

Evaluasi Kualitas Citra Rontgen Dada Menggunakan PSNR dan MSE Setelah Penerapan Teknik Peningkatan Citra

Ferry Hasan¹, Suwito², Yusmia Washiatus Sani³, Sandy Nicholas⁴, Fetty Tri Anggraeny⁵

¹Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

²Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

³Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

⁴Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

⁵Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email: ¹22081010085@student.upnjatim.ac.id, ²22081010102@student.upnjatim.ac.id,

³22081010114@student.upnjatim.ac.id, ⁴22081010237@student.upnjatim.ac.id,

⁵fettyanggraeny.if@upnjatim.ac.id

Abstract. Image enhancement techniques play an important role in improving the visual quality of images and important details in medical images especially chest X-ray images, which are needed in clinical diagnosis. Image enhancement methods, such as Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) are implemented to improve the quality of chest X-ray images. This study aims to analyze the quality of chest X-ray images after the application of Gaussian noise with various noise levels (0.2, 0.4, and 0.6) and the application of CLAHE as an image enhancement technique. The analysis of X-ray image quality will use two evaluation metrics, namely the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Mean Squared Error (MSE) metrics. The results of this study show that the PSNR evaluation value is in the range of 28.41 to 28.78 and the MSE evaluation is in the range of 86.14 to 93.83, which shows that the image quality remains stable despite variations in Gaussian noise levels and shows a small but consistent difference between the original image and the results of the image enhancement process. Then statistical analysis using ANOVA: Two-factor Without Replication shows that the Gaussian noise level does not significantly affect the image quality, but the difference between PSNR and MSE has an influence on the quality evaluation. Thus, CLAHE has been proven effective in producing high-quality chest X-ray images.

Keywords: Digital Image Processing, Image Enhancement Techniques, Chest X-ray, CLAHE, PSNR, MSE.

Abstrak. Teknik peningkatan citra berperan penting dalam meningkatkan kualitas visual citra dan detail penting pada citra medis terkhususnya citra rontgen dada, yang sangat dibutuhkan dalam diagnosa klinis. Metode peningkatan citra, seperti Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) diimplementasikan untuk meningkatkan kualitas citra rontgen dada. Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas citra rontgen dada setelah penerapan noise Gaussian dengan berbagai tingkat noise (0.2, 0.4, dan 0.6) dan penerapan CLAHE sebagai teknik peningkatan citra. Analisis kualitas citra rontgen akan menggunakan dua buah matrik evaluasi yaitu metrik Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan Mean Squared Error (MSE). Hasil penelitian ini menunjukkan nilai evaluasi PSNR berada pada kisaran nilai 28.41 hingga 28.78 dan evaluasi MSE berada pada kisaran nilai 86.14 hingga 93.83 yang menunjukkan kualitas citra tetap stabil meskipun terdapat variasi level noise Gaussian dan menunjukkan perbedaan yang kecil namun konsisten antara citra asli dan hasil proses peningkatan citra. Kemudian analisis statistik menggunakan ANOVA: Two-factor Without Replication menunjukan bahwa level noise Gaussian tidak mempengaruhi kualitas citra secara signifikan, namun perbedaan

antara PSNR dan MSE memiliki pengaruh terhadap evaluasi kualitas. Dengan demikian, CLAHE telah terbukti efektif dalam menghasilkan citra rontgen dada berkualitas tinggi.

Kata Kunci: *Pengolahan Citra Digital, Teknik Peningkatan Citra, Rontgen Dada, CLAHE, PSNR, MSE.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di bidang kesehatan telah membawa dampak besar terhadap peningkatan kualitas pelayanan medis. Berbagai inovasi terus dikembangkan untuk mendukung proses diagnosa dan pengobatan, salah satunya melalui pemanfaatan teknologi pencitraan medis. Pencitraan medis memiliki peran yang sangat penting karena mampu memberikan gambaran visual kondisi organ tubuh secara lebih jelas, sehingga dokter dapat melakukan analisis yang lebih akurat dalam menentukan langkah penanganan. Salah satu teknik pencitraan yang paling umum digunakan adalah citra rontgen dada (chest X-ray), yang hingga saat ini menjadi metode standar dalam mendeteksi berbagai gangguan pada jantung dan paru-paru. Citra rontgen dada (chest X-ray) merupakan salah satu metode pencitraan medis yang paling sering digunakan dalam mendeteksi dan mendiagnosa berbagai penyakit, seperti penyakit jantung dan paru-paru (Pebri et al., 2021). Kualitas visual citra rontgen sangat berpengaruh terhadap ketepatan diagnosa klinis, karena detail kecil pada gambar dapat menjadi indikator penting dalam menentukan kondisi kesehatan pasien (Putri Rahmadewi et al., 2023). Namun, dalam praktik implementasinya di dunia nyata, kualitas citra rontgen dada seringkali dipengaruhi oleh adanya *noise*, rendahnya kontras, dan berbagai-bagai macam gangguan lain yang dapat menghambat interpretasi hasil diagnosis penyakit jantung dan paru-paru secara optimal (Raihan et al., 2025).

Oleh karena itu, diperlukan teknik peningkatan citra (*image enhancement*) yang mampu untuk dapat memastikan bahwasanya hasil pencitraan tidak hanya lebih jelas secara visual saja tetapi juga dinyatakan akurat untuk mendukung diagnosa penyakit jantung (Rahmat Fadli et al., 2024). Pada penelitian terdahulu oleh Sharda Rani (2023) dengan judul *Investigation of Different Pre-processing Quality Enhancement Techniques on X-ray Images*, Penulis meneliti berbagai teknik peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) dan didapatkan hasil eksperimen yang menunjukkan bahwa penggunaan SRCNN dapat secara signifikan meningkatkan kualitas citra X-ray dengan nilai PSNR sebesar 40–43 dB dan SSIM antara 97–98%, yang jauh lebih baik dibandingkan beberapa metode peningkatan citra lainnya (Sharda Rani et al., 2023). Penelitian akan berfokus pada evaluasi efektivitas teknik peningkatan citra pada citra rontgen dada menggunakan dua metrik utama: *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) dan *Mean Squared Error* (MSE). Metode peningkatan kualitas citra diterapkan dengan menggunakan teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), yang dirancang untuk mampu memperbaiki kontras citra rontgen dada dan meningkatkan visibilitas detail penting pada gambar. PSNR sendiri akan dipergunakan untuk mengukur tingkat kejernihan dan kualitas dengan menghitung rasio antara sinyal maksimum dan *noise*, sedangkan MSE menghitung rata-rata kuadrat selisih antara piksel asli dan piksel hasil peningkatan (Suharyanto et al., 2021). Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan wawasan mengenai metode peningkatan citra yang optimal dan relevan untuk diaplikasikan dalam dunia medis, khususnya dalam memastikan kualitas citra rontgen yang lebih baik secara visual dan memenuhi standar diagnostik yang akurat.

Dengan demikian, hasil penelitian ini akan sangat diharapkan untuk dapat berkontribusi dalam pengembangan sistem pengolahan citra digital di bidang medis yang mampu dipergunakan untuk mendukung proses diagnosa penyakit jantung dan paru-paru yang lebih tepat, cepat, dan akurat. Penelitian ini sendiri juga tentunya memiliki batasan-batasan terutama pada penggunaan metode peningkatan citra CLAHE tanpa membandingkannya dengan metode lain, serta penerapan algoritma PSNR dan MSE sebagai metrik utama dalam melakukan evaluasi kualitas citra setelah diterapkan teknik peningkatan citra. Selain itu, fokus penelitian ini terbatas pada citra rontgen dada dan tidak mencakup jenis pencitraan medis lainnya.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Teori Pengolahan Citra Digital

Pengolahan Citra Digital adalah bidang ilmu yang mendalami tentang bagaimana suatu citra digital itu dibentuk, disusun, diproses, dan dianalisis dengan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan

informasi yang dapat dipahami oleh manusia (Ratna, 2020). Dalam mata kuliah Pengolahan Citra Digital terdapat teori terkait Histogram. Histogram sendiri merupakan grafik yang menunjukkan persebaran intensitas dan frekuensi dari piksel citra sehingga dapat diperoleh sebuah informasi apakah citra memiliki kontras dan nilai gradasi warna yang terang atau gelap (Kusuma et al., 2020). Kata piksel merupakan nilai dari masing-masing entri matriks pada bitmap. Rentang nilai piksel dapat dipengaruhi oleh banyaknya warna yang dapat ditampilkan, setiap piksel dapat mewakili lebih dari satu titik dalam sebuah citra yang direpresentasikan dalam sebuah kotak yang merupakan bagian terkecil pada citra, dimana nilai dari sebuah piksel harus mampu menunjukkan nilai rata-rata yang sama untuk seluruh bagian dari kotak tersebut (Kristantio et al., 2023).

2.2. Teori Peningkatan Kualitas Citra

Peningkatan Kualitas Citra merupakan teknik pemrosesan citra digital yang penting, karena menyoroti informasi utama dalam gambar dan mengurangi informasi sekunder tertentu untuk meningkatkan kualitas identifikasi dalam proses tersebut. Tujuan peningkatan kualitas citra itu sendiri adalah untuk membuat gambar lebih cocok untuk diaplikasikan dalam program tertentu daripada gambar asli (Rahman et al., 2021).

2.3. Teori Teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE)

Teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* merupakan pembaharuan dari teknik *Histogram Equalization*, yang akan mendistribusikan ulang intensitas piksel, untuk meningkatkan kualitas pada citra. Keunggulan CLAHE terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan kontras lokal tanpa menambah noise, sehingga menciptakan citra yang lebih rinci dan memiliki rentang dinamis yang lebih luas (Attaqwa et al., 2024). Teknik ini akan memastikan bahwasanya penyempurnaan disesuaikan untuk karakteristik dan struktur dari citra yang diinputkan pada program dengan menyesuaikan prosedur dari peningkatan kontrasnya ke berbagai area berupa ubin-ubin kecil yang terdapat di dalam citra digital yang diinputkan ke dalam program buatan kelompok kami, yang tentunya akan diimplementasikan dengan cara pemeratakan piksel dalam histogram dan meningkatkan kualitas citra (Madhavi et al., 2024). Pada teknik CLAHE juga diterapkan *clip limit* dan ukuran *tiles grid* yang dipergunakan untuk meningkatkan kontras citra mamografi digital pada ukuran ubin (*tiles grid*) tertentu dan untuk mencegah peningkatan kontras yang berlebihan (Saputra et al., 2021).

2.4. Teori Grayscale

Grayscale merupakan intensitas piksel abu-abu, yang dimulai dengan nilai 0 untuk warna hitam hingga 255 untuk warna putih dan digunakan untuk menunjukkan rentang abu-abu pada gambar (Erwin et al., 2020). Skala abu-abu adalah warna yang terletak diantara warna hitam dan putih dan biasa dipergunakan untuk mengubah format warna *RGB* ke skala *Grayscale* yang akan berguna untuk memudahkan sistem komputasi di dalam mengolah citra.

2.5. Teknik Konvolusi Citra *Gaussian Blur*

Konvolusi merupakan operator matematika yang penting dan berguna untuk banyak operator dalam *image processing*, konvolusi digunakan untuk menghasilkan nilai output dari piksel yang berasal dari kombinasi linear nilai input piksel tertentu, konvolusi citra merupakan suatu teknik khusus untuk dapat menghaluskan ataupun memperjelas citra dengan cara menggantikan nilai piksel dengan sejumlah nilai piksel yang sesuai atau berdekatan dengan piksel asli, dengan menjaga agar ukuran citra input dan output tetap sama (Rambe, 2021). *Gaussian Blur* merupakan filter buram yang akan menempatkan warna transisi penting dalam citra, yang akan menciptakan warna perantara dan menciptakan efek lembut pada tepi citra, *Gaussian Blur* menggunakan rumus matematika sehingga mampu untuk menciptakan sebuah efek fokus yang otomatis, mengurangi detail pada citra dan menciptakan efek buram atau efek kabut (Ikhsan et al., 2024).

2.6. Teori *Mean Squared Error*

Mean Squared Error atau MSE merupakan metode yang digunakan untuk mengukur kualitas dari sebuah citra dengan cara menghitung perbandingan sebuah objek citra yang telah ditingkatkan dengan

citra aslinya, sehingga dapat diketahui seberapa besar tingkat ketidaksesuaiannya (Tinaliah et al., 2020). Semakin rendah nilai dari perhitungan rumus MSE pada citra setelah dilakukan peningkatan kualitas citra berarti menunjukkan kedekatan dengan citra asli yang berarti gambar yang telah di enhancement memiliki distorsi yang lebih sedikit antara gambar asli dengan gambar yang terdegradasi (Najjar, 2024).

MSE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (I_i - I_i')^2$$

dengan:

$$\sum_{i=0}^N I_i$$

: jumlah total piksel pada citra

I_i : nilai intensitas piksel ke-i pada citra asli

I_i' : nilai intensitas piksel ke-i pada citra hasil pemrosesan

(1)

2.7. Teori Peak Signal-to-Noise Ratio

Peak Signal-to-Noise Ratio atau PSNR merupakan rasio antara nilai maksimum dari gambar yang diukur dengan jumlah noise yang mempengaruhi gambar. Biasanya PSNR diukur dalam satuan desibel (db) dan digunakan untuk menentukan perbandingan kualitas gambar asli dengan yang gambar yang sudah ditingkatkan atau di enhancement (Hapsari et al., 2019). Semakin besar nilai dari perhitungan rumus PSNR akan dapat menunjukkan bahwa hasil peningkatan kualitas citra adalah semakin bagus atau mendekati citra aslinya, dan tentunya akan terjadi hal yang sebaliknya, karena jika semakin kecil nilai PSNR maka semakin jelek kualitas peningkatan citra tersebut (Avity, 2024).

PSNR dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$PSNR = 10 \cdot \log$$

(2)

dengan:

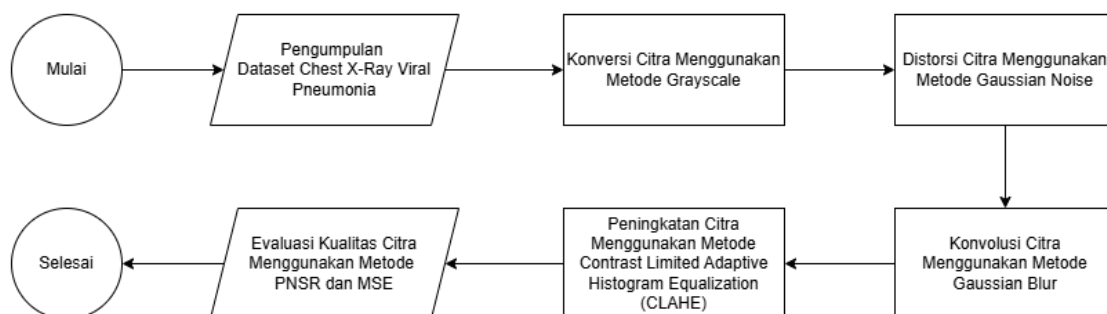
MA : nilai intensitas maksimum piksel (untuk citra 8-bit, MAX = 255)

MSE : nilai Mean Square Error yang dihitung dari persamaan (1)

2.8. Teori Gaussian Noise

Gaussian Noise adalah salah satu *noise* yang paling sering merusak kualitas citra, *Gaussian Noise* dapat disebabkan oleh sumber-sumber alam seperti getaran termal atom dan sifat diskrit dari radiasi benda hangat, *Gaussian Noise* tentu dapat mengganggu nilai abu-abu dalam citra digital (Khilmawan et al., 2018). *Gaussian Noise* ini sendiri juga mempunyai intensitas yang sesuai dengan distribusi normal yang memiliki rerata (*mean*) dan varian tertentu, *Gaussian Noise* ini akan mampu menunjukan bentuk ideal dari *white noise* yang akan mengakibatkan atau menyebabkan fluktuasi acak pada suatu sinyal, *Gaussian noise* adalah *white noise* yang jika direpresentasikan dengan I dan *gaussian noise* dengan N, maka bentuk *noise image* sebagai berikut: $I + N$ (Agusti et al., 2022).

3. Metode Penelitian



Gambar 1. Alur Metode Penelitian

3.1. Tahap Pengumpulan Dataset

Tahap pengumpulan dataset merupakan langkah awal dalam penelitian ini, yang berfokus pada pemilihan dan akuisisi citra rontgen dada (*chest X-ray*) dari sumber-sumber dataset yang akurat dan terpercaya, seperti yang terdapat dalam website dataset Mendeley. Dataset yang kami gunakan untuk penelitian kali ini berasal dari link dataset sekunder Mendeley berikut ini: <https://data.mendeley.com/datasets/m4s2jn3csb/1>. Dataset citra sekunder yang terdapat dalam link Mendeley tersebut sudah mencakup berbagai variasi kondisi klinis dari pasien penderita penyakit jantung dan paru-paru, untuk mencerminkan penerapan nyata dalam diagnosa medis, termasuk citra dari pasien dengan berbagai tingkat gangguan paru-paru dan jantung. Citra yang diambil dalam penelitian ini akan digunakan tanpa modifikasi awal untuk memastikan integritas data tetap terjaga. Tahapan pengumpulan dataset ini menjadi penting karena kualitas dataset sangat mempengaruhi hasil evaluasi yang akan diukur menggunakan metrik PSNR dan MSE setelah penerapan teknik peningkatan citra.

3.2. Tahap Konversi Citra ke Skala Grayscale

Citra rontgen dada yang terambil dari website Mendeley pada tahap awal pengumpulan dataset akan diubah oleh sistem program kelompok kami ke dalam format *grayscale* karena citra medis umumnya hanya mengandalkan intensitas cahaya tanpa informasi warna. Lagipun pengubahan citra ke skala *grayscale* akan sangat memudahkan dalam melakukan analisis visual dan pengolahan lebih lanjut dalam sistem komputasi, dengan setiap piksel merepresentasikan intensitas piksel antara nilai 0 (hitam) hingga nilai 1 (putih). Langkah ini juga membantu menyederhanakan perhitungan karena hanya satu saluran data yang diproses dalam sistem komputasi buatan kelompok kami apabila dibandingkan dengan gambar berwarna. Konversi ini memastikan bahwa fokus analisis tetap pada detail visual yang relevan, seperti struktur jaringan atau anomali pada organ yang menjadi kunci dalam diagnosa klinis.

3.3. Tahap Image Distortion Dataset

Tahap *Image Distortion Dataset* sendiri merupakan suatu bentuk tahapan untuk mensimulasikan kondisi nyata dari gangguan-gangguan pada citra, dengan cara menambahkan *noise Gaussian* ke dalam citra rontgen dada yang telah diubah dalam skala *grayscale* pada tahap sebelumnya. *Noise* ini sendiri seringkali muncul selama proses pengambilan gambar akibat kualitas alat, gangguan lingkungan, ataupun gangguan lainnya yang mempengaruhi kualitas citra dataset. Penelitian ini menambahkan *Gaussian noise* dengan distribusi normal dengan nilai *mean* dan standar deviasi berbentuk *array* dengan ukuran yang sama seperti gambar yang diinputkan ke dalam sistem komputasi buatan kelompok kami untuk memberikan efek seperti *grain* dengan rentang piksel 0-255, penambahan *noise* ini sendiri juga akan dipergunakan untuk menguji ketahanan teknik peningkatan citra *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) yang dipergunakan dalam memperbaiki kualitas gambar. Bintik-bintik acak yang muncul karena *noise* akan mengurangi ketajaman gambar dan bisa mempersulit diagnosa. Dengan menyertakan tahap ini, penelitian dapat memastikan bahwa metode peningkatan citra tidak hanya memperbaiki kualitas secara visual, tetapi juga efektif dalam mengurangi *noise* yang mengganggu.

3.4. Tahap Penerapan Konvolusi Gaussian Blur

Setelah dilakukannya penerapan *image distortion* menggunakan *Gaussian Noise* pada tahapan sebelumnya, citra yang telah diproses tersebut akan ditambahkan konvolusi citra dengan menggunakan konvolusi *Gaussian blur* untuk dapat membantu dalam mengurangi *noise* yang terdapat pada citra rontgen dada dan menyempurnakan tampilan gambar. *Gaussian blur* ini sendiri akan bekerja dengan cara menerapkan *filter* dan akan membuat transisi antar-piksel pada rontgen dada menjadi lebih halus. Ini membantu menurunkan risiko artefak yang mungkin muncul selama proses pengolahan citra berlangsung, sehingga kualitas citra tetap tajam namun bebas dari gangguan visual citra yang berlebihan. Dengan teknik konvolusi citra ini, kualitas gambar rontgen yang dihasilkan tetap baik dan siap untuk dilakukan teknik peningkatan citra dengan menggunakan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) pada tahap metodologi penelitian yang berikutnya.

3.5. Tahap Penerapan Teknik Peningkatan Citra Dengan Menggunakan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE)

Teknik peningkatan kualitas citra menggunakan teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* atau biasa dikenal dengan istilah CLAHE adalah teknik peningkatan citra yang berfungsi untuk memperbaiki kontras citra rontgen dada secara lokal dengan cara melakukan ekualisasi histogram pada blok-blok kecil citra rontgen dada. Metode dan tahapan ini memastikan bahwa detail penting, seperti jaringan paru-paru atau kontur jantung, menjadi lebih terlihat tanpa menyebabkan over-enhancement. Teknik CLAHE juga bertugas untuk dapat membantu mengatasi masalah kontras rendah pada beberapa bagian citra rontgen dada, terutama pada area-area dada yang penting untuk analisis dan diagnosa medis. Dengan teknik ini, hasil citra rontgen dada akan memiliki kontras yang optimal dan memudahkan tenaga medis dalam mendeteksi gangguan kesehatan dengan lebih akurat.

3.6. Tahap Penerapan Evaluasi Kualitas Citra Rontgen Dada Menggunakan PSNR dan MSE

Tahap evaluasi kualitas citra menggunakan metrik PSNR dan MSE bertujuan untuk menilai efektivitas teknik peningkatan citra yang telah dilakukan oleh CLAHE dan ditambahkan Konvolusi *Gaussian Blur* dari tahapan sebelumnya. Algoritma PSNR sendiri akan menghitung rasio antara sinyal maksimum dan *noise* dalam citra yang telah diolah sedemikian rupa, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kualitas citra yang lebih baik. Sementara itu, algoritma MSE akan bertugas untuk menghitung rata-rata perbedaan kuadrat antara piksel citra asli dan citra yang telah ditingkatkan sedemikian rupa. Nilai MSE yang rendah akan mengindikasikan bahwa perubahan yang diterapkan tidak mengurangi akurasi informasi visual. Dengan kedua metrik ini, penelitian dapat memastikan bahwa citra rontgen yang ditingkatkan dengan menggunakan teknik CLAHE tidak hanya lebih baik secara visual tetapi juga tetap dapat digunakan untuk diagnosa klinis dengan akurat.

3.7. Tahap Uji Analitik Menggunakan Metode ANOVA

Tahap uji analitik ANOVA dua arah tanpa replikasi bertujuan untuk menilai perbedaan kualitas citra yang dihasilkan oleh berbagai variasi *Gaussian* pada citra yang diuji, dengan tujuan menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan pada nilai PSNR dan MSE antar kelompok citra dengan berbagai variasi *Gaussian* yang berbeda. Hasil uji analitik dengan menggunakan ANOVA memungkinkan identifikasi apakah faktor tertentu atau interaksi antar faktor mempengaruhi secara signifikan hasil evaluasi kualitas citra. Jika nilai *p-value* yang dihasilkan lebih kecil dari 0,05, maka hipotesis nol akan ditolak, yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan. Interpretasi hasil ini sangat penting untuk dapat memahami bagaimana variasi *Gaussian* mempengaruhi kualitas citra, serta metode mana yang paling efektif dalam mempertahankan kualitas citra, sehingga membantu dalam memilih metode pemrosesan yang paling optimal untuk meningkatkan akurasi diagnosis berbasis citra medis.

4. Hasil dan Pembahasan

Penambahan *Noise* berupa *Gaussian Noise* diatas berfungsi untuk menghasilkan *Noise Gaussian* dengan *mean default* 0 dan nilai standar deviasi *default* 0.06 dikalikan 255 untuk menyesuaikan rentang piksel 0-255 dalam bentuk *array* yang ukurannya sama dengan gambar sehingga *array noise* akan terdistribusi secara normal dimana nilai intensitas *noise* pada setiap piksel diambil secara acak dari distribusi *Gaussian*. Gambar yang akan ditambahkan *noise* juga akan diubah jadi format *float32* agar operasi matematika untuk penambahan *noise* menjadi lebih akurat dan mencegah *overflow* atau *underflow* saat penambahan *noise*. Penambahan Konvolusi Citra berupa *Gaussian Blur* di atas berguna untuk menerapkan kernel *Gaussian* dengan ukuran *default* 5x5 yang akan mempengaruhi area-area sekitar piksel pusat selama proses pengaburan gambar. Parameter *sigma* itu sendiri nantinya akan dapat menentukan lebar dari distribusi *Gaussian* (*standard deviation*) untuk mengatur seberapa kuat pengaburan, dimana semakin besar nilai *sigma* maka akan membuat gambar semakin kabur atau semakin blur. Peningkatan Kualitas Citra dengan menggunakan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* diatas berguna untuk menerapkan CLAHE dengan batas atas kontras bernilai 2 untuk mencegah peningkatan kontras yang berlebihan di area tertentu dengan melakukan *clipping* pada

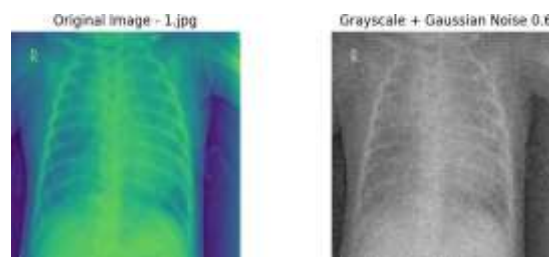
histogram, juga akan menggunakan ukuran *grid* 8x8 *tiles* untuk memecah gambar menjadi blok-blok kecil, sehingga teknik *histogram equalization* dapat diterapkan secara lokal. Penerapan evaluasi citra juga dilakukan dengan menggunakan rumus perhitungan algoritma PSNR dan MSE. Dimana algoritma PSNR akan menghitung rasio antara sinyal maksimum dengan *noise* yang terdapat dalam citra yang telah diolah sedemikian rupa, di mana nilai PSNR yang lebih tinggi menunjukkan kualitas citra yang lebih baik. Sementara itu, algoritma MSE akan menghitung rata-rata perbedaan kuadrat antara piksel citra asli dengan citra yang telah ditingkatkan sedemikian rupa menggunakan CLAHE, dimana nilai MSE yang semakin rendah akan mengindikasikan bahwa perubahan yang diterapkan tidak mengurangi akurasi informasi visual.

Pembahasan Kode Program

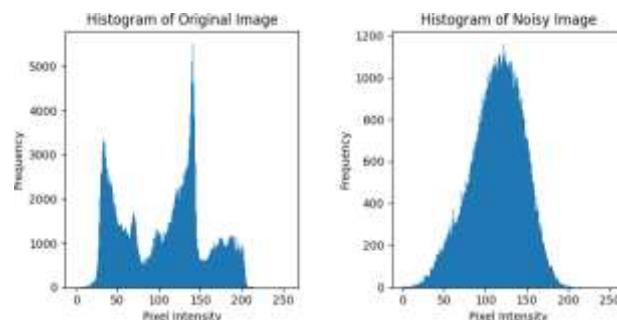
Kode 1. Penambahan Noise, Konvolusi Citra, Peningkatan Citra, dan Evaluasi Citra

```
def add_gaussian_noise(image, mean=0, std=0.06*255):
    gaussian_noise = np.random.normal(mean, std,
    image.shape).astype(np.float32) noisy_image = cv2.add(image.astype(np.float32),
    gaussian_noise)
    noisy_image = np.clip(noisy_image, 0, 255).astype(np.uint8) # Ensure
    pixel values are valid
    return noisy_image
def apply_gaussian_convolution(image, kernel_size=(5, 5), sigma=1.0):
    return cv2.GaussianBlur(image, kernel_size, sigma)
def apply_clahe(image):
    clahe = cv2.createCLAHE(clipLimit=2.0,
    tileGridSize=(8, 8)) return clahe.apply(image)
def calculate_psnr(original, processed):
    mse = np.mean((original - processed)
    ** 2) if mse == 0:
        return float('inf') # PSNR is infinite if no
        difference max_pixel = 255.0
        psnr = 20 * np.log10(max_pixel / np.sqrt(mse))
    return psnr
def calculate_mse(original, processed):
    return np.mean((original - processed) ** 2)
```

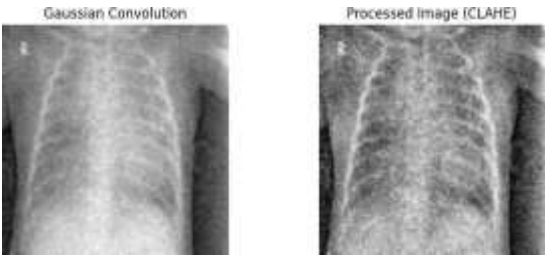
4.1. Pembahasan Output Program



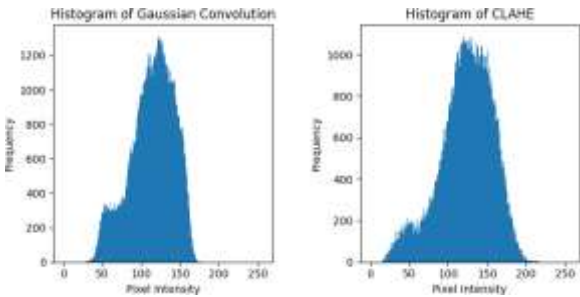
Gambar 2. Citra Asli dengan Citra yang Dikonversi ke Grayscale dan Diberikan Gaussian Noise



Gambar 3. Histogram Citra Asli dengan Citra yang Dikonversi ke Grayscale dan Diberikan Gaussian Noise



Gambar 4. Citra yang Diberikan Konvolusi Citra dan Teknik Peningkatan Citra CLAHE



Gambar 5. Histogram Citra Rontgen Dada yang Diberikan Konvolusi Citra dan Teknik Peningkatan Citra CLAHE

Output citra rrontgen dan histogram diatas menunjukkan bahwa kode program yang telah dibuat dan disusun sedemikian rupa oleh kelompok penelitian kami ternyata mampu untuk melakukan penerapan *Noise* dengan menggunakan *Gaussian Noise*, Konvolusi Citra dengan menggunakan *Gaussian Blur*, dan Peningkatan Citra dengan menggunakan teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) secara baik dan benar sesuai dengan logika pemrograman pengolahan citra digital yang telah diajarkan, dibuktikan melalui perubahan kualitas pada citra hasil dan perubahan terhadap persebaran intensitas dan frekuensi piksel citra.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Citra Menggunakan PSNR dan MSE

Image	Gaussian Variance	Quality Assessment Techniques	
		PSNR	MSE
1.jpg	0.2	28.77	86.28
	0.4	28.77	86.29
	0.6	28.78	86.14
2.jpg	0.2	28.46	86.28
	0.4	28.45	92.88
	0.6	28.5	91.91
3.jpg	0.2	28.68	88.18
	0.4	28.65	88.75
	0.6	28.65	88.72
4.jpg	0.2	28.49	92.15
	0.4	28.48	92.29
	0.6	28.5	91.94
5.jpg	0.2	28.42	93.5
	0.4	28.41	93.83
	0.6	28.43	93.45

Tabel 2. Perhitungan analitik Anova: Two Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
0,2	2	115,05	57,525	1653,70005
0,4	2	115,06	57,53	1654,2752
0,6	2	114,92	57,46	1645,0848
0,2	2	114,74	57,37	1671,5762
0,4	2	121,33	60,665	2075,61245
0,6	2	120,41	60,205	2010,41405
0,2	2	116,86	58,43	1770,125
0,4	2	117,4	58,7	1806,005
0,6	2	117,37	58,685	1804,20245
0,2	2	120,64	60,32	2026,2978
0,4	2	120,77	60,385	2035,85805
0,6	2	121,44	60,72	2076,2568
0,2	2	121,92	60,96	2117,7032
0,4	2	122,24	61,12	2139,8882
0,6	2	121,88	60,94	2113,8002
PSNR	15	428,44	28,56266667	0.019049524
MSE	15	1353,59	90,23933333	9,376335238

Tabel 3. Hasil Perhitungan analitik Anova: Two Factor Without Replication

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	60,82002	14	4,344287143	0,860067944	0,609071672	2,483726
Columns	28530,08408	1	28530,08408	5648,293942	0,0000000000000000012	4,60011
Error	70,71536667	14	5,051097619			
Total	28661,61947	29				

Pada evaluasi menggunakan PSNR dan MSE menunjukkan bahwasanya nilai dari PSNR yang diperoleh berkisar antara 28.41 hingga 28.78 dB, yang mengindikasikan bahwa kualitas citra tetap stabil meskipun terdapat variasi level noise Gaussian (0.2, 0.4, dan 0.6). Di sisi lain, nilai MSE menunjukkan perbedaan yang kecil namun konsisten antara citra asli dan hasil proses peningkatan citra, dengan sedikit peningkatan nilai seiring bertambahnya level noise, namun masih dalam rentang yang dapat diterima. Sedangkan pada uji analitik menggunakan ANOVA: Two-Factor Without Replication menunjukkan bahwasanya level noise Gaussian tidak mempengaruhi kualitas citra secara signifikan, tetapi perbedaan antara nilai PSNR dan MSE memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap evaluasi kualitas citra, di mana PSNR yang tinggi menunjukkan citra memiliki kualitas yang baik, sementara MSE yang rendah mengindikasikan perbedaan antara citra asli dan hasil proses peningkatan citra tetap minimal. Dengan demikian, dapat terlihat bahwa meskipun level noise Gaussian tidak secara signifikan mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan, metrik evaluasi PSNR dan MSE tetap menjadi parameter penting dalam menentukan efektivitas teknik peningkatan citra seperti CLAHE dalam menghasilkan citra yang lebih baik untuk keperluan diagnosis medis yang presisi. Pada penelitian ini, PSNR dijadikan sebagai parameter utama karena merepresentasikan kualitas visual citra secara langsung sedangkan MSE digunakan sebagai metrik pelengkap untuk mengetahui tingkat distorsi numerik. Dengan kata lain, PSNR dianggap lebih baik untuk mengevaluasi kualitas citra hasil pemrosesan.

5. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan nilai evaluasi PSNR berada pada kisaran nilai 28.41 hingga 28.78 dan evaluasi MSE berada pada kisaran nilai 86.14 hingga 93.83 yang menunjukkan kualitas citra tetap stabil meskipun terdapat variasi level noise Gaussian dan menunjukkan perbedaan yang kecil namun konsisten antara citra asli dan hasil proses peningkatan citra. Kemudian analisis statistik

menggunakan ANOVA: Two-factor Without Replication menunjukkan bahwa level noise Gaussian tidak mempengaruhi kualitas citra secara signifikan, namun perbedaan antara PSNR dan MSE memiliki pengaruh terhadap evaluasi kualitas. Dengan demikian, CLAHE telah terbukti efektif dalam menghasilkan citra rontgen dada berkualitas tinggi. Dari dua matrik yang digunakan PSNR lebih layak dijadikan parameter utama evaluasi kualitas citra karena lebih merepresentasikan kualitas visual secara langsung, sementara MSE digunakan sebagai pendukung untuk melihat distorsi numerik.

Pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada perbandingan CLAHE dengan metode peningkatan citra lainnya, baik berbasis teknik klasik seperti Adaptive Histogram Equalization (AHE) maupun metode berbasis pembelajaran mendalam seperti SRCNN atau GAN, untuk mengetahui keunggulan relatif tiap pendekatan. Selain itu, evaluasi kualitas citra sebaiknya tidak hanya menggunakan PSNR dan MSE, tetapi juga mencakup metrik lain seperti SSIM atau FSIM yang lebih merepresentasikan kualitas visual secara struktural. Pengujian pada dataset yang lebih beragam, termasuk citra rontgen dari berbagai rumah sakit atau kondisi akuisisi berbeda, juga penting untuk menguji tingkat generalisasi metode. Lebih jauh lagi, penelitian dapat diperluas dengan melibatkan ahli radiologi untuk menilai sejauh mana peningkatan kualitas citra berkontribusi terhadap interpretasi klinis, sehingga hasil yang diperoleh tidak hanya kuat secara numerik, tetapi juga relevan dalam praktik medis nyata.

Referensi

- Pratama, P. A. H., Teguh, R., Sahay, A. S. ., & Wilentine, V. . (2021). Deteksi COVID-19 Berdasarkan Hasil Rontgen Dada (Chest X-Ray) Menggunakan Python. *Journal of Information Technology and Computer Science*, 1(1), 58–67.
- Rahmadewi, P., Harahap, J. Y. K., & Indra, E. (2023). Algoritma deep learning untuk pengklasifikasian penyakit radang paru-paru pada citra chest X-ray dengan convolutional neural network. *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer MH. Thamrin*, 9(1), 14–23.
- Raihan, R., Alam, C. N. ., & Zulfikar, W. B. . (2025). Deteksi Pneumonia pada Citra Akhir X – Ray Dada Menggunakan Convolutional Neural Networks Berdasarkan Fitur Prewitt Operator. *INTERNAL (Information System Journal)*, 8(1), 24–36.
- Fadli, R., Suryanata, M. G., Alhafiz, A., & Ibnutama, K. (2024). Perbaikan kualitas citra medis paru-paru dengan menggunakan histogram equalization. *Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer)*, 23(2), 351–358.
- Rani, S., & Kaur, N. (2023). Investigation of different pre-processing quality enhancement techniques on X-ray images. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(6), 499–508.
- Suharyanto, A., Arnia, F., & Syukri, M. (2021). Peningkatan kualitas citra digital dengan metode White Balancing dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). *Jurnal Komputer Terapan*, 7(2), 101–110.
- Agusti, D., Nababan, A.A. June 2022. Penerapan Metode Harmonic Mean Filter Dalam Mereduksi Gaussian Noise Pada Citra Digital. *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi*. Vol. 5. No. 3. Hal. 565-571.
- Attaqwa, S. I., Puspaningrum, E.Y., Saputra, W.S.J. October 2024. IMPLEMENTASI CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION DALAM PENGOLAHAN CITRA PADA ALGORITMA GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORK. *JITET*. Vol. 12, No. 3S1. Hal.4317-4322.
- Avity, M.A. October 2024. Analisis Perbandingan Metode Contrast Stretching Dan Histogram Equalization Untuk Memperbaiki Kualitas Citra Digital. *KESATRIA: Jurnal Penerapan Sistem Informasi*. Vol. 5. No. 4. Hal. 1607-1613.
- Erwin, Ningsih, D.R. April 2020. Improving Retinal Image Quality Using the Contrast Stretching, Histogram Equalization, and CLAHE Methods with Median Filters. *MECS*. Vol. 12. No. 2. Hal. 30-41.
- Hapsari, R.K., Utoyo, M.I., Rulaningtyas, R., Suprajitno, H. October 2019. Comparison of Histogram Based Image Enhancement Methods on Iris Image. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1569. No. 2. Hal. 1-6.

- Ikhsan, M., Supiyandi, Hakiki, A.W. May 2024. ANALISIS PERBANDINGAN METODE HISTOGRAM EQUALIZATION DAN GAUSSIAN FILTER UNTUK PERBAIKAN KUALITAS CITRA. *Journal Of Science and Social Research*. Vol. 7. No. 2. Hal. 487-492.
- Khilmawan, M.R., Riadi, A.A. December 2018. IMPLEMENTASI PENGURANGAN NOISE PADA CITRA TULANG MENGGUNAKAN METODE MEDIAN FILTER DAN GAUSSIAN FILTER. *JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*. Vol. 3. No. 2. Hal. 116-121.
- Kristantio, T., Pamungkas, D.P., Wulan Ningrum, R. July 2023. Analisa Hasil Perbaikan Citra Menggunakan Histogram Equalization. *INOTEK*. Vol. 7. No. 1. Hal. 505-511.
- Kusuma, I.W.A.W., Kusumadewi, A. April 2020. PENERAPAN METODE CONTRAST STRETCHING, HISTOGRAM EQUALIZATION DAN ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS CITRA MEDIS MRI. *Jurnal SIMETRIS*. Vol. 11. No. 1. Hal. 1-10.
- Madhavi, V.V., Kumari, P.L.S. March 2024. Enrichment of Retinal Fundus Images using EN-CLAHE and Auto-CLAHE Methods. *International Journal of INTELLIGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS IN ENGINEERING*. Vol. 12. No. 3. Hal. 1213-1221.
- Najjar, Y.A. March 2024. Comparative Analysis of Image Quality Assessment Metrics: MSE, PSNR, SSIM, and FSIM. *IJSR*. Vol. 13. No. 3. Hal. 110-114.
- Rahman, T., Khandakar, A., Qiblawey, Y., Tahir, A., Kiranyaz, S., Kashem, S.B.A., Islam, M.T., Maadeed, S.A., Zughaier, S.M., Khan, M.S., Chowdhury, M.E.H. May 2021. Exploring the effect of image enhancement techniques on COVID-19 detection using chest X-ray images. *Computer in Biology and Medicine*. Vol. 132. No. 35. Hal. 1-16.
- Rambe, R. April 2021. Perbaikan Kualitas Citra Digital Menggunakan Metode Kernel Konvolusi. *TIN: Terapan Informatika Nusantara*. Vol. 1. No. 11. Hal. 557-562.
- Ratna, S. September 2020. PENGOLAHAN CITRA DIGITAL DAN HISTOGRAM DENGAN PYTHON DAN TEXT EDITOR PYCHARM. *Jurnal Ilmiah Technologia*. Vol. 11. No. 3. Hal. 181-186.
- Saputra, K., Taufik, I., Dharma, D.F., Hidayat, M. July 2021. Analisis Perbaikan Kualitas Citra Menggunakan CLAHE dan HE Pada Citra X-Ray Covid-19 dan Pneumonia. *IJCIT*. Vol. 6 No. 2. Hal. 97-104.
- Tinaliah, Elizabeth, T. December 2020. PENINGKATAN KUALITAS CITRA X-RAY PARU-PARUPASIEN COVID-19 MENGGUNAKAN METODE CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION. *Jurnal Teknologi Informasi*. Vol. 4. No. 2. Hal. 345-349.
- Talukder, Md Alamin. (2023). Chest X-Ray Image. Mendeley Data,* V1. doi:10.17632/m4s2jn3csb.1

[halaman ini sengaja dikosongkan]