh citra diubah ukurannya menjadi 256×256 piksel untuk menyeragamkan dimensi input pada setiap tahapan eksperimen.

2.2 Preprocessing Citra

Tahap preprocessing dilakukan untuk mempersiapkan citra sebelum proses deteksi tepi. Citra RGB terlebih dahulu diubah ukurannya menjadi 256×256 piksel, kemudian dikonversi menjadi citra grayscale. Konversi grayscale digunakan untuk memperoleh representasi intensitas yang menjadi input pada proses deteksi tepi. Penelitian ini menggunakan dua skenario pemrosesan untuk memisahkan pengaruh metode deteksi tepi dari pengaruh segmentasi Otsu. Pada skenario pertama, citra grayscale digunakan secara langsung sebagai input metode Roberts dan Canny. Pada skenario kedua, citra grayscale terlebih dahulu disegmentasi menggunakan metode Otsu untuk menghasilkan citra biner sebelum diterapkan metode Roberts dan Canny. Pemisahan kedua skenario tersebut dilakukan agar perubahan hasil deteksi dapat dianalisis berdasarkan metode deteksi tepi maupun berdasarkan penggunaan segmentasi. Dengan demikian, pengaruh Otsu tidak digabungkan secara langsung dengan pengaruh operator Roberts dan Canny.

2.3 Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan dua pipeline untuk mengetahui pengaruh segmentasi Otsu terhadap kinerja metode Roberts dan Canny. Pipeline pertama menerapkan metode Roberts dan Canny secara langsung pada citra grayscale. Pipeline kedua menerapkan segmentasi Otsu pada citra grayscale sebelum proses deteksi tepi menggunakan Roberts dan Canny. Pada pipeline kedua, nilai threshold ditentukan secara otomatis menggunakan metode Otsu untuk menghasilkan citra biner. Mask hasil segmentasi selanjutnya melalui proses penghilangan objek berukuran kecil dan pengisian area kosong pada objek sebelum digunakan sebagai masukan pada tahap deteksi tepi. Pemisahan kedua pipeline dilakukan agar kinerja Roberts dan Canny pada citra grayscale dapat dibandingkan dengan kinerjanya setelah segmentasi Otsu.

2.4 Deteksi Tepi Roberts dan Canny

Deteksi tepi dilakukan menggunakan metode Roberts dan Canny pada kedua pipeline pengujian. Pada pipeline pertama, kedua metode diterapkan pada citra grayscale, sedangkan pada pipeline kedua metode diterapkan pada citra hasil segmentasi Otsu. Implementasi dilakukan menggunakan fungsi `edge` pada MATLAB dengan metode Roberts dan Canny. Nilai threshold tidak ditentukan secara manual, melainkan menggunakan parameter bawaan pada implementasi MATLAB. Dengan demikian, diperoleh empat kondisi pengujian, yaitu Roberts-Grayscale, Canny-Grayscale, Roberts-Otsu, dan Canny-Otsu. Seluruh kondisi diterapkan terhadap 30 citra yang sama agar hasil perbandingan diperoleh dari data masukan yang konsisten.

2.5 Evaluasi Kualitas Deteksi Tepi

Evaluasi kualitas deteksi tepi dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan hasil deteksi tepi pada setiap metode terhadap *reference boundary*. *Reference boundary* diperoleh dari *reference mask* yang dibentuk secara otomatis berdasarkan pemisahan objek dan latar belakang pada ruang warna Lab. Batas objek dari *reference mask* kemudian diekstraksi untuk menghasilkan kontur referensi yang digunakan sebagai pembanding. Penggunaan referensi otomatis dilakukan secara konsisten terhadap seluruh citra, sehingga referensi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *pseudo-ground truth* dan bukan anotasi manual oleh ahli.



Perbandingan antara hasil deteksi tepi dan *reference boundary* dilakukan menggunakan toleransi spasial sebesar 2 piksel untuk mengakomodasi pergeseran kecil posisi tepi antara hasil deteksi dan kontur referensi. Kualitas hasil deteksi kemudian dihitung menggunakan tiga metrik, yaitu Precision, Recall, dan F1-score. Precision menunjukkan proporsi piksel tepi hasil deteksi yang sesuai dengan area di sekitar *reference boundary*, sedangkan Recall menunjukkan proporsi *reference boundary* yang berhasil dideteksi oleh metode. F1-score digunakan untuk menggambarkan keseimbangan antara Precision dan Recall. Nilai Precision, Recall, dan F1-score dihitung pada setiap citra untuk empat kondisi pengujian, yaitu Roberts-Grayscale, Canny-Grayscale, Roberts-Otsu, dan Canny-Otsu. Nilai F1-score digunakan sebagai indikator utama dalam membandingkan keseimbangan kualitas deteksi tepi antarmetode, sedangkan nilai Precision dan Recall digunakan untuk memberikan informasi lebih rinci mengenai karakteristik hasil deteksi.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1 - Score = 2 \times \frac{TP \times Recall}{Precision \times Recall}$$

2.6 Pengukuran Waktu Komputasi

Pengukuran waktu komputasi dilakukan untuk membandingkan efisiensi proses deteksi tepi menggunakan metode Roberts dan Canny pada masing-masing pipeline pengujian. Waktu yang diukur dibatasi pada proses eksekusi algoritma deteksi tepi menggunakan fungsi edge, sehingga waktu preprocessing, segmentasi, pembacaan citra, dan penyimpanan hasil tidak termasuk dalam pengukuran. Sebelum proses pengukuran, masing-masing metode dijalankan terlebih dahulu sebagai tahap warm-up untuk mengurangi pengaruh proses inisialisasi terhadap hasil pengukuran. Selanjutnya, proses deteksi tepi pada setiap citra diulang sebanyak 30 kali menggunakan fungsi tic dan toc pada MATLAB. Nilai median dari 30 pengulangan digunakan sebagai waktu komputasi untuk setiap citra. Prosedur yang sama diterapkan pada seluruh 30 citra dan pada empat kondisi pengujian, yaitu Roberts-Grayscale, Canny-Grayscale, Roberts-Otsu, dan Canny-Otsu. Hasil pengukuran waktu komputasi seluruh citra selanjutnya dirangkum menggunakan nilai rata-rata, standar deviasi, median, minimum, dan maksimum. Statistik tersebut digunakan untuk memberikan gambaran mengenai kecenderungan dan variasi waktu komputasi masing-masing metode.

2.7 Analisis Statistik

Analisis hasil dilakukan menggunakan statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif digunakan untuk merangkum distribusi hasil pengujian kualitas deteksi tepi dan waktu komputasi pada seluruh citra. Nilai Precision, Recall, dan F1-score disajikan dalam bentuk rata-rata dan standar deviasi, sedangkan waktu komputasi dirangkum menggunakan rata-rata, standar deviasi, median, nilai minimum, dan maksimum. Analisis inferensial dilakukan menggunakan uji Wilcoxon signed-rank sebagai uji nonparametrik untuk data berpasangan. Pada evaluasi kualitas deteksi tepi, pengujian dilakukan terhadap nilai F1-score untuk membandingkan Roberts dan Canny pada pipeline grayscale, Roberts dan Canny setelah segmentasi Otsu, serta membandingkan kondisi grayscale dan Otsu pada masing-masing metode. Uji Wilcoxon signed-rank juga digunakan untuk membandingkan waktu komputasi Roberts dan Canny pada masing-masing pipeline. Taraf signifikansi yang digunakan sebesar 0,05. Nilai $p < 0,05$ menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik antara kondisi yang dibandingkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja metode Roberts dan Canny dalam mendeteksi tepi citra buah apel pada dua kondisi masukan, yaitu citra grayscale dan citra hasil segmentasi Otsu. Pengujian

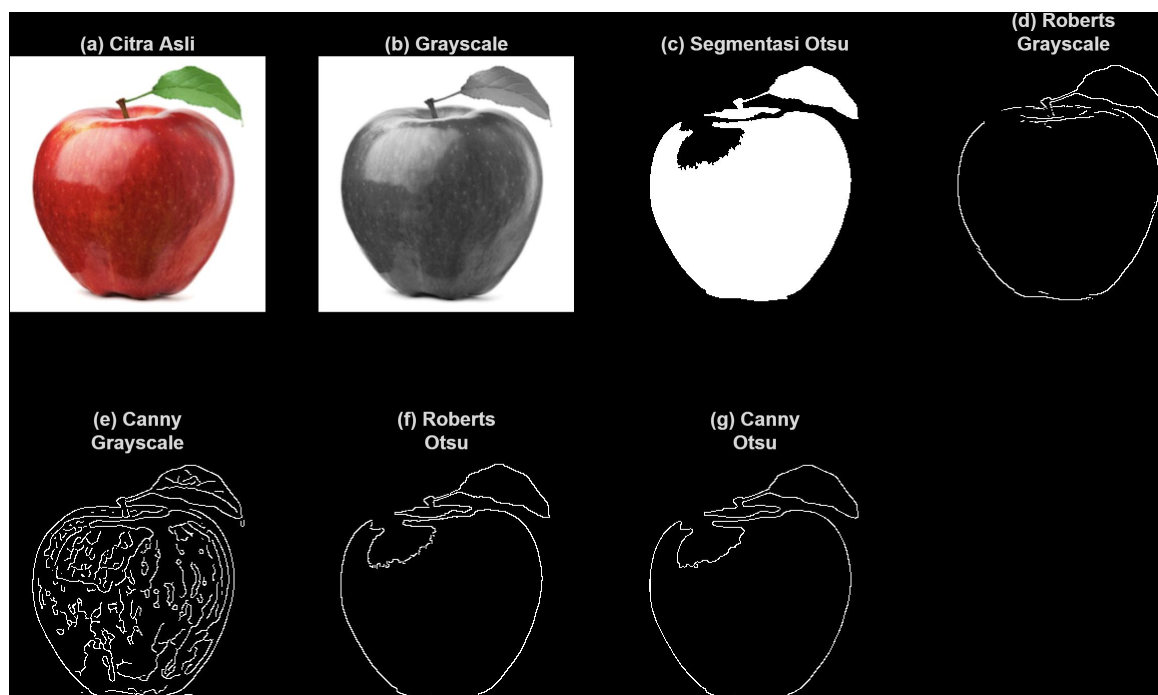
p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



dilakukan terhadap 30 citra buah apel yang telah diseragamkan menjadi ukuran 256×256 piksel. Evaluasi dilakukan berdasarkan kualitas hasil deteksi tepi menggunakan Precision, Recall, dan F1-score, waktu komputasi, serta analisis statistik.

3.1 Hasil Preprocessing dan Deteksi Tepi

Pengujian dilakukan terhadap 30 citra buah apel menggunakan dua pipeline, yaitu deteksi tepi secara langsung pada citra grayscale dan deteksi tepi setelah segmentasi Otsu. Gambar 2 menunjukkan contoh hasil preprocessing dan deteksi tepi menggunakan metode Roberts dan Canny pada kedua pipeline pengujian.



Gambar 2: Perbandingan hasil preprocessing dan deteksi tepi: citra asli, grayscale, segmentasi Otsu, Roberts pada citra grayscale, Canny pada citra grayscale, Roberts setelah segmentasi Otsu, dan Canny setelah segmentasi Otsu

Berdasarkan Gambar 2, tahap preprocessing menghasilkan citra grayscale yang merepresentasikan informasi citra dalam satu kanal intensitas. Citra grayscale selanjutnya digunakan sebagai masukan langsung pada metode Roberts dan Canny serta sebagai masukan pada proses segmentasi Otsu. Segmentasi Otsu menghasilkan citra biner yang memisahkan objek buah apel dari area latar belakang sehingga karakteristik citra masukan untuk proses deteksi tepi menjadi berbeda dibandingkan citra grayscale. Hasil deteksi tepi menunjukkan adanya perbedaan karakteristik kontur antara kedua metode dan pipeline pengujian. Pada citra grayscale, Roberts menghasilkan kontur dengan respons tepi internal yang relatif lebih terbatas, sedangkan Canny menghasilkan lebih banyak respons tepi pada bagian dalam objek. Setelah segmentasi Otsu, hasil deteksi tepi Roberts dan Canny menunjukkan pola kontur yang lebih serupa. Kondisi tersebut berkaitan dengan citra hasil segmentasi yang telah berbentuk biner sehingga variasi intensitas dan tekstur pada objek menjadi lebih terbatas sebelum proses deteksi tepi. Hasil visual pada Gambar 2 digunakan sebagai representasi karakteristik keluaran masing-masing metode dan tidak digunakan sebagai satu-satunya dasar penilaian kinerja. Evaluasi terhadap seluruh 30 citra selanjutnya dilakukan secara kuantitatif menggunakan Precision, Recall, dan F1-score untuk membandingkan kualitas hasil deteksi tepi pada masing-masing kondisi pengujian.



3.2 Evaluasi Kualitas Deteksi Tepi

TABEL I : HASIL EVALUASI KUALITAS DETEKSI TEPI PADA 30 CITRA

Metode dan Pipeline	Precision	Recall	F1-Score
Roberts-Grayscale	0,588 ± 0,129	0,752 ± 0,159	0,656 ± 0,137
Canny-Grayscale	0,181 ± 0,058	0,858 ± 0,085	0,296 ± 0,078
Roberts-Otsu	0,544 ± 0,212	0,638 ± 0,193	0,584 ± 0,199
Canny-Otsu	0,549 ± 0,210	0,635 ± 0,193	0,585 ± 0,198

Berdasarkan Tabel 1, nilai disajikan dalam bentuk rata-rata ± standar deviasi dari 30 citra. Roberts-Grayscale menghasilkan rata-rata Precision sebesar 0,588 ± 0,129, Recall sebesar 0,752 ± 0,159, dan F1-score sebesar 0,656 ± 0,137. Canny-Grayscale menghasilkan Recall yang lebih tinggi, yaitu 0,858 ± 0,085, tetapi memiliki Precision sebesar 0,181 ± 0,058 dan F1-score sebesar 0,296 ± 0,078. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Canny-Grayscale mampu mendeteksi sebagian besar piksel pada *reference boundary*, tetapi juga menghasilkan lebih banyak piksel tepi yang berada di luar toleransi terhadap kontur referensi. Roberts-Grayscale menghasilkan keseimbangan Precision dan Recall yang lebih tinggi sebagaimana ditunjukkan oleh nilai F1-score.

Pada pipeline dengan segmentasi Otsu, nilai evaluasi kedua metode menjadi lebih berdekatan. Roberts-Otsu menghasilkan Precision sebesar 0,544 ± 0,212, Recall sebesar 0,638 ± 0,193, dan F1-score sebesar 0,584 ± 0,199. Canny-Otsu menghasilkan Precision sebesar 0,549 ± 0,210, Recall sebesar 0,635 ± 0,193, dan F1-score sebesar 0,585 ± 0,198. Selisih rata-rata F1-score antara Roberts-Otsu dan Canny-Otsu hanya sebesar 0,001. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik kedua metode yang terlihat lebih besar pada pipeline grayscale menjadi jauh lebih kecil setelah segmentasi Otsu.

3.3 Analisis Waktu Komputasi

TABEL II : WAKTU KOMPUTASI DETEKSI TEPI PADA 30 CITRA

Metode dan Pipeline	Mean ± SD (detik)	Median (detik)	Min-Maks (detik)
Roberts-Grayscale	0,000454 ± 0,000051	0,000457	0,000364–0,000612
Canny-Grayscale	0,002607 ± 0,000301	0,002576	0,002282–0,003556
Roberts-Otsu	0,000458 ± 0,000045	0,000457	0,000364–0,000574
Canny-Otsu	0,002306 ± 0,000253	0,002275	0,001951–0,002985

Hasil pengukuran pada Tabel 2 menunjukkan bahwa Roberts membutuhkan waktu komputasi deteksi tepi yang lebih rendah dibandingkan Canny pada kedua pipeline. Pada pipeline grayscale, Roberts memiliki rata-rata waktu komputasi sebesar 0,000454 ± 0,000051 detik, sedangkan Canny sebesar 0,002607 ±



0,000301 detik. Dengan demikian, rata-rata waktu komputasi Canny pada pipeline grayscale sekitar 5,74 kali waktu yang dibutuhkan Roberts. Pola yang sama diperoleh setelah segmentasi Otsu. Roberts-Otsu menghasilkan rata-rata waktu komputasi sebesar $0,000458 \pm 0,000045$ detik, sedangkan Canny-Otsu sebesar $0,002306 \pm 0,000253$ detik. Rata-rata waktu komputasi Canny pada kondisi tersebut sekitar 5,04 kali waktu Roberts. Uji Wilcoxon signed-rank menunjukkan perbedaan waktu komputasi Roberts dan Canny yang signifikan pada pipeline grayscale maupun Otsu ($p < 0,001$).

3.4 Analisis Statistik

TABEL III : HASIL UJI WILCOXON SIGNED-RANK TERHADAP F1-SCORE

Perbandingan	P-Value	Hasil
Roberts vs Canny pada Grayscale	$< 0,001$	Signifikan
Roberts vs Canny pada Otsu	0,704	Tidak Signifikan
Roberts-Grayscale vs Roberts-Otsu	0,011	Signifikan
Canny-Grayscale vs Canny-Otsu	$< 0,001$	Signifikan

Hasil uji Wilcoxon signed-rank pada Tabel 3 menunjukkan adanya perbedaan F1-score yang signifikan antara Roberts dan Canny ketika diterapkan langsung pada citra grayscale ($p < 0,001$). Sebaliknya, setelah segmentasi Otsu, perbedaan F1-score antara Roberts dan Canny tidak signifikan ($p = 0,704$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan kinerja kedua metode dipengaruhi oleh kondisi citra masukan yang digunakan. Pengaruh segmentasi Otsu juga terlihat ketika masing-masing metode dibandingkan antar-pipeline. Pada Roberts, rata-rata F1-score berubah dari 0,656 pada citra grayscale menjadi 0,584 setelah segmentasi Otsu dan perbedaannya signifikan ($p = 0,011$). Pada Canny, rata-rata F1-score berubah dari 0,296 menjadi 0,585 setelah segmentasi Otsu dengan perbedaan yang signifikan ($p < 0,001$). Peningkatan F1-score Canny setelah segmentasi Otsu terutama disertai peningkatan Precision dari 0,181 menjadi 0,549, sementara Recall berubah dari 0,858 menjadi 0,635.

3.5 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja Roberts dan Canny dipengaruhi oleh kondisi citra masukan. Pada citra grayscale, Roberts menghasilkan Precision sebesar 0,588, Recall sebesar 0,752, dan F1-score sebesar 0,656, sedangkan Canny menghasilkan Precision sebesar 0,181, Recall sebesar 0,858, dan F1-score sebesar 0,296. Canny memiliki Recall lebih tinggi, tetapi Precision yang rendah menunjukkan lebih banyak respons tepi di luar batas referensi. Sebaliknya, Roberts menghasilkan keseimbangan Precision dan Recall yang lebih baik. Perbedaan F1-score kedua metode pada citra grayscale signifikan dengan nilai $p < 0,001$. Hasil visual juga menunjukkan bahwa Canny menghasilkan lebih banyak respons tepi pada bagian internal objek, sedangkan Roberts menghasilkan respons internal yang relatif lebih terbatas.

Setelah segmentasi Otsu, kinerja kedua metode menjadi lebih serupa. Roberts menghasilkan Precision sebesar 0,544, Recall sebesar 0,638, dan F1-score sebesar 0,584, sedangkan Canny menghasilkan Precision sebesar 0,549, Recall sebesar 0,635, dan F1-score sebesar 0,585. Perbedaan F1-score keduanya tidak signifikan ($p = 0,704$), yang menunjukkan bahwa perubahan citra menjadi biner mengurangi perbedaan respons antara kedua metode. Pengaruh Otsu berbeda pada masing-masing metode, ditunjukkan oleh perubahan F1-score Roberts dari 0,656 menjadi 0,584 ($p = 0,011$) dan Canny dari 0,296 menjadi 0,585 ($p < 0,001$). Dari sisi waktu komputasi, Roberts membutuhkan rata-rata 0,000454 detik pada grayscale dan 0,000458 detik setelah Otsu, sedangkan Canny membutuhkan 0,002607 detik dan 0,002306 detik. Perbedaan



waktu kedua metode signifikan ($p < 0,001$), dengan operasi Canny sekitar 5,74 kali dan 5,04 kali lebih lama dibandingkan Roberts pada masing-masing kondisi masukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan kinerja Roberts dan Canny tidak hanya ditentukan oleh metode deteksi tepi yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi citra masukan. Pada citra grayscale yang diuji, Roberts menghasilkan F1-score lebih tinggi dengan waktu komputasi lebih rendah, sedangkan setelah segmentasi Otsu kualitas hasil Roberts dan Canny berdasarkan F1-score menjadi relatif setara. Temuan tersebut menunjukkan bahwa tahap preprocessing perlu dipertimbangkan bersama dengan pemilihan operator ketika mengevaluasi kinerja deteksi tepi. Penelitian ini masih terbatas pada 30 citra buah apel dan menggunakan pseudo-ground truth yang dibentuk secara otomatis dengan toleransi batas dua piksel sehingga masih memungkinkan adanya ketidaktepatan terhadap kontur objek sebenarnya. Pengujian juga belum mencakup variasi noise yang dikontrol maupun waktu pemrosesan sistem secara end-to-end. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan anotasi batas secara manual, dataset yang lebih besar dan beragam, variasi noise, serta pengukuran keseluruhan waktu pemrosesan untuk memperoleh evaluasi yang lebih komprehensif.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 30 citra buah apel, kinerja metode Roberts dan Canny dipengaruhi oleh kondisi citra masukan. Pada citra grayscale, Roberts menghasilkan F1-score sebesar 0,656, lebih tinggi dibandingkan Canny sebesar 0,296, dengan perbedaan yang signifikan ($p < 0,001$). Setelah segmentasi Otsu, F1-score Roberts sebesar 0,584 dan Canny sebesar 0,585 serta tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p = 0,704$). Segmentasi Otsu memberikan pengaruh yang berbeda terhadap masing-masing metode, ditunjukkan oleh perubahan F1-score Roberts yang signifikan ($p = 0,011$) dan Canny ($p < 0,001$). Dari sisi waktu komputasi, Roberts membutuhkan waktu lebih rendah dibandingkan Canny pada kedua kondisi masukan dengan perbedaan yang signifikan ($p < 0,001$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa evaluasi metode deteksi tepi perlu mempertimbangkan kondisi citra masukan karena tahap preprocessing dapat memengaruhi kualitas hasil masing-masing operator. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan anotasi batas objek secara manual, dataset yang lebih besar dan beragam, serta pengujian pada variasi noise dan keseluruhan waktu pemrosesan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Estining, T. Lufianawati, S. Nurfa, and R. Fahrizal, "DETEKSI TINGKAT KEMATANGAN BUAH MELINJO MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA SELF ORGANIZING MAP," *Transm. J. Ilm. Tek. ELEKTRO*, vol. 2, no. April, pp. 70–76, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.2.70-76.
- [2] A. S. A. Wulandari, Sasmita, Musda Rida Mulia, Andi Baso Kaswar, Dyah Darma Andayani, "KLASIFIKASI KANDUNGAN NUTRISI BUAH PISANG BERDASARKAN FITUR TEKSTUR DAN WARNA LAB MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 3, pp. 507–518, 2024, doi: 10.25126/jtiik.938332.
- [3] K. Panggalih, W. Kurniawan, and W. Gata, "Implementasi Perbandingan Deteksi Tepi Pada Citra Digital Menggunakan Metode Robertst , Sobel , Prewitt dan Canny Pendahuluan terlebih dahulu , sehingga pemrosesan citra (Image Processing) menjadi teknologi untuk menyelesaikan masalah dalam proses pengol," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 337–347, 2022.
- [4] R. S. Nurul Adhayanti, Andika Muhamad, "PERBANDINGAN DETEKSI TEPI (EDGE DETECTION) CITRA DIGITAL DENGAN MENGGUNAKAN GUI MATLAB," *ICIT J.*, vol. 10, no. 1, pp. 98–112, 2024.
- [5] O. V. S. Teuku Radillah, "COMPARATIVE ANALYSIS OF CANNY , SOBEL , PREWITT AND ROBERTS," *JITK (JURNAL ILMU Pengetah. DAN Teknol. KOMPUTER)*, vol. 10, no. 1, pp. 83–90, 2024, doi: 10.33480/jitk.v10i1.5062.COMPARATIVE.
- [6] A. T. Laksono and P. W. Rusmamto, "Pengolahan Citra Digital Buah Murbei Dengan Algoritma LDA (Linear Discriminant Analysis)," *Indones. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 71–78, 2022.
- [7] D. O. ALVIRA, "Klasifikasi lapisan lilin pada buah apel menggunakan pengolahan citra digital dengan metode convolutional neural network skripsi," 2023.
- [8] M. S. R. Diana, Windri Dwi Novanni, Liana Sukma, Rahmatin Nufus, "PERBANDINGAN HASIL DETEKSI TEPI ANTARA CITRA BERWARNA DAN GRAYSCALE DENGAN OPERATOR SOBEL," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 9, no. 4, pp. 7264–7269, 2025.
- [9] R. Y. K. Budiman Baso, Darsono Nababan, Risald, "Segmentasi Citra Tenun Menggunakan Metode Otsu Thresholding dengan Median Filter," *JUTIKOMP (JURNAL Teknol. DAN ILMU Komput. PRIMA)*, vol. 5, no. April, pp. 1–6, 2022.
- [10] M. P. Nissa Almira Mayangky, Nita Merlina, Arfhan Prasetyo, Dea Amelia, Marcella Irsictia, "ANALYZING THE COMPARATIVE

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



METHODS OF PREWITT , ROBINSON , KRISCH AND ROBERTS IN DETECTING THE EDGES OF RICE LEAVES," *Techno Nusa Mandiri J. Comput. Inf. Technol.*, vol. 21, no. 1, pp. 37–43, 2024.

- [11] D. P. A. Damar Wicaksono and L. M. Irfan Mikola Muldiyanto Putra, "Analisis Perbandingan Metode Pra Pemrosesan Citra untuk Deteksi Tepi Canny pada Citra Berbagai Kondisi Jalan menggunakan Bahasa Pemrograman Python," *J. Teknol. dan Ilmu Komput. Prima*, vol. 7, no. 1, pp. 17–31, 2024.
- [12] Sriram R., "Fruits Fresh and Rotten for Classification," *Kaggle*. [Online]. Available: [Kaggle Dataset](#). [Accessed: 30-Sep-2026].

