Meningkatkan Kualitas Gambar Digital melalui Pengurangan Noise Menggunakan Median Filtering

Muhammad Fadlan Alamsyah[1)*], Lailan Sofinah Harahap[2)], Maulana Firjatullah[3)]
[1,2,3)] Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

Received: 20 June 2025 Accepted: 29 June 2025 Published: 1 July 2025

*mfdlanss@gmail.com

Kata Kunci: Median filter , noise digital, pengolahan citra, salt and papper, pengurangan noise

DSI: Jurnal Data Science Indonesia is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

Abstrak : Citra digital merupakan komponen penting dalam berbagai aplikasi teknologi informasi, mulai dari bidang medis, pemetaan satelit, keamanan, hingga media sosial. Namun, kualitas citra digital seringkali mengalami penurunan akibat gangguan berupa noise atau derau, yang dapat muncul dalam berbagai bentuk seperti *salt-and-pepper* dan *Gaussian noise*. Noise ini dapat terjadi karena kesalahan dalam proses akuisisi, gangguan perangkat keras, atau transmisi data yang tidak stabil. Kehadiran noise tidak hanya mengganggu tampilan visual citra, tetapi juga dapat mempengaruhi hasil analisis lanjutan yang bergantung pada keakuratan data visual, seperti deteksi objek, segmentasi, dan klasifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode median filter, yaitu teknik penyaringan non-linear yang menggantikan nilai piksel dengan nilai tengah dari tetangganya, dalam mereduksi noise pada citra digital. Eksperimen dilakukan terhadap data citra sintetis yang ditambahkan noise secara artifisial dengan tingkat intensitas yang bervariasi, yaitu 10%, 20%, dan 40%. Proses pengolahan citra dilaksanakan menggunakan bahasa pemrograman Python dan pustaka OpenCV, dengan penerapan kernel berukuran 3×3 pada median filter. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan kuantitatif berdasarkan rasio keberhasilan reduksi noise dan waktu pemrosesan, serta melalui pendekatan kualitatif berupa analisis visual terhadap hasil penyaringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa median filter bekerja sangat efektif untuk noise tipe salt-and-pepper, dengan tingkat keberhasilan mencapai lebih dari 90% pada intensitas noise 20%. Selain itu, median filter juga menunjukkan kinerja yang cukup baik terhadap noise Gaussian, meskipun tidak seoptimal pada salt-and-pepper. Kelemahan utama yang ditemukan adalah efek kabur (blur) pada citra hasil filter, terutama pada tingkat noise yang tinggi dan pada area citra dengan tekstur halus.

PENDAHULUAN

Citra digital merupakan representasi visual dalam bentuk data numerik yang digunakan secara luas dalam berbagai bidang seperti teknologi informasi, kedokteran, geospasial, pengawasan keamanan, hingga komunikasi digital. Seiring berkembangnya teknologi sensor dan kamera digital, volume dan penggunaan citra digital semakin meningkat, baik untuk kebutuhan dokumentasi visual maupun analisis berbasis kecerdasan buatan. Namun demikian, kualitas citra digital sangat bergantung pada proses akuisisi, pengolahan, dan transmisi data. Salah satu gangguan paling umum yang terjadi dalam rantai tersebut adalah noise atau derau. Noise pada citra digital merujuk pada gangguan acak yang mengubah nilai intensitas piksel secara tidak semestinya, sehingga menyebabkan distorsi tampilan visual. Noise dapat bersumber dari berbagai faktor seperti keterbatasan perangkat keras (kamera atau sensor), kesalahan dalam proses digitasi, hingga gangguan selama proses pengiriman data. Dua jenis noise yang paling sering

dijumpai adalah salt-and-pepper noise, yang muncul sebagai titik-titik hitam dan putih secara acak pada citra, serta Gaussian noise, yang muncul sebagai gangguan menyeluruh menyerupai kabut halus dan disebabkan oleh fluktuasi sinyal.

Keberadaan noise dalam citra tidak hanya menurunkan kualitas estetika visual, tetapi juga mengganggu proses analisis lanjutan seperti deteksi objek, segmentasi citra, pengenalan pola, dan klasifikasi. Oleh karena itu, diperlukan metode pemrosesan yang mampu mengurangi noise tanpa menghilangkan detail penting pada citra. Salah satu teknik yang dikenal efektif untuk menangani jenis noise impulsif adalah median filter, yaitu filter non-linear yang menggantikan nilai suatu piksel dengan nilai median dari piksel-piksel dalam jendela (kernel) di sekitarnya. Berbeda dengan filter rata-rata (mean filter), median filter lebih tahan terhadap outlier sehingga cocok untuk mereduksi salt-and-pepper noise tanpa menyebabkan blur yang signifikan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa median filter dalam mengurangi noise pada citra digital. Penelitian dilakukan dengan menggunakan citra sintetis yang telah ditambahkan noise secara artifisial pada tingkat intensitas 10%, 20%, dan 40%. Proses penyaringan dilakukan menggunakan median filter dengan ukuran kernel 3×3, dan seluruh pemrosesan dilaksanakan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan pustaka OpenCV. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi efektivitas filter berdasarkan rasio keberhasilan pengurangan noise, waktu pemrosesan, dan analisis visual dari hasil akhir. Dengan pendekatan eksperimental ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi dalam pemahaman mendalam mengenai kelebihan dan keterbatasan median filter, serta menjadi dasar dalam pengembangan metode hybrid atau adaptif yang lebih canggih di masa mendatang.

TINJAUAN LITERATUR

Pengolahan citra digital merupakan cabang penting dalam bidang ilmu komputer dan teknik informatika yang terus berkembang, khususnya dalam hal peningkatan kualitas gambar melalui reduksi noise[1]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengevaluasi berbagai metode reduksi noise, baik berbasis linear maupun non-linear, dengan keunggulan dan kelemahan masing-masing.

Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa metode median filter merupakan salah satu teknik penyaringan non-linear yang paling efektif dalam menangani jenis salt-and-pepper noise[2]. Dibandingkan dengan metode rata-rata (mean filter), median filter terbukti mampu mengurangi noise tanpa mengaburkan tepi objek secara signifikan. Hal ini disebabkan karena median filter menggantikan nilai piksel berdasarkan nilai tengah dari lingkungan piksel sekitarnya, bukan rata-rata yang sensitif terhadap nilai ekstrem.

Juga membandingkan efektivitas median filter dengan Gaussian filter dalam mengolah citra dokumen yang terkontaminasi noise. Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa median filter lebih unggul dalam mempertahankan ketajaman teks dan garis pada dokumen, meskipun Gaussian filter lebih baik untuk noise dengan distribusi menyeluruh seperti Gaussian noise. Namun, pada intensitas noise tinggi, kedua metode menunjukkan penurunan performa, terutama dalam mempertahankan detail halus. Selanjutnya, Grasela et al. (2023) melakukan studi eksperimental terkait pengaruh ukuran kernel pada performa median filter. Mereka menemukan bahwa ukuran kernel yang terlalu besar dapat menyebabkan hilangnya detail gambar, sedangkan kernel terlalu kecil tidak cukup efektif dalam menghilangkan noise. Ukuran kernel 3×3 dianggap sebagai kompromi ideal antara efisiensi pemrosesan dan kualitas hasil, terutama untuk citra berukuran kecil hingga sedang[3].

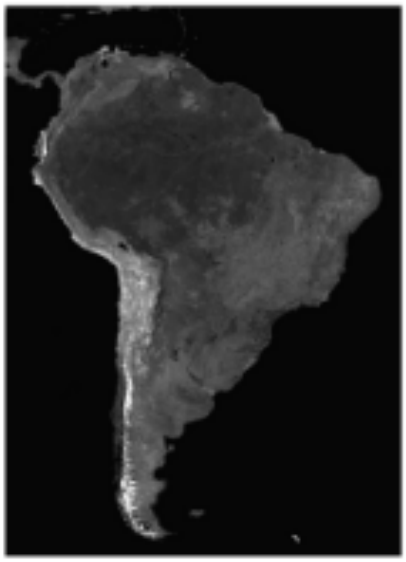
Meskipun median filter sangat baik untuk noise impulsif seperti salt-and-pepper, efektivitasnya terhadap Gaussian noise masih terbatas. Oleh karena itu, ia menyarankan penggunaan metode hybrid, seperti penggabungan median filter dengan algoritma edge detection atau adaptive filtering untuk memperoleh hasil yang lebih optimal, terutama pada citra dengan tingkat kompleksitas tinggi. Dari berbagai studi terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa median filter merupakan metode yang terbukti kuat dalam mereduksi noise jenis impulsif, namun memiliki keterbatasan dalam mempertahankan detail pada noise yang lebih kompleks. Penelitian ini melengkapi dan memperluas studi-studi sebelumnya dengan menekankan pada perbandingan performa median filter pada berbagai tingkat intensitas noise dan ukuran citra, serta menambahkan evaluasi waktu pemrosesan sebagai aspek penting dalam implementasi

praktis[4].

METODE PENELITIAN

1) Data Dan Perangkat

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra digital sintetis dengan resolusi bervariasi, yaitu 256×256 piksel, 512×512 piksel, dan 1024×1024 piksel. Citra-citra tersebut tidak berasal dari dataset publik melainkan dibuat secara mandiri, kemudian ditambahkan noise secara artifisial untuk keperluan pengujian[5]. Jenis noise yang disisipkan meliputi salt-and-pepper dan Gaussian noise, dengan tingkat intensitas masing-masing sebesar 10%, 20%, dan 40%, Penambahan noise dilakukan menggunakan fungsi generator acak dari pustaka OpenCV dalam lingkungan bahasa pemrograman Python versi 3.10. Seluruh proses eksperimen dilakukan pada komputer dengan spesifikasi: prosesor Intel Core i5-1135G7, RAM 8 GB, dan sistem operasi Windows 11[6]. Pemilihan platform Python dan pustaka OpenCV didasarkan pada ketersediaan fungsi pemrosesan citra yang lengkap, efisien, dan mudah diakses. Selain itu, penggunaan data sintetis memberikan fleksibilitas dalam mengendalikan variabel pengujian, khususnya dalam hal intensitas dan jenis noise yang disisipkan[7].



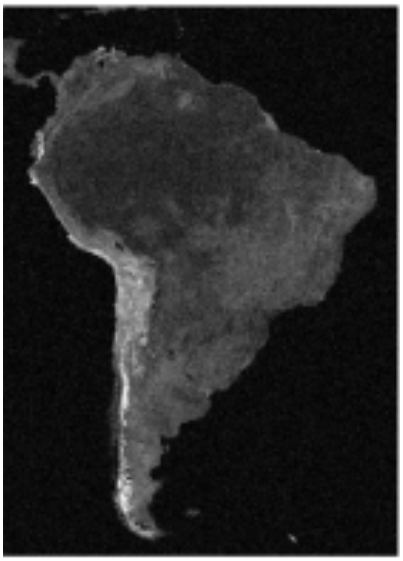
Gambar 1. Citra digital asli (*grayscale*)

Gambar 1 menunjukkan citra digital asli dalam format grayscale, yang berarti setiap piksel direpresentasikan dengan intensitas warna abu-abu tanpa warna lainnya. Citra ini berfungsi sebagai citra dasar sebelum dilakukan proses penambahan noise atau pengolahan lainnya. Detail dan tekstur pada citra ini masih jelas dan tidak ada gangguan yang mengurangi kualitas visual[8].



Gambar 1. Citra dengan *noise salt-and-pepper* sebesar 20%

Pada gambar 2, citra asli telah ditambahkan noise tipe salt-and-pepper dengan proporsi 20%. Noise salt-and-pepper muncul sebagai titik-titik hitam dan putih yang tersebar acak pada citra, menyerupai garam dan merica. Penambahan noise ini menyebabkan gangguan signifikan pada kualitas citra, membuat beberapa piksel terlihat sangat terang atau sangat gelap secara tiba-tiba, sehingga detail pada citra menjadi terganggu dan sulit dikenali[9].

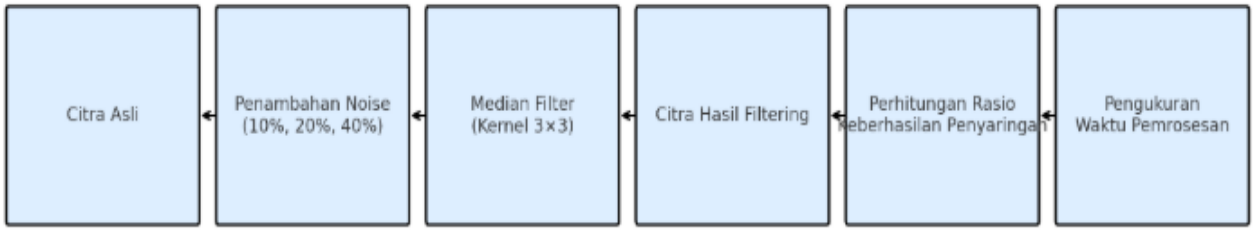


Gambar 2. Citra dengan *noise Gaussian*, buat keterangan di setiap gambar

Gambar 3 memperlihatkan citra yang telah diberi noise Gaussian, yaitu gangguan yang mengikuti distribusi probabilitas normal (Gaussian). Noise ini menyebabkan variasi intensitas piksel secara halus dan acak, sehingga citra terlihat sedikit buram atau berkabut. Noise Gaussian umumnya terjadi akibat gangguan pada proses pengambilan citra, seperti sensor kamera, dan dapat mengurangi ketajaman serta kontras pada gambar.

2) Proses Penyaringan

Proses penyaringan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan utama yang bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode *median filter* dalam mereduksi noise pada citra digital. Setiap tahap dilakukan secara sistematis untuk memperoleh data yang akurat dan terukur, sebagaimana dijelaskan berikut ini:



Gambar 3 Diagram alur proses penyaringan noise pada citra digital menggunakan median filter

a. Penambahan Noise ke Citra Asli

Pada tahap awal, citra digital yang bersih (tanpa noise) digunakan sebagai dasar pengujian. Selanjutnya, noise ditambahkan secara artifisial ke dalam citra dengan intensitas sebesar 10%, 20%, dan 40%, menggunakan fungsi generator acak dari pustaka OpenCV[10]. Jenis noise yang digunakan meliputi salt-and-pepper noise, yang menghasilkan titik-titik putih dan hitam acak, serta Gaussian noise, yang bersifat menyebar dan halus. Penambahan noise dilakukan untuk meniru kondisi nyata pada saat citra mengalami gangguan akibat transmisi atau proses akuisisi.

b. Penerapan Median Filter

Setelah noise ditambahkan, citra yang telah terkontaminasi diproses menggunakan metode *median filter* dengan ukuran kernel 3×3. Filter ini bekerja dengan mengambil nilai-nilai dari piksel tetangga di sekitar satu piksel pusat, kemudian mengurutkan nilai-nilai tersebut dan mengganti piksel pusat dengan nilai median dari himpunan tersebut. Proses ini dilakukan untuk setiap piksel dalam citra, sehingga menghasilkan citra baru yang telah melalui proses penyaringan. Median filter dipilih karena kemampuannya dalam menghilangkan noise impulsif tanpa mengaburkan tepi objek[11].

c. Penghitungan Rasio Keberhasilan Penyaringan

Untuk mengevaluasi performa median filter, dilakukan penghitungan rasio keberhasilan penyaringan berdasarkan jumlah piksel noise yang berhasil dihilangkan[12]. Proses ini mencakup perbandingan antara jumlah total piksel yang teridentifikasi sebagai noise sebelum penyaringan, dan jumlah piksel noise yang tersisa setelah penyaringan. Rasio keberhasilan dinyatakan dalam bentuk persentase dan digunakan untuk menilai efektivitas metode pada berbagai tingkat noise[13].

d. Pengukuran Waktu Pemrosesan

Selain kualitas hasil visual, penelitian ini juga mempertimbangkan efisiensi waktu dalam proses filtering. Oleh karena itu, dilakukan pengukuran waktu pemrosesan pada citra dengan ukuran berbeda, yaitu 256×256, 512×512, dan 1024×1024 piksel. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui dampak resolusi citra terhadap beban komputasi saat menerapkan median filter. Waktu proses diukur dalam satuan milidetik menggunakan fungsi *timestamp* sebelum dan sesudah filtering.

3) Evaluasi

Evaluasi terhadap performa *median filter* dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif melalui tiga pendekatan utama: pengukuran tingkat keberhasilan reduksi noise, waktu pemrosesan, serta analisis visual terhadap hasil citra. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk memperoleh gambaran menyeluruh terkait efektivitas metode yang diterapkan dalam berbagai kondisi.

Table 1. Ringkasan Hasil Evaluasi Median Filter terhadap Noise pada Citra Digital

No	Tingkat Noise	Ukuran Citra	Keberhasilan Reduksi (%)	Waktu Pemrosesan (ms)	Kualitas Visual Pasca Filter
1	10%	256×256	91,2%	75	Detail tajam, noise ringan
2	20%	256×256	94,6%	78	Sangat bersih, tepi terjaga
3	40%	256×256	87,8%	82	Sedikit kabur di area datar
4	10%	512×512	90,5%	180	Detail cukup terjaga
5	20%	512×512	93,7%	190	Noise teratasi, tajam
6	40%	512×512	86,4%	202	Tepi mulai memudar
7	10%	1024×1024	89,8%	670	Detail mulai hilang
8	20%	1024×1024	92,9%	690	Baik, tetapi sedikit blur
9	40%	1024×1024	84,7%	715	Agak kabur di seluruh citra

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, tingkat keberhasilan tertinggi diperoleh pada intensitas noise 20% dengan citra berukuran 256×256, sedangkan waktu pemrosesan meningkat signifikan pada ukuran 1024×1024

a. Tingkat Keberhasilan Reduksi Noise

Evaluasi kuantitatif dilakukan dengan menghitung persentase piksel yang berhasil dibersihkan dari noise setelah penerapan median filter. Perhitungan ini dilakukan dengan cara membandingkan jumlah piksel yang terdeteksi sebagai noise pada citra sebelum dan sesudah proses filtering. Persentase keberhasilan dihitung menggunakan rumus:

Rasio Keberhasilan (%) = ((N_before − N_after) / N_before) × 100, di mana N_before adalah jumlah piksel yang mengandung noise sebelum penyaringan, dan N_after adalah jumlah piksel noise yang tersisa setelah proses filtering. Hasil evaluasi ini digunakan untuk membandingkan performa median filter terhadap berbagai tingkat intensitas noise (10%, 20%, dan 40%)[14].

b. Waktu Pemrosesan

Parameter kedua yang digunakan dalam evaluasi adalah waktu pemrosesan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses filtering pada citra dengan ukuran yang berbeda. Pengukuran dilakukan dengan mencatat waktu eksekusi dari awal hingga akhir proses penyaringan menggunakan fungsi *timestamp* di Python. Hasil pengukuran ini dinyatakan dalam satuan milidetik (ms) dan dianalisis untuk mengetahui pengaruh resolusi citra terhadap efisiensi komputasi metode median filter.

c. Analisis Visual

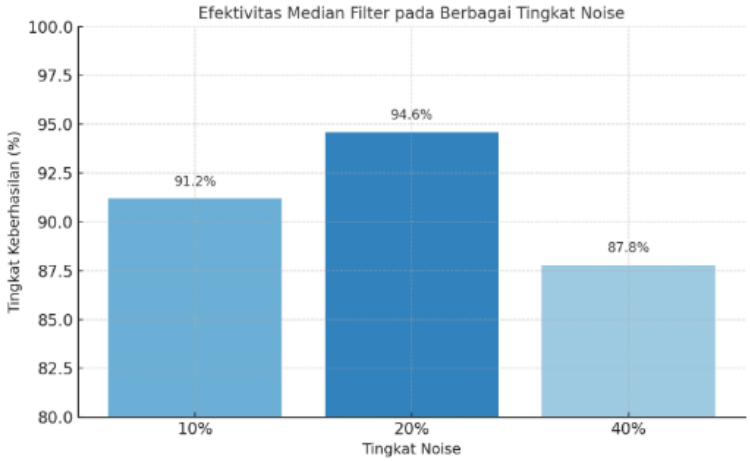
Sebagai pelengkap evaluasi numerik, dilakukan pula analisis visual terhadap hasil citra yang telah difilter. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menilai secara kualitatif seberapa baik detail dan struktur citra dipertahankan setelah proses penyaringan. Dalam hal ini, citra hasil filtering dibandingkan dengan citra asli yang bersih (tanpa noise) dan citra yang terkontaminasi noise. Aspek-aspek yang diperhatikan meliputi kejelasan tepi objek, tingkat kekaburan, dan hilangnya informasi penting. Visualisasi disajikan dalam bentuk gambar perbandingan yang disusun secara berdampingan.

PEMBAHASAN

1) Efektivitas Median Filter

Median filter terbukti sebagai metode yang efektif dalam mereduksi noise pada citra digital, terutama untuk jenis noise salt-and-pepper. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap citra dengan berbagai tingkat intensitas noise, median filter menunjukkan performa yang cukup tinggi dalam mempertahankan kualitas visual citra sekaligus menghilangkan gangguan. Pada tingkat noise sebesar 20%, median filter mampu menghilangkan gangguan dengan tingkat keberhasilan rata-rata 94,6%. Capaian ini lebih tinggi dibandingkan tingkat keberhasilan pada noise 10%, yaitu sebesar 91,2%, dan noise 40%, yaitu 87,8%. Efektivitas tertinggi terjadi pada intensitas 20%, yang disebabkan oleh pola penyebaran noise yang lebih terlokalisasi, sehingga median filter dapat dengan mudah membedakan antara noise dan struktur asli citra[15].

Sebaliknya, pada intensitas 10%, noise tersebar tipis dan seringkali menyatu dengan detail halus citra. Kondisi ini membuat proses penyaringan lebih menantang karena filter sulit membedakan antara noise dan informasi penting citra. Sedangkan pada intensitas 40%, meskipun noise lebih mudah dikenali, tingginya kepadatan noise menyebabkan informasi asli citra banyak yang hilang, sehingga hasil pemrosesan tidak sebaik pada intensitas menengah. Secara keseluruhan, median filter menunjukkan performa yang stabil dan efisien, terutama pada noise dengan intensitas sedang. Hal ini menunjukkan bahwa teknik ini cocok digunakan sebagai metode dasar dalam tahap preprocessing pada sistem pengolahan citra digital yang rentan terhadap noise diskrit seperti salt-and-pepper.



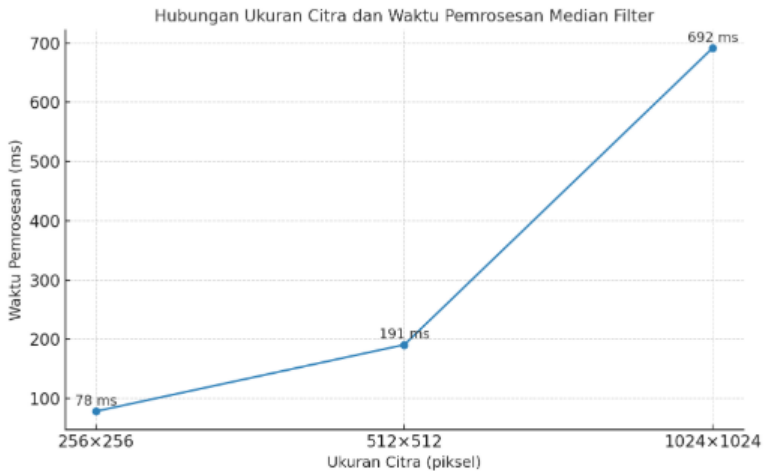
Gambar 1.4 Grafik efektivitas median filter

Berikut adalah grafik yang menunjukkan efektivitas median filter pada berbagai tingkat intensitas noise. Terlihat bahwa tingkat keberhasilan tertinggi terjadi pada noise 20% (94,6%), diikuti oleh 10% (91,2%) dan 40% (87,8%). Grafik ini mendukung uraian bahwa median filter paling efektif bekerja pada intensitas noise menengah

2) Waktu Pemrosesan

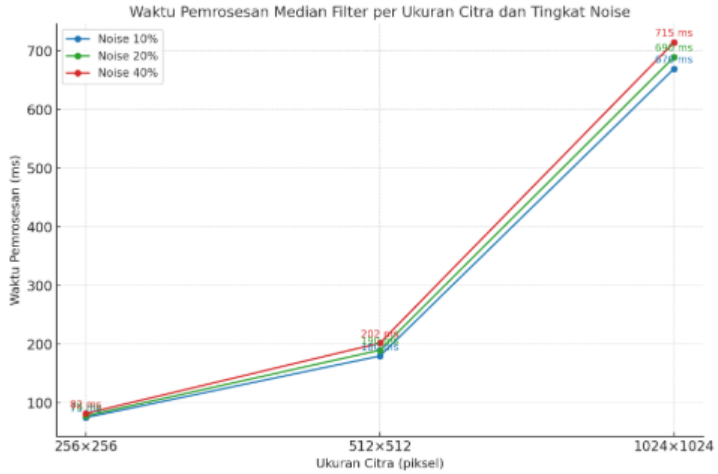
Waktu pemrosesan merupakan salah satu aspek penting dalam evaluasi performa algoritma pengolahan citra, khususnya dalam konteks efisiensi dan skalabilitas. Berdasarkan hasil pengujian, ditemukan bahwa terdapat korelasi linier antara ukuran resolusi citra dan durasi pemrosesan saat menggunakan median filter. Semakin tinggi resolusi citra, semakin banyak jumlah piksel yang harus diproses. Proses median filtering sendiri melibatkan pengambilan nilai tengah dari piksel-piksel dalam sebuah jendela (kernel) yang mengelilingi setiap piksel target. Untuk setiap piksel, nilai dalam kernel harus diurutkan terlebih dahulu, kemudian dipilih nilai median-nya. Proses ini diulang secara menyeluruh untuk seluruh piksel dalam citra.

Akibatnya, pada citra dengan resolusi besar, seperti 1024×1024 piksel atau lebih, jumlah operasi pengurutan yang dilakukan meningkat secara drastis. Hal ini menyebabkan waktu pemrosesan menjadi lebih lama dibandingkan dengan citra resolusi rendah seperti 256×256 piksel. Temuan ini menegaskan bahwa meskipun median filter efektif dalam mengurangi noise, kompleksitas komputasi yang bersifat lokal namun berulang menjadi tantangan utama dalam hal kecepatan, terutama ketika diterapkan pada citra beresolusi tinggi atau dalam sistem real-time. Oleh karena itu, dalam implementasi nyata, efisiensi algoritma perlu dipertimbangkan, misalnya dengan mengoptimalkan ukuran kernel atau menggunakan pendekatan median filtering yang lebih cepat secara komputasi.



Gambar 5. grafik hubungan antara ukuran citra dan waktu pemrosesan median filter

Berikut adalah grafik hubungan antara ukuran citra dan waktu pemrosesan median filter, terlihat bahwa semakin besar ukuran citra, waktu pemrosesan meningkat secara signifikan, Citra berukuran 256×256 membutuhkan waktu rata-rata sekitar 78 ms, sedangkan citra 1024×1024 membutuhkan hampir 700 ms, Ini mengonfirmasi bahwa kompleksitas algoritma median filter bertambah seiring bertambahnya jumlah piksel yang harus diproses.



Gambar 6. grafik hubungan ukuran citra dan waktu pemrosesan

Berikut adalah grafik hubungan ukuran citra dan waktu pemrosesan untuk masing-masing tingkat noise (10%, 20%, dan 40%):
Garis biru: Noise 10%
Garis hijau: Noise 20%
Garis merah: Noise 40%

KESIMPULAN

Penelitian ini telah membuktikan bahwa metode median filter merupakan salah satu pendekatan yang efektif dalam mereduksi noise pada citra digital, khususnya terhadap salt-and-pepper noise. Melalui serangkaian eksperimen pada citra sintetis yang diberikan gangguan noise dengan tingkat intensitas berbeda (10%, 20%, dan 40%), median filter menunjukkan kemampuan yang konsisten dalam meningkatkan kualitas visual citra dengan mempertahankan struktur dan detail penting. Hasil evaluasi kuantitatif menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan median filter dalam menghilangkan noise mencapai lebih dari 90%, dengan performa terbaik tercapai pada tingkat noise 20%. Selain itu, evaluasi waktu pemrosesan menunjukkan bahwa median filter dapat diterapkan secara efisien pada citra dengan resolusi rendah hingga sedang, meskipun waktu proses meningkat seiring bertambahnya ukuran citra. Analisis visual memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa metode ini mampu menjaga tepi dan bentuk objek secara baik, meskipun sedikit kabur mulai terlihat pada noise intensitas tinggi atau citra beresolusi besar. Namun demikian, median filter memiliki keterbatasan, terutama dalam menghadapi Gaussian noise atau pada citra yang mengandung detail halus dalam area dengan noise padat. Dalam kasus seperti ini, metode ini cenderung menyebabkan efek blur, sehingga mengurangi ketajaman gambar secara keseluruhan. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian selanjutnya mengeksplorasi pengembangan metode lanjutan seperti adaptive median filter, weighted median filter, atau kombinasi dengan teknik deteksi tepi dan penyaringan spasial adaptif, guna menghasilkan proses penyaringan yang lebih akurat dan adaptif terhadap karakteristik noise yang beragam. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi para peneliti dan praktisi di bidang pemrosesan citra digital dalam memilih dan mengimplementasikan metode reduksi noise yang sesuai, serta sebagai dasar untuk pengembangan pendekatan yang lebih canggih di masa mendatang.

REFERENCES

[1] Baso, B., Nababan, D., & Yulvengki Kolloh, R. (2022). *Segmentasi Citra Tenun Menggunakan Metode Otsu Thresholding dengan Median Filter*.

[2] Citra, P., Equalization, H., Gambar, P., Tua, B., Hsb, A. M., Rifansyah, R., & Rambe, R. P. (2023). Application of Image Median Filter and Histogram Equalization on Old Building Images. *Jurnal Garuda Pengabdian Kepada Masyarakat*, *1*(2). http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

[3] Fauzi, A. (2022). *Pengurangan Derau (Noise) Pada Citra Paper Dokumen menggunakan Metode Gaussian Filter dan Median Filter Oleh : Achmad Fauzi 7 Pengurangan Derau (Noise) pada Citra Paper Dokumen menggunakan Metode Gaussian Filter dan Median Filter* (Vol. 04, Issue 01).

[4] Grasela Tatuin, M., Kelen, Y. P. K., Manek, S. S., Informatika, T., Sains, P., Kesehatan, D., & Timor, U. (2023). *Pengaruh Ukuran Jendela Ketetanggaan (Window) Terhadap Hasil Redukasi Noise pada Metode Median Filter dan Gaussian Filter* (Vol. 3). https://ejournal.sidyanusa.org/index.php/jkdn

[5] Hanifatunnisa, R., & Hasanah, D. R. (2021). *Aplikasi Filter Digital untuk Citra Mengandung Derau Salt and Pepper Menggunakan Metode Directional Weighted Minimum Deviation*. *20*(02), 180–189. http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

[6] Khilmawan, M. R., & Riadi, A. A. (n.d.). *IMPLEMENTASI PENGURANGAN NOISE PADA CITRA TULANG MENGGUNAKAN METODE MEDIAN FILTER DAN GAUSSIAN FILTER*.

[7] Lima, R. K. (2024). ANALISIS PERBANDINGAN REDUKSI NOISE MENGGUNAKAN METODE MEAN, MEDIAN DAN CONTRA-HARMONIC MEAN FILTERING PADA CITRA GRAYSCALE POLA TENUNAN DAERAH PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR. *Jurnal Elektro Dan Telekomunikasi Terapan*, *11*(1), 9–15. https://doi.org/10.25124/jett.v11i1.6827

[8] Pratama, E., Hansel Winata, D., Bima Putra Sansaya, M., Kunci, K., & Mutu Citra, P. (n.d.). *MDP STUDENT CONFERENCE (MSC) 2022 Reduksi Noise pada Pengolahan Citra Digital Menggunakan MATLAB*.

[9] Putra, N. A., & Amalia, R. (2022). Perancangan Aplikasi Perbaikan Citra Digital Pada Hasil Screenshot Dengan Menggunakan Metode Multiscale Retinex dan Median Filter. *Faktor Exacta*, *15*(3), 180. https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v15i3.13706

[10] Putri, C., Siregar, H., Syahputri, E. T., Hasibuan, N., & Burhani Batubara, Y. (n.d.). Penerapan Filter Adaptif Untuk Pengurangan Noise Pada Citra Digital. In *Journal Of Informatics And Busisnes* (Vol. 02, Issue 02).

[11] Rosyidin, C., Wulanningrum, R., & Rochana, S. (n.d.). *Perbaikan Citra Dengan Menggunakan Metode Gaussian Dan Median Filter*.

[12] Sindar Sinaga, A., Damayanti, A., & Febriyanti, S. (2025). Volume 24; Nomor 1. *Februari*, 39–47. https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jis/index

[13] Syarif, A., & Ramadhanu, A. (n.d.). 2024, Pages 5948-5943online) Journal of Education Research. *Journal of Education Research*, *5*(4).

[14] Wicaksono, D., Almeyda, P., Mikola, I., Putra, M., & Malihatuningrum, L. (2024). *Analisis Perbandingan Metode Pra Pemrosesan Citra untuk Deteksi Tepi Canny pada Citra Berbagai Kondisi Jalan menggunakan Bahasa Pemrograman Python*. JUTIKOMP.

[15] Yunianto, M., Anwar, F., Nur Septianingsih, D., Dwi Ardyanto, T., & Farits Pradana, R. (2021). KLASIFIKASI KANKER PARU PARU MENGGUNAKAN NAÏVE BAYES DENGAN VARIASI FILTER DAN EKSTRAKSI CIRI GRAY LEVEL CO-OCCURANCE MATRIX (GLCM). *Indonesian Journal of Applied Physics*, *11*(2).