

Perbandingan Metode Filtering untuk Peningkatan Kualitas Citra Daun Tomat Terinfeksi TMV

Azzahra Nabila Chairona^{*1}, Luna Falya Iskandar², Nika Rani Nur Shafa Lubis³, Pramesyaila Hendri⁴, Zafira A'idah Gunawan⁵, Endang Purnama Giri⁶, Gema Parasti Mindara⁷

^{1, 2, 3, 4, 5}Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, IPB University
Bogor, Indonesia

⁶ Ilmu Komputer, IPB University
Bogor, Indonesia

⁷ Teknologi Rekayasa Komputer, IPB University
Bogor, Indonesia

azzahranabilachairona@apps.ipb.ac.id¹, lunafalya@apps.ipb.ac.id², nikarani@apps.ipb.ac.id³,
pramesyailahendri@apps.ipb.ac.id⁴, zafiraaidah@apps.ipb.ac.id⁵, endang_pg@apps.ipb.ac.id⁶, gemaparasti@apps.ipb.ac.id⁷

Abstract. *This study compared the effectiveness of three digital filtering methods: Median Filter, Gaussian Filter, and Bilateral Filter in improving the quality of tomato leaf images infected by Tomato Mosaic Virus (TMV) subjected to artificial Gaussian and Salt & Pepper noise. The primary objective was to identify which filtering method produced images closest to the original, as evaluated by Mean Squared Error (MSE), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), and Structural Similarity Index Measure (SSIM). Experimental results indicated that the Bilateral Filter consistently achieved the lowest MSE, highest PSNR, and best SSIM under both noise conditions. For Gaussian noise, the Gaussian Filter performed better than the Median Filter, yet it was less effective in preserving edges and fine details compared to the Bilateral Filter. On Salt & Pepper noise, the Median Filter efficiently reduced impulsive noise points, but the Bilateral Filter excelled in maintaining leaf structure and texture. It is concluded that the Bilateral Filter is the most reliable method for preprocessing TMV-infected tomato leaf images with various noise types, thereby enhancing the accuracy of image analysis and digital disease identification.*

Keywords: *Tomato Mosaic Virus, Digital Image Filtering, Gaussian Noise, Salt & Pepper Noise, Image Quality, Quantitative Metrics.*

Abstrak. Penelitian ini telah membandingkan efektivitas tiga metode filtering digital: Median Filter, Gaussian Filter, dan Bilateral Filter dalam meningkatkan kualitas citra daun tomat terinfeksi Tomato Mosaic Virus (TMV) dengan penambahan gangguan Gaussian dan Salt & Pepper noise. Tujuan utama penelitian adalah menentukan metode filtering yang menghasilkan citra paling mendekati aslinya, berdasarkan evaluasi metrik Mean Squared Error (MSE), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), dan Structural Similarity Index Measure (SSIM). Hasil eksperimen menunjukkan Bilateral Filter secara konsisten menghasilkan nilai MSE terendah, PSNR tertinggi, serta SSIM terbaik, baik pada kondisi noise Gaussian maupun Salt & Pepper. Untuk noise Gaussian, Gaussian Filter lebih baik daripada Median Filter, namun belum mampu mempertahankan detail tepi seperti Bilateral Filter. Pada noise Salt & Pepper, Median Filter efektif dalam mereduksi titik-titik noise impulsif, namun Bilateral Filter tetap unggul dalam mempertahankan struktur dan tekstur daun. Kesimpulannya, Bilateral Filter adalah metode yang paling efektif untuk preprocessing citra daun tomat terinfeksi TMV dengan berbagai jenis noise, sehingga dapat meningkatkan akurasi analisis citra dan identifikasi penyakit secara digital.

Kata Kunci: *Tomato Mosaic Virus, Penyingkiran Citra Digital, Gaussian Noise, Salt & Pepper Noise, Kualitas Citra, Metrik Kuantitatif.*

I. PENDAHULUAN

Tomato Mosaic Virus (TMV) merupakan salah satu patogen penting pada tanaman tomat yang menyebabkan penurunan kualitas dan kuantitas hasil panen. Infeksi TMV meninggalkan gejala khas berupa mosaik, klorosis, dan deformasi pada daun, sehingga pengamatan visual terhadap citra daun menjadi salah satu pendekatan potensial dalam mendukung proses deteksi penyakit tanaman. Namun, citra daun yang diperoleh dari kondisi lapangan sering kali mengalami degradasi kualitas akibat gangguan seperti noise sensor, pencahayaan tidak merata, vibrasi kamera, serta proses transmisi data yang tidak stabil. Gangguan tersebut dapat mengurangi akurasi proses identifikasi penyakit maupun sistem berbasis visi komputer yang memerlukan citra berkualitas tinggi sebagai input utama.

Dalam konteks pemrosesan citra digital, noise seperti Gaussian noise dan Salt & Pepper Noise merupakan bentuk gangguan yang paling umum. Gaussian noise muncul akibat fluktuasi acak dalam sensor kamera, sementara Salt & Pepper Noise dihasilkan dari gangguan impulsif seperti kesalahan transmisi atau kerusakan piksel. Gangguan ini tidak hanya mengurangi kejernihan citra, tetapi juga mempengaruhi proses analisis lanjutan seperti segmentasi, ekstraksi fitur, hingga klasifikasi penyakit tanaman [1], [2].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra melalui teknik filtering. Penelitian [3] menunjukkan metode mean, median, Gaussian, dan mode filtering mampu mengurangi noise dan meningkatkan rasio sinyal terhadap noise (SNR) pada citra digital. Penelitian lain oleh Fachrunnisa et al. (2024) menegaskan bahwa adaptive median filter sangat efektif dalam mengurangi noise impulsif sambil mempertahankan detail visual pada citra [4]. Sementara itu, penelitian lain [1] menemukan bahwa median filtering

menunjukkan efektivitas tinggi dalam mereduksi *Salt & Pepper Noise* hingga lebih dari 90% pada intensitas *noise* menengah, meskipun metode tersebut juga dapat menyebabkan efek kabur pada tekstur tertentu. Sejalan dengan itu, studi yang dilaporkan pada [2] membuktikan bahwa *median filter* mampu menghilangkan *noise* secara signifikan tanpa menghilangkan detail penting, meskipun memiliki beban komputasi lebih tinggi dibandingkan metode lainnya.

Dalam bidang pertanian digital, peningkatan kualitas citra sangat berkaitan dengan keberhasilan metode identifikasi berbasis *machine learning*. Pada penelitian berjudul “Implementasi CNN dan SVM untuk Identifikasi Penyakit Tomat via Daun” [5], menunjukkan bahwa kualitas citra sangat mempengaruhi performa CNN dan SVM dalam mengidentifikasi penyakit daun tomat. Oleh karena itu, proses *preprocessing* termasuk reduksi *noise* melalui *filtering* menjadi tahap yang tidak dapat diabaikan dalam pipeline analisis citra tanaman.

Pada penelitian ini, citra daun tomat terinfeksi TMV yang berasal dari *dataset* digunakan sebagai citra acuan. Untuk keperluan evaluasi yang lebih terkontrol, citra tersebut kemudian diberi *noise* buatan berupa *Gaussian noise* dan *Salt & Pepper noise*. Rekayasa penambahan *noise* ini dilakukan untuk mensimulasikan kondisi citra lapangan yang sering kali terdegradasi, sekaligus memungkinkan perbandingan yang lebih akurat antara citra asli dan hasil *filtering*. Dengan pendekatan ini, efektivitas setiap metode *filter* dapat diuji secara lebih objektif karena kualitas citra hasil pemrosesan dapat langsung dibandingkan dengan citra referensi yang bebas *noise* [1], [6], [12], [14].

Ditekankan bahwa penelitian ini tidak melakukan klasifikasi penyakit, melainkan berfokus pada evaluasi kualitas citra daun tomat terinfeksi TMV dengan skenario penambahan *noise* buatan. Tujuannya adalah untuk membandingkan efektivitas berbagai teknik *filtering*, *Median Filter*, *Gaussian Filter*, dan *Bilateral Filter* dalam mengembalikan citra yang terdegradasi mendekati citra asli dalam *dataset*. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik kuantitatif seperti *Mean Squared Error* (MSE) untuk mengukur selisih kuadrat antara citra asli dan hasil *filtering* [6][10], *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) untuk menilai rasio sinyal terhadap *noise* pada citra [6], [11], dan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM) untuk menilai kesamaan struktur antara citra asli dan hasil *filtering* [6], [11]. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai performa masing-masing metode *filtering* pada citra daun tomat yang telah diberi *noise*.

Meskipun berbagai studi telah mengevaluasi metode *filtering* untuk meningkatkan kualitas citra, belum banyak penelitian yang secara spesifik mengkaji perbandingan beberapa metode *filtering* pada citra daun tomat terinfeksi TMV dengan skenario penambahan *noise* buatan. Selain itu, penelitian terkait peningkatan kualitas citra daun umumnya hanya berfokus pada metode tunggal atau jenis *noise* tertentu,

sehingga masih terdapat ruang untuk mengevaluasi efektivitas metode *filtering* dalam konteks multi-*noise* menggunakan metrik kuantitatif yang komprehensif.

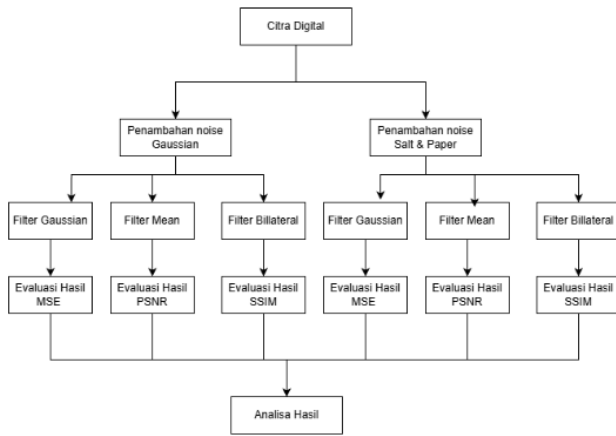
Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan tiga metode *filtering*—*Median Filter*, *Gaussian Filter*, dan *Bilateral Filter*—dalam meningkatkan kualitas citra daun tomat terinfeksi TMV yang telah diberi *Gaussian noise* serta *Salt & Pepper noise*. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik kuantitatif seperti *Mean Squared Error* (MSE), *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), dan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM) [6], sesuai dengan rekomendasi berbagai penelitian sebelumnya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dalam bidang pengolahan citra digital yang bertujuan untuk menganalisis kinerja beberapa metode *filtering* dalam meningkatkan kualitas citra daun tomat yang terinfeksi *Tomato Mosaic Virus* (TMV). Penelitian dilakukan dengan menerapkan tiga algoritma *filter*, yaitu *Median Filter*, *Gaussian Filter*, dan *Bilateral Filter*, kemudian membandingkan efektivitasnya melalui metrik evaluasi kuantitatif.

Pendekatan eksperimental digunakan karena penelitian ini menguji secara langsung pengaruh masing-masing *filter* terhadap citra yang diberi *noise*, sehingga dapat dinilai baik secara numerik maupun visual. Hasil evaluasi tersebut digunakan untuk menentukan metode *filtering* yang paling optimal dalam meningkatkan kualitas citra daun pertanian, khususnya pada proses identifikasi penyakit tanaman berbasis citra digital.

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kumpulan citra daun tomat dari *PlantVillage*, yang berformat RGB dan memiliki resolusi bervariasi sesuai kondisi pengambilan citra di lapangan. Dataset ini dipilih karena memiliki kualitas visual yang tinggi serta telah banyak digunakan dalam penelitian terkait deteksi penyakit tanaman [7], sehingga relevan dan valid untuk digunakan dalam evaluasi metode *filtering*. Selain itu, citra pada dataset telah terlabelisasi dengan jelas, termasuk citra daun sehat dan daun yang terinfeksi TMV. Keragaman tekstur permukaan daun, bentuk, serta tingkat kerusakan pada citra dataset ini juga memungkinkan pengujian *filter* dilakukan secara lebih komprehensif terhadap berbagai tingkat kompleksitas visual.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama sesuai alur pada diagram penelitian, dimulai dari pengolahan citra daun tomat hingga evaluasi hasil *filtering*. Citra digital daun tomat yang digunakan kemudian diberi dua jenis *noise*, yaitu *Gaussian Noise* dan *Salt & Pepper Noise*, sebagai simulasi gangguan visual yang umumnya terjadi pada proses pengambilan citra di lapangan [8]. Penambahan *noise* ini bertujuan untuk mengetahui performa metode *filtering* ketika dihadapkan pada kondisi citra yang terdegradasi.

Setelah proses penambahan *noise*, setiap citra yang telah terkontaminasi diproses menggunakan tiga metode *filtering*, yaitu *Median Filter*, *Gaussian Filter*, dan *Bilateral Filter*. *Median Filter* digunakan untuk mereduksi *noise* impulsif seperti *Salt & Pepper*, *Gaussian Filter* memberikan efek smoothing secara global, sedangkan *Bilateral Filter* dipilih karena kemampuannya mengurangi *noise* tanpa mengaburkan tepi (*edge*) pada objek daun [6].

Untuk menilai efektivitas metode *filtering* dalam meningkatkan kualitas citra, hasil dari setiap proses *filtering* dievaluasi menggunakan tiga metrik kuantitatif, yaitu *Mean Squared Error* (MSE), *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), dan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM). Ketiga metrik ini digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan, kejernihan sinyal, serta kesamaan struktur antara citra asli dan citra hasil *filtering*.

Tahap berikutnya adalah menghitung nilai MSE, PSNR, dan SSIM menggunakan rumus dasar yang umum digunakan dalam pengolahan citra digital, sebagai berikut.

1. Mean Squared Error (MSE)

MSE digunakan untuk mengukur rata-rata selisih kuadrat antara citra asli dan citra hasil *filtering*. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik kualitas citra hasil pemrosesan.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum \sum (I(i,j) - K(i,j))^2 \quad (1)$$

Keterangan:

- $I(i,j)$ = nilai piksel pada citra asli

- $K(i,j)$ = nilai piksel pada citra hasil filtering
- M, N = ukuran dimensi citra (tinggi dan lebar)

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

PSNR mengukur rasio antara sinyal (citra asli) dan *noise* (error). Nilai PSNR yang lebih tinggi menunjukkan hasil *filtering* lebih baik.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

Keterangan:

- MAX = nilai maksimum intensitas piksel pada citra (umumnya 255 untuk citra 8-bit)
- MSE = nilai *Mean Squared Error* antara citra asli dan citra hasil filtering

3. Structural Similarity Index Measure (SSIM)

SSIM digunakan untuk menilai tingkat kesamaan struktur antara citra asli dan citra hasil *filtering*. Nilai SSIM berada pada rentang 0–1, di mana nilai lebih mendekati 1 menunjukkan kualitas sangat baik.

$$SSIM(x,y) = \frac{((2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2))}{((\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2))} \quad (3)$$

Keterangan:

- μ_x, μ_y = nilai rata-rata citra asli dan μ_x, μ_y = nilai rata-rata intensitas pada citra asli dan citra hasil filtering
- σ_x^2, σ_y^2 = nilai variansi pada citra asli dan citra hasil filtering
- σ_{xy} = nilai kovariansi antara citra asli dan citra hasil filtering
- C_1, C_2 = konstanta stabilisasi yang berfungsi untuk mencegah pembagian dengan nilai yang sangat kecil

Seluruh rangkaian tahapan tersebut dilakukan secara berurutan untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh dapat mencerminkan efektivitas masing-masing metode *filtering* dalam meningkatkan kualitas citra daun tomat terinfeksi TMV. Melalui pendekatan ini, diharapkan penelitian mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kinerja berbagai teknik *filtering* dalam pengolahan citra pertanian, khususnya pada deteksi penyakit tanaman berbasis citra digital [9]. Hasil dari proses ini kemudian menjadi dasar bagi analisis dan pembahasan pada bagian selanjutnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data

Penelitian ini menggunakan dataset daun tomat dari PlantVillage. Dari dataset tersebut, dipilih 10 citra daun tomat yang terinfeksi Tomato Mosaic Virus (TMV) dengan resolusi 256×256 piksel dan format RGB. Citra-citra ini dipilih untuk

memastikan fokus penelitian pada daun yang memang terinfeksi virus. Pemilihan citra dilakukan secara manual untuk mencakup variasi gejala infeksi, termasuk tingkat keparahan lesi dan perubahan warna daun.



Gambar 4. Contoh citra daun tomat terinfeksi *Tomato Mosaic Virus* (TMV) yang dipilih sebagai sampel eksperimen.

B. Noise Buatan pada Citra

Untuk mengevaluasi efektivitas metode *filtering*, setiap citra kemudian diberikan dua jenis *noise* buatan:

- Gaussian Noise*: meniru gangguan acak pada piksel citra, yang biasanya muncul akibat gangguan sensor atau kondisi pencahayaan.
- Salt & Pepper Noise*: meniru *noise* impulsif pada citra, berupa titik-titik putih dan hitam yang acak pada citra.



Gambar 5. (a) Citra asli (b) Citra dengan *Gaussian Noise* (c) Citra dengan *Salt & Pepper Noise*

Gambar ini menunjukkan perubahan visual akibat *noise*, di mana detail daun menjadi terganggu sehingga memerlukan proses *filtering* sebelum tahap analisis lebih lanjut [8].

C. Metode Filtering

Tiga metode *filtering* digunakan untuk meningkatkan kualitas citra hasil *noise*:

- Median Filter*: digunakan untuk mengurangi *noise* impulsif (*salt & pepper*) dengan mengganti nilai piksel dengan *median* dari jendela tetangganya. Metode ini efektif dalam menghilangkan *noise* titik-titik tanpa terlalu mengaburkan tepi besar.
- Gaussian Filter*: digunakan untuk menghaluskan citra yang terkena *noise* acak, sehingga citra menjadi lebih homogen. *Gaussian filter* cenderung mengaburkan tepi halus namun efektif mengurangi gangguan piksel acak.
- Bilateral Filter*: digunakan untuk menghaluskan area homogen sekaligus mempertahankan tepi citra, sehingga detail penting pada daun tetap terlihat. Filter ini sangat berguna untuk menjaga detail lesi akibat infeksi virus yang khas [1].



Gambar 6. (a) Hasil *Median Filter* (b) Hasil *Gaussian Filter* (c) Hasil *Bilateral Filter*

Gambar ini memperlihatkan bagaimana masing-masing *filter* mengurangi *noise* sambil mempengaruhi detail citra secara berbeda.

D. Evaluasi Kualitas Citra

Kualitas citra hasil *filtering* dievaluasi secara kuantitatif menggunakan tiga metrik:

- Mean Squared Error* (MSE): mengukur selisih kuadrat rata-rata antara citra asli dan citra hasil *filtering*. Nilai MSE yang lebih rendah menunjukkan citra lebih mendekati citra asli [10].
- Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR): mengukur rasio maksimum sinyal terhadap derau. Nilai PSNR yang lebih tinggi menunjukkan kualitas citra lebih baik [11].
- Structural Similarity Index Measure* (SSIM): menilai kesamaan struktural antara citra hasil *filtering* dengan citra asli berdasarkan luminansi, kontras, dan struktur. Nilai SSIM mendekati 1 menunjukkan kesamaan struktur tinggi dan kualitas citra baik [11].

Tabel 4. Nilai rata-rata MSE, PSNR, dan SSIM hasil penerapan metode *filtering* pada citra daun tomat terinfeksi TMV

No	Hasil Pengujian				
	Jenis Noise	Filter	MSE	PSNR	SSIM
1	<i>Gaussian</i>	<i>Median</i>	72.83	22.97	0.40
2	<i>Gaussian</i>	<i>Gaussian</i>	70.26	23.94	0.53
3	<i>Gaussian</i>	<i>Bilateral</i>	60.81	27.40	0.77
4	<i>Salt & Pepper</i>	<i>Median</i>	69.59	29.77	0.41
5	<i>Salt & Pepper</i>	<i>Gaussian</i>	74.36	29.46	0.49
6	<i>Salt & Pepper</i>	<i>Bilateral</i>	61.035	30.30	0.622

E. Pembahasan

Berdasarkan hasil kuantitatif dan observasi visual:

1. Pengaruh *Filter* terhadap *Gaussian Noise*

Pada citra yang diberikan *Gaussian noise*, ketiga metode *filtering* menunjukkan performa yang berbeda dalam mengurangi gangguan acak pada piksel. *Median Filter* mampu mereduksi sebagian *noise*, namun sifatnya yang lebih cocok untuk *noise* impulsif membuat hasilnya kurang optimal pada *Gaussian noise*, yang menyebabkan citra tetap tampak berbintik dan nilai SSIM yang dihasilkan relatif rendah. *Gaussian Filter* menunjukkan performa yang lebih baik karena

secara khusus dirancang untuk menghaluskan *noise* yang tersebar merata pada citra. Hal ini terlihat dari nilai PSNR yang meningkat dibandingkan *Median Filter* serta peningkatan SSIM yang menandakan citra hasil *filtering* lebih mirip dengan citra asli. Meskipun demikian, *Gaussian Filter* memiliki kecenderungan mengaburkan tepi sehingga beberapa detail halus pada daun menjadi kurang tajam. Di sisi lain, *Bilateral Filter* memberikan hasil paling unggul pada penanganan *Gaussian noise*, tercermin dari nilai MSE yang paling rendah, PSNR tertinggi (27.40), serta SSIM yang mencapai 0.77. Kemampuan *Bilateral Filter* mempertahankan tepi sambil tetap mengurangi *noise* membuat struktur pola daun, venasi, dan tekstur akibat infeksi TMV tetap terjaga dengan baik. Keunggulan ini menjadikannya metode paling efektif pada citra yang terdistorsi oleh *Gaussian noise* dalam penelitian ini [9], [13].

2. Pengaruh Filter terhadap Salt & Pepper Noise

Pada citra yang diberikan *Salt & Pepper Noise*, performa ketiga metode *filtering* menunjukkan perbedaan yang signifikan. *Median Filter*, yang secara teoritis merupakan metode paling efektif untuk menangani *noise* impulsif, mampu mengurangi titik-titik hitam dan putih secara cukup baik karena mekanisme penggantian nilai piksel dengan *median* dari jendela lokal. Namun, meskipun mampu membersihkan *noise* secara langsung, hasil kuantitatif menunjukkan bahwa *Bilateral Filter* tetap memberikan performa keseluruhan yang lebih unggul. *Bilateral Filter* memiliki kombinasi nilai MSE yang lebih rendah dan PSNR yang lebih tinggi, serta SSIM sebesar 0.622 yang menandakan kemampuan lebih baik dalam mempertahankan struktur dan tekstur daun. Hal ini terjadi karena *Bilateral Filter* tidak hanya menghaluskan derau, tetapi juga mempertahankan tepi dan pola mosaik khas infeksi TMV yang penting untuk analisis lebih lanjut. Sementara itu, *Gaussian Filter* menjadi metode paling tidak efektif pada *noise* impulsif karena sifatnya yang tidak dirancang untuk menghilangkan titik *noise* ekstrem, sehingga beberapa piksel *Salt & Pepper* tetap muncul dan beberapa detail lain justru semakin kabur. Kondisi ini membuat *Gaussian Filter* memiliki nilai SSIM dan MSE yang lebih buruk dibandingkan dua metode lainnya [13], [14].

3. Kesimpulan Perbandingan:

Secara keseluruhan, *Bilateral Filter* merupakan metode dengan performa terbaik dalam penelitian ini, terutama karena mampu menurunkan *noise* secara efektif sambil tetap mempertahankan struktur tepi dan tekstur penting pada daun terinfeksi TMV. Hasil ini tercermin dari nilai MSE terendah, PSNR tertinggi, dan SSIM tertinggi pada kedua jenis *noise*, sehingga menjadikannya metode yang paling konsisten dalam menghasilkan citra yang mendekati citra asli.

Untuk jenis *noise* tertentu, hasil perbandingan menunjukkan bahwa setiap *filter* memiliki keunggulannya masing-masing:

1. *Salt & Pepper Noise* → *Median Filter* paling baik dalam menghilangkan *noise* impulsif, karena mekanismenya yang secara efektif mengganti piksel ekstrem dengan nilai *median* tetangga. Namun, secara keseluruhan *Bilateral Filter* tetap memberikan kualitas struktur yang lebih baik, karena menghasilkan SSIM tertinggi dan menjaga tepi daun tetap jelas [15].
2. *Gaussian Noise* → *Bilateral Filter* menjadi metode paling optimal, dengan kombinasi MSE terendah dan SSIM tertinggi. *Gaussian Filter* juga memberikan hasil cukup baik dalam menghaluskan *noise* acak, namun efek blur pada tepi membuat kinerjanya tidak sebaik *Bilateral Filter*.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa setiap metode *filtering* memiliki keunggulan berbeda dalam meningkatkan kualitas citra daun berpenyakit, di mana *Median Filter* paling efektif untuk mereduksi *Salt & Pepper Noise*, *Gaussian Filter* lebih unggul dalam menangani *Gaussian noise*, dan *Bilateral Filter* memberikan hasil paling seimbang karena mampu menekan *noise* sekaligus mempertahankan detail tepi sehingga menghasilkan kualitas citra terbaik secara keseluruhan; oleh karena itu pemilihan metode *filtering* sebaiknya disesuaikan dengan jenis *noise* yang dominan pada citra. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji lebih banyak variasi intensitas *noise*, memperluas jumlah dan jenis dataset, serta mempertimbangkan penggabungan *filtering* dengan metode peningkatan citra lainnya seperti CLAHE, *wavelet denoising*, atau pendekatan berbasis *deep learning* untuk memperoleh hasil yang lebih optimal, serta mengintegrasikan proses *filtering* ini ke dalam sistem deteksi penyakit tanaman guna mengamati pengaruh peningkatan kualitas citra terhadap akurasi klasifikasi.

PERNYATAAN PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dan memberikan dukungan dalam proses penyusunan jurnal ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada Bapak Endang selaku pengampu mata kuliah yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta ilmu yang sangat berharga sehingga jurnal ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan dan pihak-pihak lain yang turut membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Alamsyah, L. S. Harahap, and M. Firjatullah, "Meningkatkan Kualitas Gambar Digital melalui Pengurangan Noise Menggunakan Median Filtering," *Data Sciences Indonesia (DSI)*, vol. 5, no. 1, pp. 96–104, Nov. 2025, doi: 10.47709/dsi.v5i1.6290.
- [2] H. Pangaribuan and J. E. Candra, "Optimalisasi Kualitas Citra Digital Dengan Metode Ketetanggaan Piksel," *Jurnal Ilmiah Informatika*, vol. 07, no. 1, 2019, doi: <https://doi.org/10.33884/jif.v7i01.864>.
- [3] B. Yuwono, "IMAGE SMOOTHING MENGGUNAKAN MEAN FILTERING, MEDIAN FILTERING, MODUS FILTERING DAN

- GAUSSIAN FILTERING,” *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi TELEMATIKA*, vol. 7, no. 1, pp. 66–75, Nov. 2015, doi: <https://doi.org/10.31315/telematika.v7i1.416>.
- [4] Fachrunnisa, A. Usman, and M. Khairani, “Implementasi Noise Removal Dan Image Enhancement Pada Citra Digital Menggunakan Metode Adaptive Median Filter,” *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi JIRSI*, vol. 2024, no. 1, pp. 11–20, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.70340/jirsi.v3i1.95>.
 - [5] Felix, S. Faisal, T. F. M. Butarbutar, and P. Sirait, “Implementasi CNN dan SVM untuk Identifikasi Penyakit Tomat via Daun,” *Jurnal SIFO Mikroskil*, vol. 20, no. 2, pp. 1–5, 2019, doi: <https://doi.org/10.55601/jsm.v20i2.670>.
 - [6] M. R. Khilmawan and A. A. Riadi, “IMPLEMENTASI PENGURANGAN NOISE PADA CITRA TULANG MENGGUNAKAN METODE MEDIAN FILTER DAN GAUSSIAN FILTER,” *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 03, no. 2, pp. 116–121, 2018, doi: <https://doi.org/10.29100/jupi.v3i2.865.g377>.
 - [7] D. P. Hughes and M. Salathé, “An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics,” in *Presented at the International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2019, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.08060>.
 - [8] H. A. D. Rani and P. K. Sari, “PERBANDINGAN METODE FILTERING UNTUK PENINGKATAN KUALITAS CITRA IRIS MATA BERBASIS IMAGE PROCESSING,” *JOINED Journal of Information Education*, vol. 1, no. 1, pp. 10–6, 2018, doi: <https://doi.org/10.31331/joined.v1i1.622>.
 - [9] R. A. Wibisono and H. Soetanto, “PERBANDINGAN EFEKTIFITAS FILTER MEDIAN, GAUSSIAN DAN MEAN DALAM MENGURANGI NOISE PADA CITRA DIGITAL,” in *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI)*, 2024, pp. 974–983.
 - [10] L. Norria, S. Ricky, and A. Nazari, “Tomato Leaf Disease Detection using Convolution Neural Network (CNN),” *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 667–676, 2021, doi: <https://doi.org/10.30880/eeee.2021.02.02.080>.
 - [11] P. Vasavi, A. Punitha, and T. V. Rao, “Chili Leaf Disease Detection Using Deep Feature Extraction,” *Journal of Intelligent Systems and Internet of Things*, vol. 9, no. 2, pp. 222–230, 2023, doi: <https://doi.org/10.54216/JISIoT.090216>.
 - [12] Puji Sri Alhirani, Lailan Sofinah Harahap, and Rani Chantika, “Analisis Perbandingan Filter Median dan Gaussian dalam Mengurangi Noise pada Citra Digital,” *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Komunikasi*, vol. 5, no. 2, pp. 495–505, Jun. 2025, doi: <https://doi.org/10.55606/juitik.v5i2.1148>.
 - [13] I. M. Widiartha, I. D. G. R. Satya, I. D. M. B. Darmawan, I. K. A. Mogi, L. G. Astuti, and I. W. Santiyasa, “Implementasi Metode Gaussian dan Median Filtering dalam Penghilangan Noise pada Citra,” *Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.30646/sinus.v17i1.392>.
 - [14] I. G. A. Gunadi, P. S. Saputra, P. A. Pratama, and I. P. A. Indra, “ANALISIS PERBANDINGAN METODE FILTER MEAN, MEDIAN, MAXIMUM, MINIMUM, DAN GAUSSIAN TERHADAP REDUKSI NOISE GAUSSIAN, SALT&PAPPER, SPECKLE, POISSON, DAN LOCALVAR,” *Jurnal Ilmiah SINUS*, vol. 17, no. 1, p. 15, Jan. 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.30646/sinus.v17i1.392>.
 - [15] I. Maulana and P. N. Andono, “Analisa Perbandingan Adaptif Median Filter Dan Median Filter Dalam Reduksi Noise Salt & Pepper,” *Cogito Smart Journal*, vol. 2, pp. 157–166, 2016, doi: <https://doi.org/10.31154/cogito.v2i2.26.157-166>.