p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

PERBANDINGAN GAUSSIAN BLUR, MEDIAN, DAN BILATERAL FILTER UNTUK REDUKSI *NOISE* CITRA DIGITAL

Vellisya Afifa Qonita[1], Keisha Ramadhani[2], Dwi Febriyanti[3], Muthiah Hamidah[4], Achmad Fauzal Khobir[5], Endang Purnama Giri[6], Gema Parasti Mindara[7]

[1-5]Program Studi Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Sekolah Vokasi, IPB University
[6]Program Studi Ilmu Komputer, Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika, IPB University
[7]Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Sekolah Vokasi, IPB University
[1-5&7]Kampus IPB Cilibende, Jl. Kumbang No.14, Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia
[6]Kampus IPB Dramaga, Jl. Raya Dramaga Kab. Bogor, Jawa Barat, Indonesia
vellisyaafifa@apps.ipb.ac.id[1], keisha_ramadhani@apps.ipb.ac.id[2], dfebriyanti@apps.ipb.ac.id[3], muthiahhamidah@apps.ipb.ac.id[4], achfauzal@apps.ipb.ac.id[5], endang_pg@apps.ipb.ac.id[6], gemaparasti@apps.ipb.ac.id[7]

Abstrak - Reduksi noise merupakan tahapan krusial dalam pengolahan citra digital. Hal ini karena reduksi noise dapat menurunkan kualitas visual dan akurasi analisis citra. Permasalahan utama dalam reduksi noise adalah memilih metode filtering paling efektif untuk jenis noise tertentu dengan tetap mempertahankan detail dan tepi objek. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter dalam mereduksi Gaussian noise dan Salt and Pepper Noise, serta mengevaluasi kualitas visual citra hasil filter melalui penilaian subjektif. Metode pada penelitian ini adalah eksperimen kuantitatif dan kualitatif, dimana citra uji (grayscale) diolah dengan ketiga filter dan diukur menggunakan tiga metrik objektif yaitu Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Mean Squared Error (MSE), dan Structural Similarity Index (SSIM). Kemudian penelitian dilengkapi dengan survei penilaian visual oleh responden.

Kata Kunci: Bilateral Filter, Gaussian Blur, Kualitas citra, Median Filter, Reduksi noise.

I. PENDAHULUAN

Citra digital memiliki peran penting pada berbagai bidang, seperti medis, keamanan, industri, hingga multimedia. Namun, dalam proses akuisisi, transmisi, dan penyimpanan citra digital, justru menghasilkan noise yang menurunkan kualitas visual citra dan mengganggu akurasi analisis pada tahapan berikutnya. (Gour & Sharma, 2025) menjelaskan bahwa noise dapat muncul dari sensor kamera, perangkat akuisisi, maupun kanal transmisi yang dapat secara signifikan merusak struktur penting citra seperti tepi dan tekstur. Keberadaan *noise* ini dapat menurunkan kualitas dan akurasi dalam proses analisis lebih lanjut, seperti segmentasi, deteksi tepi, dan klasifikasi objek. Oleh karena itu, reduksi noise menjadi salah satu tahapan *preprocessing* yang sangat krusial dalam pengolahan citra digital.

Berbagai metode filtering telah dikembangkan untuk mereduksi noise citra grayscale pada domain spasial. Gaussian Blur cenderung mengaburkan seluruh gambar termasuk tepi (Prayogi et al., 2025). Median Filter dikenal unggul dalam menghilangkan Salt and Pepper Noise dengan tetap mempertahankan struktur tepi, sementara Bilateral Filter menggabungkan smoothing spasial dan kesamaan intensitas sehingga mampu mereduksi noise sekaligus menjaga detail citra. Meskipun demikian, tidak ada satu metode yang optimal untuk semua jenis noise karena setiap filter memiliki karakteristik dan kompromi yang berbeda. Penilaian efektivitas metode-metode ini umumnya menggunakan metrik objektif seperti Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Mean Squared Error (MSE), dan Structural Similarity Index Measure (SSIM).

Meskipun banyak penelitian komparatif telah dilakukan, perbandingan yang komprehensif antara ketiga filter ini secara simultan terhadap dua jenis noise dominan (Gaussian dan Salt and Pepper) dengan menggunakan tiga metrik evaluasi krusial masih terbatas. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan empiris yang lebih kuat untuk pemilihan teknik filtering yang optimal. Hipotesis dari penelitian ini ialah Median Filter akan menunjukkan performa superior dalam mereduksi Salt and Pepper Noise, sedangkan Bilateral Filter akan unggul dalam mereduksi Gaussian Noise sambil mempertahankan tepi, yang tercermin dari nilai PSNR dan SSIM yang lebih tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini adalah: (1) Menganalisis dan membandingkan efektivitas Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter dalam mereduksi Gaussian Noise dan Salt and Pepper Noise pada citra grayscale berdasarkan metrik PSNR, MSE, dan SSIM, dan (2) Menganalisis penilaian subjektif pengguna terhadap kualitas visual citra hasil filtering dari ketiga metode. Kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan tiga metode filtering (Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter) terhadap dua jenis noise (Gaussian dan Salt and Pepper) menggunakan tiga metrik evaluasi objektif (PSNR, MSE, SSIM) yang dikombinasikan dengan evaluasi subjektif pengguna.

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai reduksi *noise* telah banyak dilakukan dengan beragam metode filtering. Gaussian Blur sering digunakan untuk menghaluskan citra karena memiliki karakteristik sentral dalam kernelnya (Tsaqofah et al., 2025) untuk mengurangi *noise* tinggi dengan varian kecil. Gaussian Filter bekerja dengan memberikan bobot yang lebih tinggi pada piksel yang lebih dekat secara spasial, sehingga efektif dalam mengurangi Gaussian Noise namun cenderung mengaburkan detail dan tepi objek dalam citra. Median Filter bekerja dengan menggantikan nilai piksel dengan nilai *median* dari tetangganya, yang menurut (Guan et al., 2024) terbukti sangat efektif dalam menghilangkan Salt and Pepper Noise dengan kemampuan mengeliminasi lebih dari 90% *error* yang disebabkan oleh *noise* jenis ini, sambil mempertahankan ketajaman tepi meskipun memiliki keterbatasan dalam menangani *Gaussian Noise* atau detail halus pada citra. Sementara itu, *Bilateral Filter* ini merupakan pengembangan dan konsep penghalusan *Gaussian* dengan menitik beratkan koefisien *filter* dengan hubungannya kepada intensitas relatif piksel (Harahap, 2020). Ini merupakan alternatif menjanjikan terhadap *filter smoothing* standar karena menggabungkan reduksi *noise* dan pemeliharaan tepi, yang meminimalkan penurunan resolusi citra, sehingga mampu mereduksi *noise* dengan tetap mempertahankan struktur tepi dan detail penting dalam citra, namun memerlukan kompleksitas komputasi yang lebih tinggi dibandingkan kedua metode lainnya.

Pada konteks aplikasi praktis, pemilihan metode filtering yang tepat sangat bergantung pada jenis *noise* yang dominan, karakteristik citra yang akan diproses, serta kebutuhan akan kecepatan pemrosesan dan kualitas hasil. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tidak ada satu metode *filtering* yang optimal untuk semua kondisi. (Kersen et al., 2022) melakukan reduksi *noise* pada pengolahan citra digital menggunakan Gaussian Filter, Mean Filter, dan Median Filter dengan MATLAB dan menemukan bahwa setiap metode memiliki kelebihan pada jenis *noise* tertentu, dimana metode-metode tersebut dapat memperbaiki atau mengurangi kecacatan pada citra yang disebabkan oleh *noise*. (Dermawan & Handoko, 2024) menerapkan Bilateral Filtering untuk peningkatan kualitas citra digital dengan fokus pada Gaussian Noise, Salt and Pepper Noise, dan menemukan bahwa Bilateral Filtering mampu meningkatkan kualitas citra secara signifikan meskipun beberapa jenis noise memerlukan penyesuaian parameter lebih lanjut untuk hasil yang optimal.

Pada penelitian ini, pengukuran kualitas citra dilakukan menggunakan tiga metrik kuantitatif utama, yaitu Mean Squared Error (MSE), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), dan Structural Similarity Index Measure (SSIM). Mean Squared Error (MSE) merupakan metode evaluasi kualitas citra yang bekerja dengan menghitung selisih kuadrat rata-rata antara citra hasil peningkatan dan citra aslinya (Tinaliah & Elizabeth, 2020). Nilai MSE mencerminkan tingkat ketidaksesuaian kedua citra tersebut; semakin kecil nilai MSE yang diperoleh, semakin dekat citra hasil pemrosesan terhadap citra asli, sehingga menunjukkan bahwa distorsi yang muncul akibat proses *enhancement* semakin minimal (Al Najjar, 2024). MSE dihitung dengan persamaan berikut.

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \quad (I_i - J_i)^2$$

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) adalah rasio antara nilai intensitas maksimum pada suatu citra dengan jumlah *noise* yang mengganggu citra tersebut. PSNR dinyatakan dalam satuan desibel (dB) dan digunakan untuk menilai perbandingan kualitas antara citra asli dengan citra yang telah mengalami proses peningkatan atau *enhancement* (Hapsari et al., 2020). Nilai PSNR yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kualitas citra hasil *enhancement* semakin baik atau semakin mendekati citra aslinya. Sebaliknya, apabila nilai PSNR rendah, maka kualitas peningkatan citra tersebut dapat dikatakan kurang baik (Avily, 2024). PSNR dihitung dengan persamaan berikut.

$$PSNR = 10.(\frac{MAX^2}{MSE})$$

Structural Similarity Index Measure *(*SSIM) merupakan metrik yang banyak digunakan untuk mengevaluasi tingkat kemiripan antara dua citra. Metrik ini menilai kesamaan struktur dengan membandingkan luminansi, kontras, dan struktur. SSIM memberikan ukuran kesamaan antara citra dalam bentuk nilai antara –1 hingga 1, di mana nilai 1 menunjukkan kemiripan sempurna. Dengan demikian, SSIM mempertimbangkan aspek luminansi maupun kesamaan struktur (Mudeng et al., 2022). SSIM dihitung dengan persamaan berikut.

$$SSIM_{(x,y)} = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)\,(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu\frac{2}{x} + \mu\frac{2}{y} + c_1)\,(\sigma\frac{2}{x} + \sigma\frac{2}{y} + c_2)}$$

Penelitian-penelitian lain juga menunjukkan temuan yang beragam terkait performa metode filtering ini. (Setyawan & Nawansari, 2022) membandingkan kinerja penapisan Gaussian dan Median dalam pelembutan citra menggunakan 30 citra uji, dan menyimpulkan bahwa metode Gaussian Filter lebih baik daripada Median Filter dalam *image softening* berdasarkan nilai PSNR yang lebih besar. Studi komparatif lainnya juga memberikan perspektif yang berbeda. (Khaerunnisa, 2025) mengevaluasi kinerja Median

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

Filter dan Progressive Switching Median Filter (PSMF) pada citra standar dengan tingkat *noise* berbeda (15%, 30%, dan 90%), dan menemukan bahwa *Median Filter* unggul dalam efisiensi waktu dengan waktu pemrosesan yang konsisten rendah sehingga cocok untuk aplikasi real-time, namun PSMF menghasilkan kualitas citra yang lebih baik dengan nilai PSNR dan SSIM yang lebih tinggi. (Yamaguchi et al., 2023) mengembangkan metode *edge preserving smoothing filter* menggunakan fast M estimation method dan menemukan bahwa metode yang diusulkan memiliki performa denoising tertinggi terhadap Salt and Pepper Noise dibandingkan filter lainnya termasuk Non Local Mean Filter, Gaussian Filter, Median Filter, Bilateral Filter, dan Adaptive Bilateral Filter.

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan untuk membandingkan metode-metode filtering, namun masih terdapat beberapa *gap* penelitian yang perlu diisi. Pertama, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya membandingkan dua metode filtering, sementara perbandingan komprehensif antara Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter secara bersamaan pada citra grayscale dengan berbagai jenis noise (Gaussian Noise dan Salt and Pepper Noise) masih terbatas. Kedua, evaluasi performa yang dilakukan seringkali hanya menggunakan satu atau dua metrik pengukuran seperti PSNR atau MSE, sementara evaluasi yang lebih komprehensif dengan menggunakan berbagai metrik seperti PSNR, MSE, dan SSIM secara bersamaan masih jarang dilakukan. Ketiga, evaluasi kualitas citra yang menggabungkan penilaian objektif kuantitatif dengan penilaian subjektif kualitatif dari pengguna masih terbatas.

Berdasarkan identifikasi persoalan tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Bagaimana perbandingan efektivitas Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter dalam mereduksi Gaussian Noise dan Salt and Pepper Noise pada citra grayscale berdasarkan metrik PSNR, MSE, dan SSIM? (2) Bagaimana penilaian subjektif pengguna terhadap kualitas visual citra hasil filtering dari ketiga metode?

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada beberapa aspek. Pertama, penelitian ini menyajikan perbandingan langsung tiga metode filtering Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter pada dua jenis noise utama yang paling sering muncul pada citra digital, yaitu Gaussian noise dan Salt and Pepper Noise. Kedua, menggunakan tiga metrik kualitas citra, yaitu PSNR, MSE, dan SSIM, sehingga memberikan gambaran performa yang lebih komprehensif. Ketiga, penelitian ini menganalisis performa ketiga metode terhadap dua jenis *noise* yang berbeda (Gaussian Noise dan Salt and Pepper Noise), menggabungkan evaluasi objektif kuantitatif dengan penilaian subjektif pengguna untuk memberikan hasil yang lebih representatif terhadap persepsi kualitas visual. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam memperkaya literatur tentang teknik reduksi *noise* pada citra digital dan memberikan landasan empiris yang kuat untuk pengembangan sistem pengolahan citra yang lebih efektif dan efisien.

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, digunakan metode eksperimen untuk membandingkan tiga teknik filter, yaitu Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter dalam mengurangi *noise* pada citra digital. Setiap *filter* diuji pada citra yang sama agar hasil perbandingannya lebih adil dan akurat. Setelah itu, dilakukan metode penelitian kualitatif dengan melakukan survei ke 5 responden untuk menilai perbedaan gambar yang dihasilkan oleh setiap *filter*.

Proses penelitian dilakukan dengan cara menambahkan *noise* ke citra, lalu membersihkannya menggunakan tiga jenis *filter* tersebut. Hasil dari masing-masing *filter* kemudian dibandingkan berdasarkan nilai kualitas citra yang dihasilkan.

A. Variabel Penelitian

1) Variabel bebas: jenis *filter* yang digunakan *(Gaussian Blur, Median Filter, Bilateral Filter).*
2) Variabel terikat: kualitas hasil citra setelah di-*filter*.
3) Variabel kontrol: jenis dan tingkat *noise*, ukuran kernel, jenis citra, serta ukuran citra yang digunakan.

B. Penilaian Hasil Akhir Eksperimen

Untuk menilai hasil, digunakan tiga ukuran kualitas citra, yaitu:

1) PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) semakin tinggi nilainya, kualitas citra makin baik.
2) MSE (Mean Squared Error) semakin kecil nilainya, semakin sedikit kesalahan dari citra aslinya.
3) SSIM (Structural Similarity Index) menunjukkan kesamaan struktur antara citra hasil dengan citra asli (nilai mendekati 1 berarti sangat mirip).

C. Data Penelitian

Data yang digunakan berupa citra digital grayscale dari dataset publik atau sampel bawaan OpenCV yaitu Lenna. Semua citra diubah ke ukuran 512×512 piksel agar pengolahan lebih cepat dan hasil pengujian dapat dibandingkan dengan mudah. *Noise* ditambahkan sesuai variabel kontrol untuk menguji kinerja masing-masing *filter* di kondisi berbeda.

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

D. Alat dan Bahan

Penelitian dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan beberapa pustaka utama, yaitu:

1) OpenCV (cv2) untuk proses *filtering* citra.
2) NumPy untuk perhitungan numerik.
3) scikit-image (skimage.metrics) untuk menghitung nilai PSNR, MSE, dan SSIM.
4) Matplotlib untuk menampilkan hasil citra dan grafik.

Eksperimen dijalankan pada komputer dengan sistem operasi Windows, prosesor Intel Core i5, dan RAM 16 GB.

E. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

1) Menyiapkan citra uji dari dataset.
2) Menambahkan *noise* ke dalam citra dengan jenis dan tingkat tertentu.
3) Menerapkan tiga jenis *filter* (Gaussian, Median, Bilateral) pada citra yang sudah terkena *noise*.
4) Mengukur hasil *filtering* secara kuantitatif menggunakan nilai PSNR, MSE, dan SSIM.
5) Melakukan survei kualitatif dengan meminta sebanyak 5 responden untuk menilai perbedaan kualitas citra hasil *filter* secara visual.
6) Membandingkan hasil dari ketiga metode berdasarkan data kuantitatif dan persepsi responden untuk mengetahui *filter* mana yang paling baik dalam mengurangi *noise*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan citra pada penelitian ini dimulai dengan penyiapan citra uji, dilanjutkan dengan penambahan *noise* yang merepresentasikan kondisi degradasi citra pada dunia nyata, serta penerapan tiga teknik *filter* yang menjadi fokus analisis. Tahapan-tahapan tersebut menjadi dasar dalam menilai efektivitas masing-masing metode melalui evaluasi visual maupun kuantitatif, sehingga implementasi yang dilakukan mencerminkan kondisi pemrosesan citra yang relevan dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

A. Implementasi Pengolahan Citra

Pengolahan citra pada penelitian ini diawali dengan menyiapkan citra uji sebagai dasar proses pengolahan. Citra yang digunakan pada pengolahan citra ini berasal dari dataset publik, yaitu citra Lenna. Citra Lenna yang akan diolah memiliki ukuran 512×512 piksel. Citra ini dipilih karena memiliki variasi tekstur, detail yang cukup kompleks dan memiliki area dengan perbedaan kontras yang tinggi, sehingga mampu menguji kemampuan *filter* dalam mereduksi *noise* sekaligus mempertahankan struktur tepi. Citra diubah ke ukuran standar untuk mempermudah perbandingan hasil *filtering* dan memastikan keseragaman pengolahan. Penyeragaman ini juga bertujuan menjaga kesetaraan kondisi uji antarmetode. Pada tahap ini, citra Lenna berada dalam format RGB. Penggunaan citra berwarna pada tahap ini untuk menampilkan citra asli dan menunjukkan kondisi awal sebelum dilakukan proses lanjutan.



Gambar 1. Citra Lenna RGB

Selanjutnya, setelah citra dengan format RGB ditampilkan, citra kemudian diubah formatnya menjadi citra grayscale. Konversi ini dilakukan selaras dengan tujuan penelitian yang berfokus pada pengolahan intensitas piksel, bukan pada warna. Citra grayscale juga merupakan format citra yang umum digunakan dalam eksperimen penghilangan *noise* karena mempermudah dalam analisis, standarisasi pemrosesan, serta perbandingan antar metode filter yang digunakan.



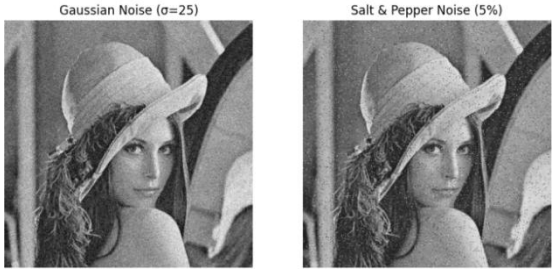
Gambar 2. Citra Lenna *Grayscale*

Tahap selanjutnya adalah penambahan *noise.* Tahap ini dilakukan untuk membuat simulasi kondisi citra yang terdegradasi dan mengevaluasi efektivitas *filter* dalam kondisi degradasi citra. Dua jenis noise digunakan dalam pengolahan ini, yaitu Gaussian Noise serta Salt & Pepper Noise. Gaussian Noise dipilih untuk meniru gangguan intensitas acak yang umum terjadi. Sedangkan, Salt and Pepper Noise dipilih karena dapat merepresentasikan gangguan impulsif yang bersifat bintik.

Gaussian Noise yang diimplementasikan pada citra grayscale memiliki nilai mean 0 dan sigma 25. Kemudian, implementasi Salt and Pepper Noise

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

pada citra grayscale memiliki nilai probabilitas 0,05. Kedua jenis noise ini menghasilkan efek yang berbeda pada citra grayscale. Gaussian Noise menghasilkan butiran halus yang tersebar merata, sedangkan Salt and Pepper Noise menghasilkan bintik acak hitam dan putih. Penambahan *noise* ini memungkinkan penelitian untuk menilai kinerja *filter* terhadap karakteristik *noise* yang berbeda, sehingga evaluasi efektivitas *filter* dapat dilakukan secara lebih komprehensif.



Gambar 3. Pemberian Gaussian dan Salt and Pepper Noise

Tahap berikutnya adalah penerapan filter. Filter digunakan untuk mengurangi noise pada citra kemudian dilakukan penilaian kemampuan tiap metode filter. Tiga filter yang diterapkan, yakni Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter. Gaussian Blur diterapkan untuk meratakan distribusi noise dan menghasilkan penghalusan global. Median Filter digunakan untuk mengatasi bentuk noise impulsif tanpa merusak tepi citra. Bilateral Filter digunakan sebagai metode yang menjaga detail tepi sambil tetap melakukan smoothing intensitas. Ketiga filter tersebut akan digunakan untuk implementasi reduksi noise pada citra grayscale Lenna.

Gaussian Blur diterapkan pada citra yang terkontaminasi noise menggunakan kernel berukuran 5×5 dan nilai standar deviasi 1. Proses filtering dilakukan dengan menerapkan fungsi cv2.GaussianBlur() pada citra Gaussian Noise maupun Salt and Pepper Noise. Filter ini bekerja dengan menghitung nilai piksel baru melalui pembobotan Gaussian terhadap piksel-piksel tetangga, sehingga menghasilkan efek penghalusan pada permukaan citra. Mekanisme ini membuat setiap piksel dipengaruhi oleh jarak terhadap pusat kernel, di mana piksel yang lebih dekat memiliki bobot lebih tinggi. Implementasi Gaussian Blur dalam kode dilakukan melalui perintah cv2.GaussianBlur(gaussian_noisy, (5,5), 1) dan cv2.GaussianBlur(sp_noisy, (5,5), 1), sehingga memastikan proses *smoothing* diterapkan secara konsisten pada kedua jenis *noise.*

Median Filter diterapkan menggunakan kernel berukuran 5 dan dipanggil melalui fungsi cv2.medianBlur() untuk memproses citra yang mengandung Gaussian Noise maupun Salt and Pepper Noise. Filter ini bekerja dengan mengganti nilai setiap piksel dengan nilai median dari piksel-piksel di sekitarnya dalam area kernel. Mekanisme pemilihan median membuat filter ini efektif dalam menghilangkan nilai intensitas yang berbeda jauh dari lingkungan terdekatnya. Proses ini dijalankan secara berulang pada seluruh piksel citra, sehingga menghasilkan citra yang telah mengalami pereduksian noise berbasis operasi statistik median. Pada tahap implementasi, mediasi diterapkan melalui cv2.medianBlur(gaussian_noisy, 5) dan cv2.medianBlur(sp_noisy, 5) sebagai prosedur filtering yang sama pada kedua jenis noise dengan struktur kernel yang seragam.

Bilateral Filter diterapkan untuk melakukan smoothing citra dengan tetap menjaga struktur tepi, menggunakan parameter d = 9, σColor = 75, dan σSpace = 75. Filter ini dijalankan menggunakan fungsi cv2.bilateralFilter() yang mengkombinasikan jarak spasial dan kesamaan intensitas dalam proses pembobotan nilai piksel. Berbeda dengan Gaussian Blur yang hanya mengandalkan jarak piksel, Bilateral Filter mempertimbangkan kemiripan nilai intensitas sehingga piksel dengan perbedaan intensitas terlalu besar tidak memberikan kontribusi signifikan dalam perhitungan. Dengan demikian, operasi *smoothing* diterapkan secara selektif berdasarkan dua domain tersebut. Implementasinya direpresentasikan melalui kode cv2.bilateralFilter(gaussian_noisy, 9, 75, 75) dan cv2.bilateralFilter(sp_noisy, 9, 75, 75), memastikan parameter yang sama digunakan untuk memproses kedua citra yang telah diberikan *noise.*

B. Interpretasi Hasil Filtering

Interpretasi dilakukan terhadap hasil Interpretasi dilakukan terhadap hasil pengolahan citra setelah penerapan tiga jenis filter, yaitu Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter, pada kedua citra yang telah diberi Gaussian Noise dan Salt and Pepper Noise. Interpretasi dilakukan dengan meninjau kualitas citra hasil filtering secara visual serta membandingkannya berdasarkan karakteristik penghalusan, ketajaman tepi, dan tingkat reduksi noise yang tampak pada citra. Setiap hasil ditampilkan secara berurutan agar perbedaan antara citra dengan noise dan citra yang telah melewati proses filtering dapat diamati dengan jelas.

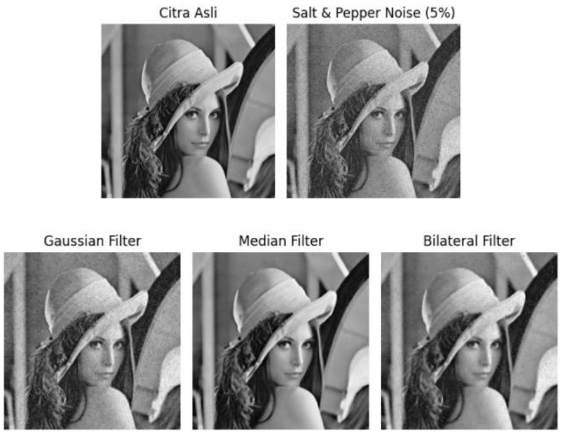


p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922



Gambar 4. Perbandingan *Filter Gaussian Noise*

Hasil perbandingan visual antara citra asli grayscale, citra ber-noise, dan citra setelah diterapkan ketiga filter menunjukkan tingkat reduksi noise yang berbeda pada masing-masing teknik filtering. Berdasarkan perbandingan visual antara citra asli grayscale, citra yang telah diberi Gaussian Noise, dan hasil proses filtering, terlihat bahwa penambahan Gaussian Noise menimbulkan butiran granular halus yang tersebar merata pada seluruh area citra, sehingga tekstur wajah dan latar belakang tampak kasar serta detail halus menjadi kabur. Setelah dilakukan proses filtering, masing-masing metode menunjukkan karakteristik yang berbeda. Gaussian Filter mampu mengurangi noise secara merata, tetapi efek penghalusannya membuat beberapa tepi menjadi kurang tajam. Median Filter menghasilkan pengurangan noise yang lebih signifikan dibandingkan Gaussian Filter dan memberikan permukaan yang lebih bersih, meskipun beberapa detail halus ikut sedikit terdistorsi akibat proses median yang bersifat non-linear. Sementara itu, Bilateral Filter menunjukkan keseimbangan yang baik, di mana noise tampak berkurang secara efektif namun kontur tepi seperti garis topi, rambut, dan batas objek tetap lebih terjaga dibandingkan dua filter lainnya. Secara keseluruhan, visualisasi ini menunjukkan bahwa ketiga filter mampu mereduksi Gaussian Noise, namun tingkat penghalusan, pelestarian tepi, dan kejernihan detail berbeda sesuai prinsip kerja masing-masing metode.



Gambar 5. Perbandingan *Filter Salt Pepper Noise*

Selanjutnya adalah perbandingan secara visual pada citra asli, citra ber-noise Salt and Pepper, dan hasil filtering menggunakan Gaussian, Median, dan Bilateral Filter. Di sini terlihat perbedaan yang cukup jelas dalam kemampuan masing-masing metode dalam mereduksi noise impulsif. Citra Salt and Pepper dengan tingkat noise 5% menunjukkan titik-titik putih dan hitam yang tersebar tajam dan kontras sehingga mengganggu struktur visual citra. Setelah penerapan Gaussian Filter, noise memang berkurang tetapi masih tampak cukup banyak titik impulsif karena Gaussian cenderung melakukan smoothing global sehingga kurang efektif menghilangkan noise impulsif. Median Filter menunjukkan hasil yang paling bersih di antara ketiganya, dengan sebagian besar noise impulsif hilang dan tepi citra tetap terlihat jelas, sesuai karakteristik median yang memang dirancang untuk menangani noise impulsif. Bilateral Filter mampu meratakan sebagian noise sambil menjaga ketajaman tepi, namun tidak seefektif median dalam menghilangkan titik-titik ekstrem Salt and Pepper, sehingga noise residu masih tampak terutama pada area datar. Secara keseluruhan, Median memberikan reduksi noise paling signifikan, Gaussian memberikan penghalusan menyeluruh, dan Bilateral menghasilkan keseimbangan antara *smoothing* dan pelestarian tepi meskipun kurang optimal terhadap *noise* impulsif.

C. Analisis Perbandingan Gaussian Blur, Median, dan Bilateral Filter

Untuk mendapatkan perbandingan efektivitas antar teknik filtering, dilakukan evaluasi menyeluruh terhadap kualitas hasil perbaikan citra menggunakan tiga metrik kuantitatif utama, yaitu Mean Squared Error (MSE), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), dan Structural Similarity Index Measure (SSIM). Masing-masing metrik memberikan gambaran tingkat distorsi, kejernihan sinyal, serta kesamaan struktur antara citra hasil pemrosesan dan citra asli. Selain evaluasi numerik, analisis juga dilengkapi dengan survei persepsi visual untuk menilai kualitas citra berdasarkan penilaian subjektif pengguna. Pendekatan secara objektif dan subjektif ini digunakan untuk memberikan penilaian yang lebih komprehensif terhadap efektivitas setiap metode filtering dalam mereduksi Gaussian Noise maupun Salt and Pepper Noise.

Tabel 1. Perbandingan Efektivitas pada Citra *Gaussian Noise*

Teknik Filtering	Metriks Evaluasi		
	MSE	PSNR	SSIM
Gaussian	81,0971	29,0408	0,6796
Median	98,0210	28,2176	0,6743
Bilateral	85,1586	28,8285	0,7202

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

Tabel 1 menggambarkan hasil evaluasi efektivitas ketiga teknik filtering dengan metriks MSE, PSNR dan SSIM. Gaussian Filter memberikan nilai MSE terendah yaitu 81.0971 lebih kecil dibandingkan dua metode lainnya. Nilai PSNR yang dihasilkan juga paling tinggi, yaitu 29.0408 dB, menunjukkan bahwa citra hasil pemrosesan memiliki tingkat distorsi paling rendah dan kualitas paling mendekati citra referensi. Meskipun nilai SSIM-nya bukan yang tertinggi (0.7020), angka tersebut tetap menunjukkan bahwa Gaussian Filter mampu mempertahankan struktur citra cukup baik. Median Filter menghasilkan nilai MSE jauh lebih tinggi (182.2917) dan PSNR yang lebih rendah (25.5261 dB), menandakan metode ini kurang efektif untuk Gaussian Noise karena sifat Median yang dirancang untuk mengatasi noise impulsif, bukan noise yang menyebar halus di seluruh piksel. Selain itu, nilai SSIM sebesar 0.5666 menunjukkan bahwa struktur citra mengalami degradasi yang lebih besar dibandingkan dua metode lainnya. Di sisi lain, Bilateral Filter menunjukkan nilai SSIM tertinggi yaitu 0.7202, yang berarti ia paling baik dalam menjaga tekstur dan struktur tepi meskipun nilai MSE (101.2440) dan PSNR (28.0757 dB) tidak sebaik Gaussian Filter. Hal ini menunjukkan bahwa Bilateral mampu mempertahankan detail namun tidak seefektif Gaussian Filter dalam menekan distribusi noise secara menyeluruh. Dengan mempertimbangkan kombinasi nilai MSE terendah dan PSNR tertinggi, Gaussian Filter dapat disimpulkan sebagai metode paling efektif untuk mereduksi Gaussian Noise karena mampu menghasilkan citra dengan distorsi paling kecil dan kualitas intensitas yang paling stabil.

Tabel 2. Perbandingan Efektivitas pada Citra Salt and Pepper Noise

Teknik Filtering	**Metriks Evaluasi**		
	MSE	**PSNR**	**SSIM**
Gaussian	112,9030	27,6037	0,6180
Median	49,7345	31,1642	0,8443
Bilateral	220,6247	24,6943	0,5538

Selanjutnya adalah hasil evaluasi metrik pada citra yang terkontaminasi Salt and Pepper Noise menunjukkan adanya perbedaan performa yang signifikan di antara ketiga metode filtering. Gaussian Filter menghasilkan nilai MSE sebesar 112.9030, PSNR 27.6037 dB, dan SSIM 0.6180, yang menunjukkan bahwa metode ini hanya mampu mereduksi noise secara moderat karena sifat smoothing globalnya tidak efektif menghapus bintik hitam-putih yang bersifat ekstrem. Bilateral Filter memperoleh hasil yang lebih rendah dengan MSE tertinggi (220.6247), PSNR terendah (24.6943 dB), serta SSIM terendah (0.5538), menandakan bahwa pendekatan Bilateral yang menjaga ketajaman tepi tidak mampu menangani noise impulsif yang sangat kontras. Sebaliknya, Median Filter menunjukkan performa paling unggul dengan MSE terendah (49.7345), PSNR tertinggi (31.1642 dB), dan SSIM tertinggi (0.8443), sehingga memberikan hasil paling mendekati citra asli. Dengan demikian, Median Filter dapat disimpulkan sebagai metode yang paling efektif untuk mereduksi Salt and Pepper Noise karena paling mampu menghilangkan bintik impulsif sambil tetap mempertahankan struktur citra.

Selain evaluasi berbasis metriks, penilaian efektivitas teknik filtering juga diperkuat melalui survei persepsi visual yang melibatkan 20 responden mahasiswa Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak (TPL) untuk menilai kejernihan, ketajaman, dan kenyamanan tampilan citra hasil pemrosesan. Penilaian ini berfokus pada pemilihan filter terbaik secara keseluruhan untuk setiap jenis noise dan tingkat kenyamanan visual citra yang dihasilkan.

Hasil survei menunjukkan adanya trade-off visual pada Gaussian Noise (GN) namun konsensus kuat pada Salt and Pepper Noise (SP). Untuk mereduksi Gaussian Noise, Gaussian Filter menjadi pilihan dominan secara keseluruhan dengan perolehan 11 dari 20 responden (55%). Berikutnya, tercatat dimana Median Filter dengan 5 responden (25%) dan Bilateral Filter dengan 4 responden (20%), menunjukkan bahwa preferensi peserta terbagi menjadi dua kecenderungan utama: (1) memilih Gaussian Filter karena kemampuannya menghasilkan kehalusan (smoothing) yang menyeluruh, dan (2) memilih Bilateral Filter karena dinilai lebih unggul dalam mempertahankan detail dan ketajaman struktur citra.

Temuan ini selaras dengan data metrik objektif, di mana Bilateral Filter memiliki nilai Structural Similarity Index (SSIM) tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa aspek pelestarian struktur citra sangat memengaruhi penilaian subjektif responden. Berbeda dengan Gaussian Noise, pada Salt and Pepper Noise respon peserta jauh lebih konsisten. Median Filter dipilih oleh 10 dari 20 responden (50%), menunjukkan dominasi yang kuat dan mendukung temuan metrik objektif bahwa metode ini paling efektif dalam menghilangkan noise impulsif. Adapun Bilateral Filter memperoleh 6 suara (30%) dan Gaussian Filter mendapat 4 suara (20%). Konsistensi ini mempertegas bahwa kemampuan Median Filter dalam menangani noise tipe impulsif sangat jelas terlihat secara visual oleh responden.

Tingkat kenyamanan visual terhadap citra hasil filtering, baik pada Gaussian Noise maupun Salt and Pepper Noise tergolong baik. Sebanyak 11 dari 20 responden (55%) menyatakan puas dengan kualitas visual akhir. Hasil ini menunjukkan bahwa

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

ketiga filter, meskipun memiliki kelebihan dan keterbatasan pada jenis noise tertentu, tetap mampu mereduksi degradasi citra sampai pada tingkat yang dapat diterima secara visual.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan proses eksperimen yang telah dilakukan terhadap tiga metode filtering yaitu Gaussian Blur, Median Filter, dan Bilateral Filter pada citra grayscale yang terkontaminasi Gaussian Noise dan Salt and Pepper Noise, serta evaluasi menggunakan metrik PSNR, MSE, SSIM dan penilaian subjektif pengguna, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Median Filter terbukti paling efektif untuk mereduksi Salt and Pepper Noise, karena mekanisme Median Filter mampu menghilangkan nilai intensitas ekstrem tanpa merusak struktur tepi citra. Temuan ini konsisten dengan hipotesis awal bahwa Median Filter unggul dalam menangani noise impulsif.
2. Bilateral Filter memberikan performa terbaik dalam mereduksi Gaussian Noise, terutama dalam mempertahankan ketajaman tepi. Hal ini sesuai dengan hipotesis bahwa Bilateral Filter, dengan kombinasi komponen spasial dan intensitas, dapat menjaga detail tekstur lebih baik dibanding Gaussian Blur.
3. Gaussian Blur mampu mereduksi Gaussian Noise, tetapi menghasilkan efek penghalusan global yang menyebabkan hilangnya detail penting pada tepi citra. Filter ini memiliki kinerja paling rendah dalam mempertahankan struktur citra dibanding dua metode lainnya.
4. Evaluasi visual dan penilaian subjektif responden menunjukkan kecenderungan yang sama dengan evaluasi kuantitatif, yaitu Median dan Bilateral Filter lebih disukai karena menghasilkan citra yang lebih bersih dan lebih alami dibanding Gaussian Blur.
5. Dari sisi kelebihan dan kekurangan:
   a) Gaussian Blur: sederhana, cepat, tetapi menyebabkan blur signifikan pada tepi.
   b) Median Filter: sangat baik untuk noise impulsif, tetapi kurang optimal untuk Gaussian noise.
   c) Bilateral Filter: unggul dalam menjaga detail, namun memiliki kompleksitas komputasi tertinggi.
6. Kombinasi penggunaan metrik objektif (PSNR, MSE, SSIM) dan evaluasi subjektif memberikan gambaran performa filter yang lebih komprehensif, sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi dasar empiris dalam pemilihan metode filtering sesuai karakteristik noise pada aplikasi nyata.

Saran

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian ini, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menambahkan lebih banyak variasi parameter filter (ukuran kernel, nilai sigma, parameter bilateral) agar dapat dianalisis sensitivitas performanya terhadap kondisi noise yang berbeda.
2. Memperluas jenis noise yang diuji, seperti Speckle Noise, Poisson Noise, atau Mixed Noise, sehingga hasil penelitian dapat diaplikasikan pada spektrum permasalahan pengolahan citra yang lebih luas.
3. Menggunakan dataset citra yang lebih bervariasi (warna, medis, satelit, tekstur tinggi) untuk meningkatkan generalisasi hasil penelitian.
4. Menambahkan evaluasi waktu komputasi sebagai pertimbangan bagi aplikasi real-time atau perangkat dengan keterbatasan sumber daya.
5. Mengembangkan pendekatan hybrid, misalnya kombinasi Median Bilateral atau Gaussian Bilateral, untuk memperoleh performa terbaik pada noise campuran atau kondisi citra dengan detail kompleks.
6. Memperluas jumlah responden dalam penilaian subjektif agar analisis persepsi visual lebih akurat dan representatif.

DAFTAR PUSTAKA

Al Najjar, Y. (2024). Comparative Analysis of Image Quality Assessment Metrics: MSE, PSNR, SSIM and FSIM. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, *13*(3), 110–114. https://doi.org/10.21275/SR24302013533

Avily, M. A. (2024). *Analisis Perbandingan Metode Contrast Stretching Dan Histogram Equalization Untuk Memperbaiki Kualitas Citra Digital* (Vol. 5, Issue 4).

Dermawan, A., & Handoko, D. (2024). *Algoritma: Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika Penerapan Bilateral Filtering untuk Peningkatan Kualitas Citra Digital Fokus pada Gaussian, Salt-and-Pepper, dan Speckle Noise Application of Bilateral Filtering to Improve Digital Image Quality Focusing on Gaussian, Salt-and-Pepper, and Speckle Noise*. https://jurnal.uinsu.ac.id/index.php/algoritma98

Gour, V., & Sharma, N. (2025). A Comparative Study of Image Denoising Techniques. In *International Journal on Science and Technology (IJSAT) IJSAT25036807* (Vol. 16, Issue 3).

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

Guan, S., Liu, B., Chen, S., Wu, Y., Wang, F., Liu, X., & Wei, R. (2024). Adaptive median filter salt and pepper noise suppression approach for common path coherent dispersion spectrometer. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-66649-y

Hapsari, R. K., Utoyo, M. I., Rulaningtyas, R., & Suprajitno, H. (2020). Comparison of Histogram Based Image Enhancement Methods on Iris Images. *Journal of Physics: Conference Series*, *1569*(2), 022002. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/2/022002

Harahap, N. (2020). (media cetak) Implementasi Metode Bilateral Filter Perbaikan Kualitas Citra RGB. *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, *1*(3), 117–125.

Kersen, Pratama, E., Hansel Winata, D., & Bima Putra Sansaya, M. (2022). *MDP Student Conference (MSC) 2022 Reduksi Noise pada Pengolahan Citra Digital Menggunakan MATLAB*.

Khaerunnisa, U. (2025). *Spectrum: Multidisciplinary Journal Reduksi Noise pada Citra Standar Menggunakan Metode Progressive Switching Median Filter* (Vol. 2, Issue 3).

Mudeng, V., Kim, M., & Choe, S. (2022). Prospects of Structural Similarity Index for Medical Image Analysis. *Applied Sciences*, *12*(8), 3754. https://doi.org/10.3390/app12083754

Prayogi, D., Lubis, S. R., Rizko, M. A., & Suteja, A. G. (2025). Optimalisasi Segmentasi Citra Digital Metode Canny Edge Detection dan Thresholding. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, *4*(2), 6334–6339. https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.1613

Setyawan, G. C., & Nawansari, M. P. (2022). Kinerja Penapisan Gaussian dan Median Dalam Pelembutan Citra. *JIFOTECH (Journal of Information Technology*, *2*(2).

Tinaliah, T., & Elizabeth, T. (2020). Peningkatan Kualitas Citra X-Ray Paru-Paru Pasien Covid-19 Menggunakan Metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. *Jurnal Teknologi Informasi*, *4*(2), 345–349. https://doi.org/10.36294/jurti.v4i2.1709

Tsaqofah, M., Sofinah Harahap, L., & Hasibuan, D. S. (2025). *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications Optimization of Digital Image Processing Through Gaussian Filtering for Noise Reduction* (Vol. 4, Issue 3). https://ioinformatic.org/

Yamaguchi, Y., Yoshida, I., Kondo, Y., Numada, M., Koshimizu, H., Oshiro, K., & Saito, R. (2023). Edge-preserving smoothing filter using fast M-estimation method with an automatic determination algorithm for basic width. *Scientific Reports*, *13*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-32013-9