

IMPLEMENTASI TEKNIK HISTOGRAM EQUALIZATION UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS CITRA PADA FOTO LAMA YANG PUDAR

Yohana Lorinez S, Ahmad Yusuf Al Hafiz, Aurela Khoiri Nasution,

Ahmad Denil Sitepu, Hermawan Syahputra

Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan

Jl. William Iskandar Ps.V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

lorinezyohana@gmail.com

ABSTRAK

Seiring berkembangnya era digital, kebutuhan akan pelestarian dokumen visual seperti foto lama menjadi semakin penting, baik sebagai bagian dari warisan budaya maupun memori personal. Foto-foto lama kerap menjadi saksi sejarah yang bernilai, namun seiring waktu kualitas visualnya menurun akibat penuaan bahan, penyimpanan yang kurang optimal, serta pengaruh lingkungan. Banyak foto lama yang memiliki nilai sentimental dan historis mengalami penurunan kualitas seperti warna yang pudar, kontras rendah, serta munculnya noise akibat faktor usia dan penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem berbasis Python menggunakan teknik Histogram Equalization (HE) dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) guna meningkatkan kualitas citra foto lama. Sistem dirancang dengan tahapan mulai dari input citra, deteksi kerusakan, pemulihan dengan inpainting (jika diperlukan), hingga peningkatan kualitas citra. Evaluasi dilakukan secara kuantitatif menggunakan metrik PSNR dan SSIM serta secara visual melalui histogram dan tampilan hasil. Hasil menunjukkan bahwa metode HE mampu meningkatkan kontras secara signifikan, namun cenderung menimbulkan over-enhancement. Sebaliknya, metode CLAHE memberikan hasil yang lebih seimbang dan realistis dengan nilai PSNR 20,09 dB dan SSIM 0,8020, lebih tinggi dibandingkan HE. Aplikasi ini dirancang dengan antarmuka pengguna yang sederhana, memungkinkan masyarakat umum untuk melakukan restorasi foto secara mandiri. Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan solusi digital restorasi foto, mendukung pelestarian dokumentasi sejarah melalui teknologi pengolahan citra.

Kata kunci : Histogram Equalization, CLAHE, Peningkatan Citra, Foto Lama

1. PENDAHULUAN

Foto merupakan salah satu media dokumentasi yang penting dalam kehidupan manusia. Ia tidak hanya berfungsi sebagai penyimpan informasi visual, tetapi juga sebagai pengikat memori, sejarah, dan warisan budaya yang bernilai tinggi. Terutama dalam konteks foto-foto lama, gambar-gambar ini kerap menyimpan kenangan keluarga, peristiwa sejarah, hingga dokumentasi kehidupan sosial masa lalu yang memiliki nilai sentimental dan historis. Namun, foto-foto lama yang tercetak secara fisik tidak dapat terlepas dari risiko kerusakan seiring berjalannya waktu. Warna yang pudar, kontras yang menurun, munculnya noise, serta goresan dan bintik-bintik akibat penyimpanan yang tidak ideal, merupakan beberapa bentuk degradasi kualitas visual yang umum terjadi.

Perkembangan teknologi digital memberikan solusi terhadap masalah tersebut. Melalui pengolahan citra digital, berbagai teknik dapat diterapkan untuk memperbaiki dan meningkatkan kembali kualitas visual citra. Salah satu teknik dasar yang banyak digunakan dalam pengolahan citra adalah Histogram Equalization (HE). Teknik ini berfungsi untuk menyebarkan nilai intensitas piksel secara merata di seluruh rentang histogram agar kontras citra meningkat. Tujuannya adalah menghasilkan gambar yang lebih tajam dan mudah dikenali secara visual.

Menurut Fatimatuazzahro dan Yuliantari, histogram equalization terbukti dapat meningkatkan

kualitas citra terutama dalam konteks foto sejarah, di mana intensitas warna sudah tidak merata dan tampak kusam [1]. Metode ini berhasil memperbaiki sebaran intensitas pada gambar dan memperjelas objek yang sebelumnya tidak tampak jelas. Namun, dalam beberapa kasus, metode histogram equalization konvensional dapat menimbulkan efek samping berupa peningkatan noise atau kontras berlebihan, terutama pada area yang sebelumnya sudah terang.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, dikembangkanlah teknik Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). CLAHE merupakan pengembangan dari metode adaptive histogram equalization (AHE) yang bekerja dengan membagi gambar menjadi blok-blok kecil dan menerapkan histogram equalization secara lokal. CLAHE juga menerapkan batas kontras untuk mencegah peningkatan noise secara berlebihan. Hidayat dan Fitriani dalam penelitiannya membandingkan metode power law dengan CLAHE dan menyimpulkan bahwa CLAHE mampu menghasilkan citra dengan kualitas visual yang lebih baik, terutama pada gambar yang semula memiliki kontras rendah.

Meski metode HE dan CLAHE telah banyak diaplikasikan dalam pengolahan citra medis, satelit, dan pengawasan (CCTV), penelitian mengenai penerapannya pada foto lama secara spesifik masih relatif terbatas [2]. Menurut Naufal et al. menyatakan bahwa metode ini layak untuk diadaptasi lebih luas,

termasuk untuk kepentingan restorasi foto historis. Mengingat pentingnya nilai dokumentasi dalam foto-foto lama, perlu dilakukan eksplorasi lebih lanjut terkait bagaimana HE dan CLAHE dapat digunakan secara praktis oleh masyarakat awam untuk memperbaiki kualitas foto lama yang mereka miliki.

Penggunaan teknologi berbasis open-source seperti Python dan pustaka OpenCV menjadikan proses pengolahan citra lebih mudah dan terjangkau. Melalui pendekatan rekayasa perangkat lunak, peneliti dapat membangun prototipe aplikasi yang mampu menerima masukan berupa foto digital, melakukan deteksi kerusakan atau noise, menerapkan metode perbaikan seperti inpainting jika diperlukan, dan meningkatkan kontras menggunakan HE atau CLAHE. Menurut Kurnia dan Hidayat menegaskan pentingnya aspek kemudahan penggunaan (usability) dalam aplikasi pengolahan citra untuk meningkatkan adopsi teknologi di kalangan masyarakat umum [3].

Dari segi evaluasi hasil, pengujian dilakukan dengan dua metrik utama yaitu PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) dan SSIM (Structural Similarity Index). PSNR mengukur tingkat kesamaan antara gambar asli dan hasil perbaikan, sedangkan SSIM menilai kesamaan berdasarkan luminansi, kontras, dan struktur[3]. Menurut Muhammad et al., penggunaan kedua metrik ini memberikan indikator yang lebih menyeluruh terkait peningkatan kualitas visual citra [4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan membandingkan performa HE dan CLAHE dalam memperbaiki kualitas visual foto lama yang mengalami degradasi. Fokus utama diarahkan pada peningkatan kontras, pengurangan noise, dan pemulihan detail visual yang sebelumnya kurang terlihat. Penelitian ini juga mengembangkan sebuah sistem berbasis Python yang mudah dioperasikan oleh pengguna non-teknis.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas berbagai metode peningkatan kualitas citra dalam konteks yang beragam. Salah satu studi menunjukkan bahwa integrasi metode CLAHE ke dalam algoritma Generative Adversarial Network (GAN) mampu menghasilkan citra sintetis dengan kualitas visual yang tinggi. Studi lain membandingkan metode Histogram Equalization (HE) dengan Power Law dalam pemrosesan rekaman CCTV, dan hasilnya menunjukkan bahwa HE lebih optimal digunakan pada kondisi pencahayaan yang buruk [5]. Selain itu, terdapat pula penelitian yang menyimpulkan bahwa HE efektif dalam mengoreksi noise pada citra wajah yang buram, terutama untuk memperjelas detail objek pada citra dengan kualitas rendah. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum secara spesifik membahas penerapan HE dan CLAHE pada foto lama yang rusak secara natural akibat usia [6]. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan solusi digital dalam bidang restorasi foto, yang aplikatif baik untuk keperluan pribadi,

dokumentasi sejarah, maupun digitalisasi arsip nasional.

Dengan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana implementasi teknik Histogram Equalization dan CLAHE dapat meningkatkan kualitas foto lama yang pudar?
- b. Seberapa besar peningkatan kualitas citra berdasarkan parameter PSNR dan SSIM?
- c. Apakah teknik ini efektif untuk berbagai kondisi kerusakan foto lama?

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengembangkan aplikasi berbasis Python untuk meningkatkan kualitas citra foto lama menggunakan HE dan CLAHE.
- b. Menganalisis dan membandingkan hasil pemrosesan menggunakan metrik PSNR dan SSIM.
- c. Memberikan solusi yang dapat digunakan secara mandiri oleh pengguna untuk restorasi foto digital.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan citra di bidang restorasi digital dan turut mendukung pelestarian nilai-nilai sejarah serta dokumentasi masa lalu melalui pemanfaatan teknologi informasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mau, metode *Histogram Equalization* (HE) digunakan untuk meningkatkan kualitas citra digital yang memiliki kontras rendah. Penelitian ini menunjukkan bahwa HE efektif dalam menyebarkan histogram keabuan secara merata, sehingga citra menjadi lebih terang dan detail visual lebih terlihat. Proses pengolahan dilakukan menggunakan MATLAB dengan hasil yang dinilai secara kualitatif melalui pengamatan visual terhadap histogram dan tampilan citra sebelum dan sesudah pemrosesan.

Namun, pendekatan yang digunakan masih terbatas pada peningkatan kontras secara global, tanpa mempertimbangkan distribusi lokal intensitas piksel. Hal ini menyebabkan beberapa bagian citra justru kehilangan detail akibat over-enhancement, terutama pada area dengan perbedaan intensitas tinggi [7].

Penelitian oleh Adhinata, membahas berbagai metode peningkatan kualitas citra digital gelap, seperti negative transformation, log transformation, contrast stretching, bit plane slicing, dan histogram equalization (HE). Tujuan utama penelitian ini adalah mencari metode terbaik untuk meningkatkan visibilitas informasi dalam citra gelap yang diperoleh dari kamera ponsel pada malam hari. Berdasarkan hasil percobaan visual dan pengukuran standar deviasi, HE terbukti paling efektif dalam menyebarkan intensitas keabuan secara merata, sehingga detail citra tampak lebih jelas bagi pengamatan manusia.

Meskipun penelitian tersebut memberikan kontribusi penting dalam pemilihan algoritma peningkatan citra, pendekatannya masih terbatas pada analisis visual dan statistik dasar (seperti standar deviasi). Evaluasi kuantitatif lanjutan seperti PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) dan SSIM (Structural Similarity Index) belum digunakan untuk menilai kualitas citra secara objektif [8].

Berbeda dari penelitian tersebut, studi ini mengembangkan sistem otomatis berbasis Python yang secara langsung membandingkan kinerja metode HE dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE). CLAHE tidak hanya memperbaiki kontras secara lokal dalam blok-blok kecil citra, tetapi juga mempertahankan detail tekstur secara lebih baik. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik kuantitatif PSNR dan SSIM, yang menunjukkan bahwa CLAHE unggul dalam menghasilkan citra dengan struktur visual yang lebih alami dan kualitas lebih tinggi dibandingkan HE. Aplikasi yang dikembangkan juga dirancang agar mudah dioperasikan oleh pengguna awam, menjadikannya lebih praktis untuk digitalisasi arsip atau restorasi foto.

2.1. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital merupakan proses pemrosesan dan analisis gambar digital dengan menggunakan komputer, di mana input dan output-nya berupa citra. Tujuan utama dari pengolahan citra adalah untuk meningkatkan kualitas visual citra agar dapat dengan mudah diinterpretasikan, baik oleh manusia maupun sistem komputer otomatis. Salah satu proses penting dalam pengolahan citra adalah peningkatan kualitas citra atau image enhancement, yang banyak dimanfaatkan dalam konteks citra yang telah mengalami degradasi, seperti foto lama yang pudar [9].

Dalam studi pengolahan citra, teknik peningkatan kontras dan perbaikan distribusi warna sangat umum digunakan, khususnya pada citra yang mengalami penurunan kualitas karena usia. Implementasi metode ini terbukti efektif dalam memulihkan elemen visual citra yang awalnya tidak tampak jelas akibat penurunan kontras [10].

2.2. Histogram Equalization

Semua Histogram dalam citra digital adalah representasi statistik dari distribusi nilai intensitas piksel dalam gambar. Histogram equalization (HE) adalah metode peningkatan citra yang digunakan untuk memperbaiki kontras citra dengan menyebarkan nilai intensitas secara lebih merata ke seluruh rentang gradasi warna yang tersedia [11]. Dengan metode ini, citra yang semula tampak kusam atau terlalu gelap dapat terlihat lebih jelas dan detail.

Secara teknis, HE dilakukan dengan menghitung fungsi distribusi kumulatif (CDF) dari histogram citra asli, kemudian digunakan untuk memetakan intensitas awal menjadi intensitas baru yang terdistribusi secara

lebih merata [12]. Teknik ini bersifat global, artinya semua piksel dalam citra diproses menggunakan transformasi yang sama berdasarkan histogram keseluruhan.

Metode histogram equalization sangat efektif untuk meningkatkan kualitas citra grayscale maupun citra berwarna, meskipun pada citra tertentu dapat menimbulkan efek peningkatan noise. Oleh karena itu, dalam beberapa kasus, metode ini dikombinasikan dengan teknik lain seperti CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) untuk menghindari over-enhancement [1].

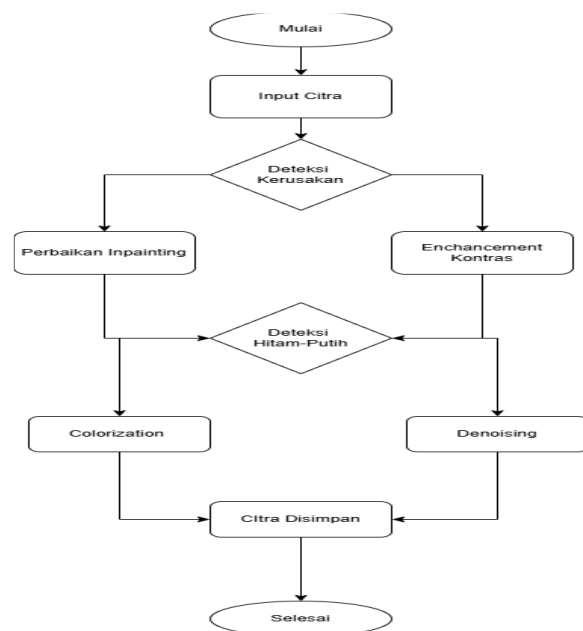
2.3. Penerapan Histogram Equalization pada Citra Pudar

Semua Penerapan HE telah diuji dalam beberapa penelitian sebelumnya. Fatimatuzzahro dan Yuliantari menyatakan bahwa metode ini efektif untuk memperjelas visualisasi pada citra sejarah yang kualitasnya telah menurun. Dengan penerapan HE, kontras citra menjadi meningkat dan detail yang sebelumnya sulit dikenali dapat terlihat lebih jelas [1].

Dalam studi lain, Fadli et al. menerapkan HE pada citra X-ray paru-paru dan mendapati bahwa kontras meningkat signifikan, mendukung interpretasi medis yang lebih akurat [10].

Dari berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa histogram equalization adalah metode yang ampuh dalam konteks peningkatan kualitas citra, terutama pada foto-foto lama yang pudar, meskipun tetap memerlukan pertimbangan terhadap dampak noise yang mungkin timbul.

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Alur penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen rekayasa perangkat lunak dengan pendekatan

prototipe. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengembangkan dan menguji sistem digital berbasis Python untuk meningkatkan kualitas visual foto lama yang pudar dengan memanfaatkan dua teknik utama dalam pengolahan citra, yaitu Histogram Equalization (HE) dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). Adapun alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

3.1. Desain Sistem

Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu:

- Input Citra: Pengguna mengunggah foto lama yang akan diproses. Citra yang diterima bisa dalam format JPG, PNG, atau BMP.
- Deteksi Kerusakan: Sistem melakukan pemeriksaan awal terhadap kondisi citra, untuk mengidentifikasi adanya kerusakan seperti noise, robekan digital, atau pencerahan yang tidak merata.
- Peningkatan Kualitas Visual: Setelah proses inpainting (jika diperlukan), sistem akan melakukan peningkatan kualitas menggunakan dua pendekatan:
 - Histogram Equalization (HE) sebagai metode global
 - CLAHE sebagai metode lokal yang lebih presisi dan menjaga kestabilan kontras
- Output: Citra hasil perbaikan ditampilkan dan dapat disimpan oleh pengguna.

3.2. Tools dan Teknologi

Aplikasi dibangun menggunakan:

- Bahasa Pemrograman Python
- Library OpenCV untuk pemrosesan citra
- Matplotlib & NumPy untuk manipulasi array piksel dan visualisasi histogram
- Scikit-image untuk evaluasi kualitas citra menggunakan metrik
- Tkinter sebagai akses GUI

3.3. Metrik Evaluasi

Untuk mengevaluasi hasil dari teknik peningkatan kualitas citra yang digunakan, dua metrik objektif digunakan:

- PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)
Digunakan untuk mengukur sejauh mana citra hasil perbaikan mendekati citra ideal. Semakin tinggi nilai PSNR, semakin baik kualitas hasilnya.
- SSIM (Structural Similarity Index Measure)
Metrik ini menilai kesamaan struktur dan tekstur antara citra asli dan citra hasil pemrosesan. Nilai SSIM mendekati 1 menunjukkan kualitas visual yang sangat baik.

3.4. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan pada beberapa jenis foto lama dengan variasi tingkat kerusakan, termasuk:

- Foto pudar dengan warna kusam
- Foto dengan noise atau titik-titik hitam
- Foto hitam-putih

Setiap citra diuji menggunakan metode HE dan CLAHE, kemudian dibandingkan hasilnya berdasarkan nilai PSNR dan SSIM.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi teknik Histogram Equalization (HE) dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) dalam sistem pengolahan citra berbasis Python telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan kualitas visual pada foto lama yang mengalami degradasi.



Gambar 2. Citra asli

Pada gambar 2 menunjukkan hasil visualisasi citra asli sebelum dilakukan pemrosesan. Terlihat bahwa kualitas visual citra tersebut masih rendah, dengan kontras yang minim dan detail objek yang kurang jelas, terutama pada bagian wajah dan pakaian subjek dalam gambar.



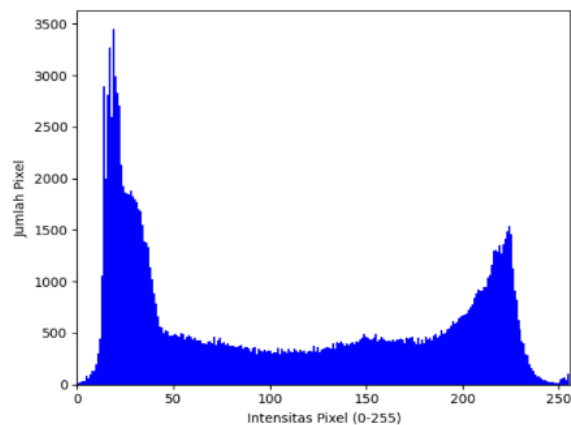
Gambar 3. Hasil HE

Pada gambar 3 menunjukkan hasil setelah diterapkan metode Histogram Equalization (HE). Hasil ini memperlihatkan adanya peningkatan kontras yang cukup drastis, namun peningkatan tersebut bersifat global dan menyebabkan hilangnya detail halus pada area dengan intensitas tinggi. Hal ini mengakibatkan citra tampak kurang alami dan cenderung over-enhanced.



Gambar 4. Hasil CLAHE

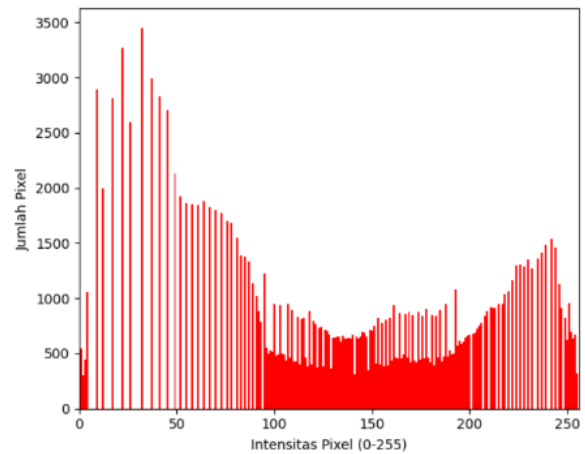
Pada gambar 4 menunjukkan hasil dari metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). Pada gambar ini, tampak peningkatan kualitas visual yang lebih seimbang dan adaptif. Detail tetap terjaga, kontras ditingkatkan secara lokal pada setiap blok citra, serta tidak ditemukan artefak visual yang mengganggu. Secara keseluruhan, Gambar 3 menghasilkan visualisasi yang lebih tajam dan informatif dibandingkan dengan hasil HE, serta tetap mempertahankan struktur asli citra.



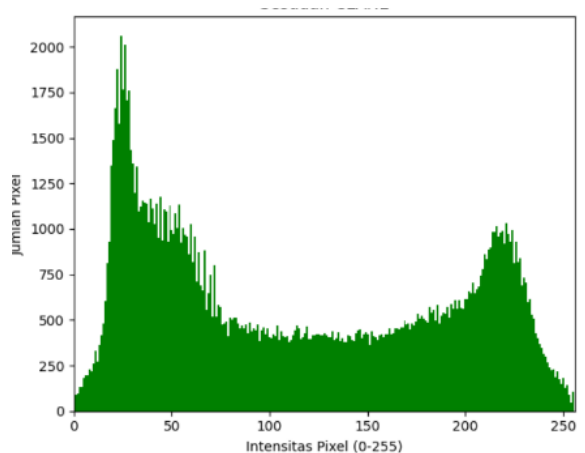
Gambar 5. Grafik Citra Asli

Pada gambar 5 menunjukkan grafik histogram dari citra asli sebelum dilakukan peningkatan kualitas. Grafik ini memperlihatkan bahwa mayoritas intensitas piksel berada pada rentang rendah (sekitar 0–50), yang menandakan bahwa gambar memiliki pencahayaan yang gelap dan kontras yang rendah. Sebagian besar informasi visual tertumpuk di area gelap, sehingga menyebabkan detail pada objek sulit dikenali.

Pada gambar 6 menampilkan histogram dari hasil pemrosesan menggunakan metode Histogram Equalization (HE). Histogram ini tersebar merata di seluruh rentang intensitas (0–255), yang mencerminkan peningkatan kontras secara global. Penyebaran ini memang meningkatkan kejelasan visual secara keseluruhan, tetapi juga dapat menyebabkan hilangnya keseimbangan intensitas lokal dan munculnya efek over-enhancement, di mana beberapa bagian gambar tampak terlalu terang atau terlalu gelap.



Gambar 6. Grafik Hasil HE



Gambar 7. Grafik Hasil CLAHE

Pada gambar 7 menunjukkan histogram dari hasil pemrosesan dengan metode CLAHE, distribusi intensitas piksel tampak jauh lebih seimbang dan halus. Hal ini terjadi karena CLAHE bekerja dengan cara membagi citra ke dalam blok-blok kecil dan menerapkan proses equalization secara lokal pada masing-masing blok. Dengan pendekatan ini, distribusi intensitas menjadi lebih adaptif terhadap struktur lokal gambar. Hasilnya, kontras citra meningkat secara efektif tanpa mengorbankan detail halus maupun tekstur asli, sehingga menghasilkan tampilan visual yang lebih alami dan informatif.

Secara keseluruhan, analisis terhadap ketiga grafik histogram ini menunjukkan bahwa meskipun metode HE mampu meningkatkan kontras secara agresif, metode CLAHE memberikan hasil yang lebih stabil dan realistis, khususnya dalam menjaga informasi lokal citra. Hal ini menegaskan keunggulan CLAHE dalam aplikasi peningkatan kualitas citra yang memerlukan keseimbangan antara peningkatan visibilitas dan pelestarian detail visual.

Dari sisi evaluasi kuantitatif, metode CLAHE juga menunjukkan performa yang lebih baik, dengan mencatat nilai Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan Structural Similarity Index (SSIM) yang secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan metode HE. Hasil perbandingan nilai metrik tersebut dapat

dilihat pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa CLAHE lebih unggul dalam menjaga kualitas struktur dan kejernihan visual citra hasil.

Tabel 1. Rata-rata Nilai PSNR dan SSIM pada Beberapa Sampel Foto Lama

Metode	PSNR(dB)	SSIM
HE	18,94	0,7501
CLAHE	20,09	0,8020

Pada Tabel 1 nilai PSNR yang lebih tinggi pada hasil pemrosesan menggunakan metode CLAHE menunjukkan bahwa kualitas citra yang dihasilkan lebih mendekati citra referensi atau citra ideal. Sementara itu, nilai SSIM yang tinggi mencerminkan adanya pelestarian struktur spasial, tekstur, serta luminansi citra yang lebih baik dibandingkan metode lainnya. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian terdahulu oleh Hidayat dan Fitriani (2024), yang menegaskan keunggulan metode CLAHE dalam pengolahan citra satelit dan citra sejarah, terutama dalam hal peningkatan kontras tanpa mengorbankan informasi penting pada citra.

Aplikasi yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang dengan mempertimbangkan aspek kegunaan (usability), sehingga dapat diakses oleh pengguna dari berbagai latar belakang, termasuk yang tidak memiliki pengetahuan teknis di bidang pengolahan citra. Antarmuka yang sederhana dan intuitif, serta proses otomatisasi penuh dalam tahap pemrosesan, menjadikan aplikasi ini relevan untuk digunakan oleh masyarakat umum, khususnya dalam proses digitalisasi dan restorasi arsip foto pribadi maupun historis.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sebuah sistem pengolahan citra berbasis Python yang ditujukan untuk meningkatkan kualitas visual foto lama melalui penerapan metode Histogram Equalization (HE) dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode HE mampu meningkatkan kontras secara global, namun cenderung mengurangi kealamian tampilan citra akibat efek over-enhancement. Sebaliknya, metode CLAHE terbukti lebih unggul dalam menjaga keseimbangan kontras secara lokal, mempertahankan detail tekstur, dan menghasilkan visualisasi citra yang lebih alami dan realistis. Secara kuantitatif, nilai PSNR dan SSIM yang lebih tinggi pada CLAHE mengindikasikan peningkatan kualitas citra yang lebih signifikan dan stabil dibandingkan dengan HE. Selain itu, aplikasi yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang dengan antarmuka yang intuitif dan proses otomatisasi penuh, sehingga memudahkan pengguna tanpa latar belakang teknis untuk melakukan restorasi foto secara mandiri. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam pemanfaatan teknologi pengolahan citra untuk pelestarian nilai-nilai

sejarah dan digitalisasi arsip visual secara praktis, efektif, dan terjangkau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Fatimatuazzahro and R. Yuliantari.V, "Peningkatan Kualitas Citra pada Foto Sejarah Menggunakan Metode Histogram Equalization dan Intensity Adjustment," *Journal of Applied Electrical Engineering*, vol. 5, 2021.
- [2] J. Hidayat and A. Fitriani, "PERBANDINGAN METODE POWER LAW DENGAN CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION (CLAHE) PADA PERBAIKAN KUALITAS CITRA SATELIT," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, 2025.
- [3] H. Kurnia and T. Hidayat, "Penajaman Kualitas Citra Digital Menggunakan Histogram Equalization," *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer TGD*, vol. 6, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jsk/index>
- [4] F. Muhammad and et all, "Perbaikan Kualitas Citra Cahaya Redup Menggunakan Teknik Perbaikan Histogram Equalization dan Adaptive Multi-scale Retinex Low Light Image Enhancement using Histogram Equalization and Adaptive Multi-scale Retinex Repair Techniques," *Jurnal Ilmu Komputer Agri-informatika*, vol. 11, 2024, [Online]. Available: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jika>
- [5] F. Mahfuzh, V. Yuliantari, and B. Fatkhurrozi, "Perbandingan Metode Histogram Equalization dan Power Law pada Perbaikan Kualitas Citra CCTV Menggunakan Bahasa Python," *Journal of Applied Electrical Engineering*, vol. 6, 2022.
- [6] S. Sinurat and E. Siagian, "Peningkatan Kualitas Citra Dengan Gaussian Filter Terhadap Citra Hasil Deteksi Robert," *Pelita Informatika : Informasi dan Informatika*, vol. 9, 2021, doi: 10.25126/jtiik.20196870.
- [7] B. Mau, "PENGARUH HISTOGRAM EQUALIZATION UNTUK PERBAIKAN KUALITAS CITRA DIGITAL," *Jurnal SIMETRIS*, vol. 7, 2020.
- [8] D. Adhinata and et all, "Peningkatan Kualitas Citra pada Citra Digital Gelap," *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, vol. 4, pp. 136–144, 2020, doi: 10.37339/e-komtek.v4i2.373.
- [9] R. Fajri, "PENGOLAHAN CITRA UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS GAMBAR MENGGUNAKAN METODE KECERAHAN CITRA KONTRAS DAN PENAJAMAN CITRA," *Jurnal Ilmiah Sains, Teknologi, Ekonomi, Sosial dan Budaya*, vol. 5, no. 6, 2021.
- [10] R. Fadli, M. Gilang Suryanata, A. Alhafiz, and K. Ibnutama, "Perbaikan Kualitas Citra Medis Paru-Paru Dengan Menggunakan Histogram Equalization," *Jurnal SAINITIKOM*, vol. 23, 2024, [Online]. Available:

- <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jis/index>
- [11] S. Attaqwa, Y. Puspaningrum, and S. J. Saputra, "IMPLEMENTASI CONTRAST LIMITED ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION DALAM PENGOLAHAN CITRA PADA ALGORITMA GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORK," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3S1, Oct. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3S1.5316.
- [12] N. Rosiansiesha, "PENINGKATAN KUALITAS CITRA DIGITAL MENGGUNAKAN METODE HISTOGRAM EQUALIZATION UNTUK MENDETEKSI WAJAH PADA CITRA GELAP BERWARNA," Palembang, 2022