

IDENTIFIKASI MORFOLOGI CITRA DAGING MENGGUNAKAN TEKNIK PENGOLAHAN CITRA DIGITAL

Taopik Hidayat

Sains Data, Universitas Nusa Mandiri
Jalan Raya Jatiwaringin No. 2, Jakarta Timur
taopik.toi@nusamandiri.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pengolahan citra menjadi tren yang menarik perhatian untuk diterapkan dalam berbagai bidang, terutama dalam analisis dan identifikasi objek citra. Salah satu pendekatannya adalah morfologi, yang digunakan untuk memodifikasi struktur objek guna meningkatkan keakuratan analisis. Namun, dampak operasi morfologi seperti erosi dan dilatasi terhadap kualitas citra dalam deteksi objek perlu diteliti lebih lanjut untuk mengoptimalkan penggunaannya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh operasi morfologi erosi dan dilatasi pada citra biner menggunakan tiga metrik evaluasi, yaitu MSE, PSNR, dan SSIM. Data terdiri dari 10 citra dalam dua kelas, yang terdiri dari kelas citra daging sapi dan citra daging babi. Metode penelitian mencakup pengumpulan data citra, konversi ke grayscale dan biner, serta penerapan operasi morfologi. Hasil menunjukkan citra biner mempertahankan lebih banyak informasi dibandingkan citra hasil erosi dan dilatasi. Pada kelas daging babi, citra biner memiliki PSNR 27.82 dB, MSE 107.52, dan SSIM 0.31, lebih tinggi dibandingkan erosi (PSNR 27.79 dB, MSE 108.11, SSIM 0.21) dan dilatasi (PSNR 27.79 dB, MSE 108.18, SSIM 0.32), begitu pula pada kelas daging sapi menunjukkan hasil serupa, di mana citra biner memiliki PSNR 27.54 dB, MSE 114.63, dan SSIM 0.42. Penelitian ini menyimpulkan bahwa citra biner lebih unggul karena mempertahankan lebih banyak informasi penting.

Kata kunci : Analisis Citra; Citra Biner; Morfologi; Pengolahan Citra.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang pengolahan citra saat ini menarik perhatian banyak orang untuk dieksplorasi lebih dalam. Dengan kemajuan ini, pengolahan citra telah menjadi pengetahuan yang dapat dipahami dan diterapkan dalam kehidupan sehari-hari [1]. Kreativitas dalam mengidentifikasi objek juga sangat terkait dengan pengolahan citra digital, yang memungkinkan individu untuk melakukan analisis citra yang lebih baik terhadap berbagai fenomena di sekitar mereka. Dengan begitu, teknologi ini tidak hanya memberikan solusi praktis tetapi juga mendorong pemahaman yang lebih dalam tentang dunia visual [2].

Citra digital merupakan representasi dua dimensi dari objek visual, mencakup berbagai disiplin ilmu seperti seni, penglihatan manusia, astronomi, dan teknik. Citra ini terdiri dari sekumpulan piksel atau titik berwarna yang membentuk gambar [3]. Oleh karena itu, citra memegang peranan penting dalam memahami dan menggambarkan berbagai fenomena, yang pada gilirannya dapat mendukung analisis dan pengambilan keputusan di berbagai bidang, termasuk sains dan teknologi [4].

Pengolahan citra digital merupakan teknik yang digunakan untuk meningkatkan kualitas citra, sehingga lebih mudah dipahami dan diinterpretasikan, baik oleh manusia maupun mesin [5]. Proses ini menghasilkan citra dalam bentuk gambar statis maupun gambar bergerak, yang memungkinkan aplikasi luas dalam berbagai bidang, mulai dari analisis data citra hingga pengenalan objek dan teknologi multimedia. Dengan kemampuan ini, pengolahan citra digital membuka banyak

kemungkinan untuk inovasi dan efisiensi, memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kualitas dan kecepatan pengolahan informasi citra [6].

Salah satu pendekatan dalam pengolahan citra adalah morfologi, yang merupakan serangkaian operasi pemrosesan gambar berdasarkan bentuk [7]. Operasi morfologi ini menerapkan elemen penataan pada gambar masukan, menghasilkan gambar keluaran dengan ukuran yang sama [8]. Untuk menerapkan operasi morfologi juga dapat menggunakan metrik seperti Mean Squared Error (MSE), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), dan Structural Similarity Index (SSIM) [9][10],[11]. Metrik ini berperan penting dalam meningkatkan efektivitas deteksi melalui teknik citra biner, erosi, dan dilatasi [12].

Citra biner yang dihasilkan dari proses thresholding mempermudah pengenalan objek dalam gambar dengan mengonversi nilai intensitas piksel menjadi dua kategori: hitam dan putih [13]. Erosi dan dilatasi adalah dua operasi morfologi fundamental yang digunakan untuk memodifikasi struktur objek dalam citra biner. Erosi mengurangi ukuran objek dengan menghapus piksel tepi, sementara dilatasi meningkatkan ukuran objek dengan menambahkan piksel di tepi objek [14]. Terdapat tumpang tindih antara morfologi dan segmentasi gambar, di mana morfologi dapat digunakan untuk pra-proses data masukan segmentasi gambar atau sebagai pasca-proses untuk keluaran tahap segmentasi [15], [16].

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis morfologi citra dengan menggunakan metrik evaluasi seperti MSE, PSNR, dan SSIM pada citra biner, serta menerapkan teknik erosi dan dilatasi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menyempurnakan

atau memodifikasi bentuk objek dalam gambar, sehingga dapat membantu meningkatkan kualitas penelitian identifikasi citra. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh hasil yang lebih akurat dan andal dalam analisis citra, khususnya dalam konteks pengolahan citra.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini mengikuti kerangka yang telah ditetapkan untuk memberikan gambaran sistematis tentang langkah-langkah yang dilakukan sepanjang proses penelitian.



Gambar 1. Kerangka Metode Penelitian

Berdasarkan pada Gambar 1, penelitian ini mencakup tiga langkah utama yang dilakukan dalam proses penelitian yang terdiri dari

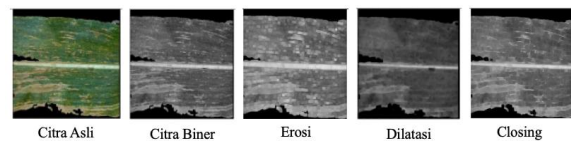
2.1. Pengumpulan Data Citra

Pengumpulan data citra adalah proses pengumpulan berbagai jenis citra untuk digunakan dalam berbagai konteks. Langkah ini dapat mencakup pengumpulan citra untuk pelatihan model machine learning, penelitian citra, analisis data, atau tujuan lainnya. Proses ini melibatkan pengumpulan, seleksi, dan pengaturan citra-citra tersebut agar sesuai dengan kebutuhan proyek atau tujuan tertentu [17].

2.2. Pengolahan Citra

Pengolahan citra digital adalah proses mengolah data gambar digital untuk mengekstrak informasi citra dan meningkatkan kualitas citra, sehingga informasi tertentu bisa diperoleh dengan lebih jelas [18]. Pada dasarnya, pengolahan citra digital melibatkan representasi gambar dalam bentuk matriks yang terdiri dari piksel, dan pengolahan dilakukan melalui berbagai teknik berdasarkan nilai piksel tersebut [19]. Teknik-teknik ini meliputi segmentasi untuk memisahkan objek dari latar belakang, operasi morfologi untuk memperbaiki hasil segmentasi, serta ekstraksi fitur guna memperoleh karakteristik objek yang berguna bagi analisis lebih lanjut, misalnya dalam bidang peternakan untuk membantu deteksi atau klasifikasi [20].

Operasi morfologi adalah serangkaian proses matematika yang diterapkan pada gambar untuk mengubah struktur objek yang ada di dalamnya. Operasi ini umumnya menggunakan elemen struktural, seperti kernel atau mask, untuk memodifikasi bentuk, ukuran, atau posisi objek pada citra. Dua operasi dasar dalam morfologi adalah dilatasi (dilation) dan erosi (erosion), yang bisa diterapkan secara bersamaan atau bertahap. Kombinasi keduanya menghasilkan operasi opening dan closing (Gambar 3) [21], yang berfungsi untuk membersihkan dan memperbaiki hasil segmentasi pada gambar, sehingga hanya objek-objek penting yang tetap terlihat dengan fitur-fitur yang dipertahankan [22].



Gambar 2. Citra dengan Penerapan Operasi Morfologi

2.3. Evaluasi Citra

Evaluasi citra morfologi menggunakan metrik Mean Squared Error (MSE), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), dan Structural Similarity Index (SSIM) adalah proses penting untuk menilai kualitas hasil pengolahan citra dalam mempertahankan informasi penting pada objek yang ada dalam citra [23].

a. Mean Squared Error (MSE)

MSE mengukur rata-rata kuadrat selisih antara nilai piksel pada citra asli dan citra yang diproses. Nilai MSE yang rendah menunjukkan bahwa citra hasil proses morfologi sangat mirip dengan citra asli [24].

b. Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

PSNR menggunakan nilai MSE untuk mengukur kualitas citra dalam satuan desibel (dB). Nilai PSNR yang lebih tinggi menunjukkan kualitas citra yang lebih baik karena noise atau kerusakan citra sangat kecil.

c. Structural Similarity Index (SSIM)

SSIM mengukur kemiripan struktural antara dua gambar, yang lebih sesuai untuk menilai perubahan citra yang signifikan dalam struktur gambar dibandingkan dengan MSE atau PSNR.

Tabel 1. Tinjauan Komparatif Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian 1 [23]	Penelitian 2 [25]	Penelitian yang Dilakukan
Fokus utama	Evaluasi kualitas gambar dalam pengenalan objek berbasis gambar.	Klasifikasi kualitas daun jagung untuk meningkatkan produktivitas fotosintesis.	Analisis pengaruh operasi morfologi erosi dan dilatasi pada citra biner untuk identifikasi objek.
Metrik/ Metode	Metrik: MSE, PSNR, SSIM, FSIM.	Metode: Morfologi gradien (akuisisi citra, ekstraksi warna, segmentasi dengan dilatasi, erosi, dan closing).	Metode: Pengolahan citra (konversi ke grayscale dan biner), operasi morfologi erosi dan dilatasi; metrik: MSE, PSNR, SSIM.

Aspek	Penelitian 1 [23]	Penelitian 2 [25]	Penelitian yang Dilakukan
Data yang digunakan	Gambar Lena, Barbara, Cameraman tolok ukur untuk evaluasi.	Gambar daun jagung dengan segmentasi untuk menentukan kesehatan.	10 citra, dibagi menjadi dua kelas: daging sapi dan babi.
Temuan utama	SSIM dan FSIM lebih baik dalam penilaian berbasis persepsi. MSE dan PSNR hanya memberikan kesalahan absolut.	Kualitas daun penting untuk fotosintesis. Segmentasi membantu menentukan kesehatan daun berdasarkan nilai keabuan.	Citra biner lebih baik dalam mempertahankan detail dibandingkan citra hasil erosi dan dilatasi. Erosi cenderung mengurangi kualitas dan detail struktur objek.
Penerapan pengolahan citra	Fokus pada pengenalan objek dan kualitas citra.	Berhubungan dengan pertanian dan klasifikasi kesehatan daun.	Fokus pada identifikasi objek dalam pengolahan citra.
Pendekatan	Berbasis matematis dengan evaluasi metrik kualitas.	Berbasis visual melalui pemrosesan citra untuk analisis kesehatan daun.	Berbasis teknis dengan menggunakan operasi morfologi untuk meningkatkan keakuratan analisis citra.

Penelitian ini memiliki beberapa unsur kebaruan yang membedakannya dari studi-studi sebelumnya dalam bidang klasifikasi citra daging, antara lain:

- Penelitian ini menggunakan dataset yang terdiri dari citra daging sapi dan daging babi dengan resolusi tinggi (720x720 piksel) [4]. Fokus pada dua kelas ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam, terutama dalam identifikasi jenis daging yang sering terjadi di pasar dan restoran.
- Penelitian ini menerapkan teknik pengolahan citra morfologi dengan cara yang lebih sistematis, termasuk kombinasi operasi dilatasi dan erosi, untuk meningkatkan kualitas citra sebelum analisis lebih lanjut. Penggunaan operasi morfologi dalam klasifikasi daging adalah pendekatan yang kurang umum dalam literatur yang ada.
- Penelitian ini menggabungkan teknik ekstraksi fitur yang mendalam, seperti analisis tekstur dan warna, dengan algoritma *machine learning* modern untuk klasifikasi citra. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi klasifikasi dibandingkan dengan metode konvensional.
- Dengan menggabungkan MSE, PSNR, dan SSIM, penelitian ini menawarkan pendekatan evaluasi yang lebih menyeluruh untuk menilai kualitas citra yang diproses. Pendekatan ini memastikan bahwa berbagai aspek kualitas citra dievaluasi, memberikan gambaran yang lebih jelas tentang efektivitas teknik pengolahan yang diterapkan.

3. METODE PENELITIAN

Berikut ini adalah metode penelitian yang dilakukan

3.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen, di mana data citra daging akan dikumpulkan, diolah, dan dievaluasi untuk tujuan klasifikasi.

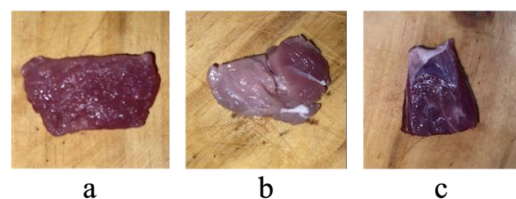
3.2. Langkah-Langkah Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, Langkah-langkah penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

a. Pengumpulan Data Citra

• Sumber Data Citra

Dataset yang digunakan terdiri dari 30 citra berdimensi 720x720 piksel, yang mencakup tiga kelas citra: daging sapi, daging babi, dan daging kambing. Data ini diambil dari penelitian sebelumnya yang relevan (Gambar 3) [4].



Gambar 3. Citra daging sapi (a). citra daging sapi, (b). citra daging babi, dan (c). citra daging kambing

• Seleksi Kelas Citra

Untuk fokus penelitian, hanya dua kelas yang akan digunakan, yaitu citra daging sapi dan citra daging babi.

b. Pengolahan Citra

• Preprocessing

Melakukan preprocessing citra mencakup penyesuaian kontras dan brightness, serta pengurangan noise untuk meningkatkan kualitas citra

• Segmentasi

Menggunakan teknik segmentasi untuk memisahkan objek (daging) dari latar belakang dengan metode seperti thresholding.

• Operasi Morfologi

Menerapkan operasi morfologi seperti dilatasi dan erosi untuk meningkatkan kualitas citra dan mempersiapkannya untuk analisis lebih lanjut.

• Ekstraksi Fitur

Menggunakan teknik ekstraksi fitur untuk mendapatkan karakteristik penting dari citra,

seperti warna, tekstur, dan bentuk, yang akan digunakan dalam proses identifikasi.

c. Evaluasi Citra

- **Metrik Evaluasi**

Dalam konteks morfologi, MSE membantu mengevaluasi seberapa banyak perubahan yang terjadi pada gambar yang diproses, terutama dalam hal akurasi detail morfologis seperti kontur dan tepi objek [26]. Sementara itu, PSNR memastikan bahwa hasil operasi morfologi seperti dilatasi, erosi, opening, atau closing menghasilkan gambar yang jernih dan mendekati citra asli, terutama untuk gambar medis atau citra dengan detail halus [27]. Di sisi lain, SSIM sangat berguna untuk mengevaluasi hasil morfologi, karena fokusnya pada perbedaan luminans, kontras, dan struktur, memastikan bahwa fitur-fitur penting pada objek, seperti bentuk dan kontur, tetap dipertahankan [28]. Nilai SSIM berkisar antara 0 dan 1, di mana nilai 1 menunjukkan bahwa gambar yang diproses sangat mirip dengan gambar asli dalam hal struktur dan tekstur [29].

- **Analisis Hasil**

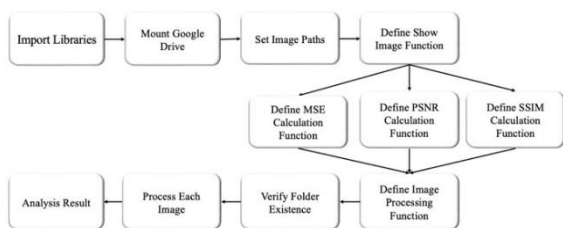
Hasil evaluasi akan dianalisis untuk menentukan kualitas pengolahan citra dan efektivitas metode yang diterapkan.

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan laptop dengan spesifikasi memadai. Selain itu, Google Colab digunakan untuk pengolahan citra.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses penelitian yang dilakukan untuk menganalisa morfologi citra dengan menggunakan MSE, PSNR dan SSIM ditunjukkan oleh Gambar 4.

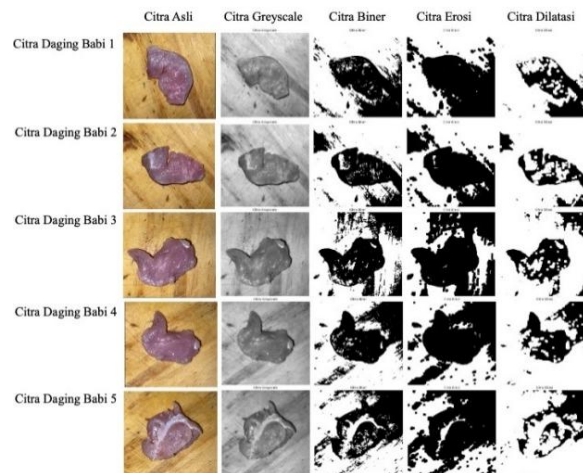


Gambar 4. Kerangka Proses Penelitian

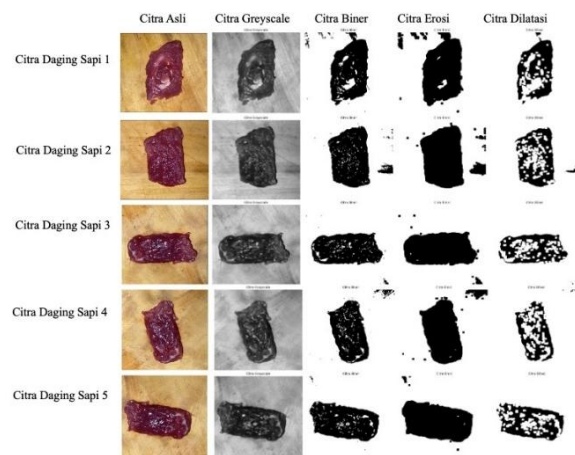
Langkah pertama mengimpor beberapa pustaka yang digunakan untuk pengolahan citra. Penelitian ini dijalankan pada Google Colab dan dataset citra disimpan pada Google Drive yang dikelompokkan ke dalam dua kelas citra, yaitu citra daging babi dan daging sapi yang dapat dilihat pada Gambar 5. Kemudian, citra diubah menjadi citra grayscale dan kemudian diubah menjadi gambar biner dengan menggunakan teknik thresholding Otsu (Gambar 6 dan Gambar 7).



Gambar 5. Citra Asli Daging Babi dan Citra Asli Daging Sapi



Gambar 6. Hasil Pengolahan Citra Daging Babi



Gambar 7. Hasil Pengolahan Citra Daging Sapi

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan hasil operasi morfologi pada citra daging babi dan daging sapi, yaitu erosi dan dilatasi yang dimaksudkan untuk memperbaiki bentuk citra tersebut. Proses ini dilakukan mengambil lima citra pertama dari masing-masing kelas pada dataset sehingga menghasilkan 10 data citra yang akan dianalisa. Setiap citra yang diproses akan menghasilkan metrik yang dihitung, yaitu MSE, PSNR, dan SSIM. Hasil metrik ini memberikan informasi tentang kualitas gambar biner, gambar setelah erosi, dan gambar setelah dilatasi, sehingga selanjutnya dapat dilakukan evaluasi hasil pemrosesan citra.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Metrik Evaluasi Citra Daging Babi

Kelas Citra	Sampel	Jenis Citra	MSE	PSNR (dB)	SSIM
Citra Daging Babi	1	Citra Biner	107.52	27.82	0.31
		Citra Erosi	108.11	27.79	0.21
		Citra Dilatasi	108.18	27.79	0.32
	2	Citra Biner	103.99	27.96	0.28
		Citra Erosi	104.44	27.94	0.19
		Citra Dilatasi	104.57	27.94	0.31
	3	Citra Biner	102.59	28.02	0.25
		Citra Erosi	103.69	27.97	0.15
		Citra Dilatasi	104.24	27.95	0.29
	4	Citra Biner	102.29	28.03	0.27
		Citra Erosi	102.67	28.02	0.18
		Citra Dilatasi	102.99	28.00	0.28
	5	Citra Biner	102.97	28.00	0.25
		Citra Erosi	102.97	28.00	0.14
		Citra Dilatasi	103.26	27.99	0.28

Berdasarkan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa untuk kelas citra daging babi berdasarkan lima sampel gambar telah diproses dihasilkan metrik evaluasi yang mencakup MSE, PSNR, dan SSIM. Pada citra pertama, hasil metrik menunjukkan bahwa citra biner memiliki nilai PSNR sebesar 27.82 dB dengan MSE 107.52 dan SSIM 0.31, yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan citra hasil erosi dan dilatasi. Citra erosi mencatat MSE 108.11, PSNR 27.79 dB, dan SSIM 0.21, sementara citra dilatasi memiliki MSE 108.18, PSNR 27.79 dB, dan SSIM 0.32. Dari ketiga jenis citra, citra biner menunjukkan hasil yang paling dekat dengan citra asli, terlihat dari PSNR yang lebih tinggi dan SSIM yang relatif lebih baik. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam proses pemrosesan gambar, citra biner mempertahankan lebih banyak informasi Citra penting dibandingkan citra hasil erosi maupun dilatasi.

Pada Citra 2 hingga Citra 5, terlihat tren konsisten di mana citra biner umumnya memiliki nilai PSNR yang lebih baik dan SSIM yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang mengalami proses erosi dan dilatasi. Sebagai contoh, pada Citra 5, meskipun perbedaan MSE dan PSNR citra biner dengan citra lain tidak terlalu signifikan, SSIM menunjukkan perbedaan yang mencolok, terutama dengan nilai terendah pada citra hasil erosi yang hanya mencapai 0.14. Hal ini menandakan bahwa erosi cenderung mengurangi

kualitas citra dan detail dari citra asli lebih banyak dibandingkan binarisasi.

Secara keseluruhan, hasil metrik untuk kelas citra daging babi menunjukkan bahwa citra biner mempertahankan kualitas gambar dengan lebih baik dibandingkan dengan hasil erosi dan dilatasi. Dengan MSE yang lebih rendah dan PSNR yang lebih tinggi, proses binarisasi terbukti lebih efektif dalam menjaga detail citra. Hal ini membuat citra biner menjadi pilihan yang lebih optimal ketika mempertimbangkan kualitas gambar yang mendekati citra asli, sementara erosi dan dilatasi, meskipun dapat memperbaiki beberapa aspek, mengurangi detail signifikan pada citra.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Metrik Evaluasi Citra Daging Sapi

Kelas Citra	Sampel	Jenis Citra	MSE	PSNR (dB)	SSIM
Citra Daging Sapi	1	Citra Biner	114.63	27.54	0.42
		Citra Erosi	114.49	27.54	0.34
		Citra Dilatasi	114.42	27.55	0.38
	2	Citra Biner	109.85	27.72	0.43
		Citra Erosi	109.90	27.72	0.35
		Citra Dilatasi	109.65	27.73	0.40
	3	Citra Biner	112.42	27.62	0.46
		Citra Erosi	112.54	27.62	0.38
		Citra Dilatasi	112.84	27.61	0.42
	4	Citra Biner	113.07	27.60	0.45
		Citra Erosi	112.93	27.60	0.37
		Citra Dilatasi	112.93	27.60	0.42
	5	Citra Biner	116.06	27.48	0.46
		Citra Erosi	116.19	27.48	0.38
		Citra Dilatasi	115.85	27.49	0.41

Berdasarkan Tabel 2, pemrosesan dilakukan pada lima sampel dari kelas citra daging sapi menghasilkan Citra 1 menunjukkan hasil metrik sebagai berikut: citra biner memiliki MSE 114.63, PSNR 27.54 dB, dan SSIM 0.42, sementara citra hasil erosi dan dilatasi masing-masing memiliki MSE yang sedikit berbeda, yaitu 114.49 dan 114.42, dengan PSNR sekitar 27.54–27.55 dB. Metrik ini memperlihatkan bahwa citra biner memiliki kualitas yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan citra hasil erosi dan dilatasi, terutama dalam hal PSNR dan SSIM yang lebih tinggi.

Sampai pada citra 2 hingga citra 5, pola yang sama berlanjut, di mana citra biner terus menunjukkan kinerja unggul dalam metrik PSNR dan SSIM dibandingkan dengan citra yang telah mengalami proses erosi dan dilatasi. Pada Citra 5, misalnya,

meskipun nilai MSE sedikit lebih tinggi dibandingkan citra erosi dan dilatasi, citra biner tetap mempertahankan PSNR dan SSIM yang lebih baik. Hal ini mengindikasikan bahwa detail dan kualitas gambar cenderung lebih baik dipertahankan pada citra biner.

Secara keseluruhan, hasil pemrosesan gambar untuk kelas citra daging sapi memperlihatkan bahwa citra biner menghasilkan kualitas yang lebih baik daripada hasil erosi dan dilatasi. Metrik MSE yang lebih rendah dan PSNR yang lebih tinggi pada citra biner menunjukkan kemampuan binarisasi dalam mempertahankan detail yang lebih mendekati citra asli, membuatnya menjadi metode yang lebih andal untuk mempertahankan kualitas gambar dibandingkan dengan metode erosi dan dilatasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode binarisasi umumnya memberikan hasil kualitas citra yang lebih baik dibandingkan proses erosi dan dilatasi, baik pada kelas citra daging babi maupun daging sapi. Hal ini tercermin dari nilai MSE yang lebih rendah serta PSNR dan SSIM yang lebih tinggi pada citra biner, menunjukkan bahwa citra biner lebih akurat dalam mempertahankan detail dan kesamaan struktur dengan citra asli. Meskipun terdapat perbedaan kecil pada nilai metrik antara citra erosi dan dilatasi, citra biner secara konsisten menunjukkan performa yang lebih baik, menandakan efektivitas binarisasi dalam menjaga ketajaman dan kejelasan citra. Di kelas citra daging babi, citra biner memiliki nilai PSNR yang lebih tinggi dibandingkan citra hasil erosi dan dilatasi, sedangkan pada kelas citra daging sapi, citra biner juga menunjukkan keunggulan yang sama. Keunggulan ini menunjukkan bahwa binarisasi efektif dalam memperjelas dan mempertahankan bentuk asli objek, sehingga lebih sesuai untuk pengolahan gambar yang memerlukan ketajaman. Oleh karena itu, metode binarisasi direkomendasikan sebagai pendekatan yang lebih optimal dibandingkan erosi dan dilatasi dalam menjaga kualitas citra yang mendekati aslinya. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi kombinasi teknik pengolahan citra lainnya, seperti pengolahan menggunakan filter adaptif atau teknik pembelajaran mesin, untuk lebih meningkatkan kualitas dan efektivitas pengolahan citra dalam konteks yang lebih luas. Hasil analisis ini dapat menjadi panduan dalam memilih metode pengolahan gambar yang efektif untuk berbagai keperluan analisis dan aplikasi citra.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fadjeri, A. Setyanto, and M. P. Kurniawan, "Pengolahan Citra Digital Untuk Menghitung Ekstraksi Ciri Greenbean Kopi Robusta Dan Arabika (Studi Kasus: Kopi Temanggung)," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIKOMSiN)*, vol. 8, no. 1, 2020.
- [2] J. Jumadi, Y. Yupianti, and D. Sartika, "Pengolahan citra digital untuk identifikasi objek menggunakan metode hierarchical agglomerative clustering," *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 10, no. 2, pp. 148–156, 2021.
- [3] S. Ratna, "Pengolahan citra digital dan histogram dengan phyton dan text editor pycharm," *Technologia: Jurnal Ilmiah*, vol. 11, no. 3, pp. 181–186, 2020.
- [4] T. Hidayat, D. U. E. Saputri, and F. Aziz, "MEAT IMAGE CLASSIFICATION USING DEEP LEARNING WITH RESNET152V2 ARCHITECTURE," *Jurnal Techno Nusa Mandiri*, vol. 19, no. 2, pp. 131–140, Sep. 2022, doi: 10.33480/techno.v19i2.3932.
- [5] P. Faradilla, S. F. Rezky, and R. Hamdani, "Implementasi Metode Kernel Konvolusi Dan Contrast Stretching Untuk Perbaikan Kualitas Citra Digital," *Jurnal Sistem Informasi Triguna Dharma (JURSI TGD)*, vol. 1, no. 6, pp. 865–875, 2022.
- [6] R. Rosnelly, L. Wahyuni, and E. Aditya, "Pelatihan Pengenalan Teknik Pengolahan Citra Digital Pada Bidang Medis Training Introduction to Digital Image Processing Techniques In The Medical Field," *JUDIMAS J. Inov. Pengabd. Kpd. Masy*, vol. 3, no. 1, pp. 11–19, 2022.
- [7] R. Devita, "Analisis Perbandingan Kernel Morfologi Citra Otak Ditinjau dari Nilai PSNR," *The Indonesian Journal of Computer Science*, vol. 13, no. 3, 2024.
- [8] D. Sukmawan, "Deteksi Gejala Awal Penyakit Pada Ikan Berbasis Pengolahan Citra Menggunakan Operasi Morfologi Citra (Studi Kasus: Peternakan Egi Suhendi)," Universitas Pamulang, 2024.
- [9] H. Haq, S. Oktamuliani, W. L. Putri, G. Gunawan, and S. Adnan, "Peningkatan Kualitas Citra Radiograf Panoramik Menggunakan Metode Filter Laplacian," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 13, no. 5, pp. 624–629, 2024.
- [10] H. Mohammad-Rahimi *et al.*, "Super-resolution of dental panoramic radiographs using deep learning: a pilot study," *Diagnostics*, vol. 13, no. 5, p. 996, 2023.
- [11] H. Himanshu, R. Hooda, and V. Poply, "Image enhancement in Fourier domain using MSE and PSNR," in *AIP Conference Proceedings*, 2024.
- [12] I. W. A. W. Kusuma and A. Kusumadewi, "Analisa Perbandingan Citra Hasil Segmentasi Menggunakan Metode K-Means dan Fuzzy C Means pada Citra Input Terkompresi," *Elektrika*, vol. 13, no. 2, pp. 63–70, 2021.
- [13] M. Musakkir, I. Nurtanio, and Z. Zainuddin, "Estimasi Bobot Ikan Bandeng Menggunakan Segmentasi Citra Biner," *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Teknik Informatika (JISTI)*, vol. 7, no. 1, pp. 24–35, 2024.
- [14] C. Chairati, N. Awalia, B. M. Jamaluddin, A. B. Kaswar, and S. Sasmita, "KLASIFIKASI RASA BUAH SALAK BERDASARKAN WARNA DAN BENTUK MENGGUNAKAN METODE

- JARINGAN SARAF TIRUAN BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL,” *JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 9, no. 3, pp. 1225–1236, 2024.
- [15] B. Smith, M. Hermesen, E. Lesser, D. Ravichandar, and W. Kremers, “Developing image analysis pipelines of whole-slide images: Pre- and post-processing,” *J Clin Transl Sci*, vol. 5, no. 1, p. e38, 2021, doi: 10.1017/cts.2020.531.
- [16] M. Tamoor, A. Naseer, A. Khan, and K. Zafar, “Skin Lesion Segmentation Using an Ensemble of Different Image Processing Methods,” *Diagnostics*, vol. 13, no. 16, 2023, doi: 10.3390/diagnostics13162684.
- [17] T. Hidayat, N. Khasanah, D. Uki, E. Saputri, U. Khultsum, and R. L. Pratiwi, “Klasifikasi Gambar Palmprint Berbasis Multi-Kelas Menggunakan Convolutional Neural Network”.
- [18] H. Pratama, “Klasifikasi Tingkat Kematangan pada Citra Buah Sukun Berdasarkan Ekstraksi Fitur Warna dan Tekstur dengan Metode LDA (Linear Discriminant Analysis),” Universitas Medan Area, 2024.
- [19] S. Siaulhak, S. Kasma, and others, “Sistem Pengiriman File Menggunakan Steganografi Pengolahan Citra Digital Berbasis Matriks Laboratory,” *BANDWIDTH: Journal of Informatics and Computer Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 75–81, 2023.
- [20] A. F. Novianti, M. Atthariq, J. N. Dini, A. B. Kaswar, and J. C. Lapendy, “KLASIFIKASI TINGKAT KESEGERAN DAUN BAWANG MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL,” *Jurnal Sistem Informasi dan Informatika (Simika)*, vol. 7, no. 2, pp. 223–237, 2024.
- [21] K. Aqla, M. Z. Rakhmatullah, M. Y. Efendi, and others, “KLASIFIKASI KUALITAS DAUN SEHAT DAN TIDAK SEHAT PADA TANAMAN JAGUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODE MORFOLOGI GRADIEN DI PYTHON,” *Jurnal Sistem Informasi Aplikasi Teknologi Informasi*, vol. 1, no. 2, 2024.
- [22] M. Muchtar, N. F. Muchlis, M. Mulyadi, R. Karim, and R. Ruktiari, “Sistem Deteksi Penyakit Alternaria Leaf Spot Pada Daun Apel Berdasarkan Warna dan Operasi Morfologi,” *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, vol. 11, no. 2, 2024.
- [23] U. Sara, M. Akter, and M. S. Uddin, “Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A Comparative Study,” *Journal of Computer and Communications*, 2019, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:104425037>
- [24] Y. Al Najjar, “Comparative Analysis of Image Quality Assessment Metrics: MSE, PSNR, SSIM and FSIM”.
- [25] K. Aqla, M. Z. Rakhmatullah, M. Y. Efendi, and others, “KLASIFIKASI KUALITAS DAUN SEHAT DAN TIDAK SEHAT PADA TANAMAN JAGUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODE MORFOLOGI GRADIEN DI PYTHON,” *Jurnal Sistem Informasi Aplikasi Teknologi Informasi*, vol. 1, no. 2, 2024.
- [26] M. T. Rasheed, D. Shi, and H. Khan, “A comprehensive experiment-based review of low-light image enhancement methods and benchmarking low-light image quality assessment,” *Signal Processing*, vol. 204, p. 108821, 2023.
- [27] J. Erfurt, C. R. Helmrich, S. Bosse, H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, “A Study of the Perceptually Weighted Peak Signal-To-Noise Ratio (WPSNR) for Image Compression,” in *2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2019, pp. 2339–2343. doi: 10.1109/ICIP.2019.8803307.
- [28] M. Wulandari, “PENGUKURAN SSIM DAN ANALISIS KINERJA METODE INTERPOLASI UNTUK PENINGKATAN KUALITAS CITRA DIGITAL,” *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, vol. 1, Oct. 2017, doi: 10.24912/jmstkik.v1i1.429.
- [29] L. Rahadiani, A. Y. Azizah, and H. Deborah, “Evaluation of the quality indicators in dehazed images: Color, contrast, naturalness, and visual pleasingness,” *Heliyon*, vol. 7, no. 9, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08038.