

Perancangan *Software* Peningkatan Kualitas Citra Dokumen Dan Bukti Visual Menggunakan Metode *Contrast Stretching*

Afifah Zahra Daulay^{1*}, Zainal Azis

¹Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Article Info	ABSTRAK
Article history: Received Oktober 1, 2026 Revised Oktober 1, 2026 Accepted Oktober 1, 2026 Kata Kunci: Contrast Stretching, Pengolahan Citra Digital, Citra Dokumen, Bukti Visual, Website Keywords: Contrast Stretching, Digital Image Processing, Document Images, Visual Evidence, Website	Kualitas citra dokumen dan bukti visual memiliki peran penting dalam proses pembacaan informasi, identifikasi, verifikasi, dan dokumentasi digital. Namun, dalam praktiknya, citra sering mengalami permasalahan seperti kontras rendah, pencahayaan kurang optimal, dan tampilan visual yang kurang jelas sehingga informasi di dalam citra menjadi sulit diamati. Penelitian ini bertujuan untuk merancang <i>Software</i> berbasis website yang mampu meningkatkan kualitas citra dokumen dan bukti visual menggunakan metode <i>Contrast Stretching</i>. Metode ini digunakan untuk memperluas rentang intensitas piksel berdasarkan nilai intensitas minimum (<i>rmin</i>) dan maksimum (<i>rmax</i>) sehingga distribusi kontras citra menjadi lebih baik. <i>Software</i> dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan basis data MySQL dan mampu memproses file citra berformat JPG, JPEG, dan PNG. Proses pengolahan dilakukan dengan membandingkan citra sebelum dan sesudah penerapan metode <i>Contrast Stretching</i>, serta menampilkan histogram sebagai indikator perubahan distribusi intensitas citra. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode <i>Contrast Stretching</i> berhasil diterapkan pada sistem untuk meningkatkan kualitas visual citra, terutama pada citra dengan kontras rendah, sehingga keterbacaan informasi dan kejelasan objek menjadi lebih baik. Berdasarkan hasil pengujian fungsional (<i>Black Box Testing</i>), seluruh fitur utama sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan yang dirancang. ABSTRACT <i>The quality of document and visual evidence images plays an important role in information readability, identification, verification, and digital documentation processes. However, in practice, images often experience problems such as Low Contrast, poor lighting conditions, and unclear visual appearance, making the information contained in the image difficult to observe. This research aims to design a website-based Software application capable of improving the quality of document and visual evidence images using the Contrast Stretching method. This method is applied to expand the range of pixel intensity values based on minimum (rmin) and maximum (rmax) intensity values, resulting in improved image Contrast distribution. The Software was developed using the PHP programming language and MySQL Database, supporting image files in JPG, JPEG, and PNG formats. The image enhancement process is performed by comparing images before and after the implementation of the Contrast Stretching method, along with histogram visualization as an indicator of changes in image intensity distribution. The results indicate that the Contrast Stretching method was successfully implemented in the system to improve image visual quality, particularly for low-Contrast images, thereby enhancing information readability and object clarity. Based on the results of functional testing (Black Box Testing), all main system features operated according to the designed requirements.</i>



Corresponding Author:

Afifah Zahra Daulay
Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Medan, Indonesia
Email: zahradaulay654@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah meningkatkan penggunaan citra digital dalam berbagai bidang, seperti administrasi, identifikasi, keamanan, hingga dokumentasi forensik. Dokumen digital dan bukti visual banyak dimanfaatkan sebagai media penyimpanan informasi yang memerlukan tingkat kejelasan tinggi agar dapat dibaca dan diinterpretasikan secara akurat. Dalam praktiknya, proses pengambilan gambar menggunakan kamera digital maupun perangkat smartphone dapat menghasilkan citra dengan pencahayaan kurang baik, kontras rendah, dan detail visual yang kurang jelas, sehingga informasi penting seperti teks, identitas, maupun detail objek menjadi sulit dikenali dan dibaca. [1]–[4] Permasalahan kualitas visual tersebut dapat ditangani melalui pengolahan citra digital, khususnya proses image enhancement yang memodifikasi karakteristik citra agar informasi yang sebelumnya kurang terlihat dapat ditampilkan lebih jelas. Pada citra dokumen yang terdegradasi, peningkatan kontras merupakan bagian penting untuk membantu keterbacaan, sedangkan pada berbagai aplikasi citra, perluasan rentang intensitas dapat mempertegas perbedaan antara area gelap dan terang. [5], [8], [9], [12]

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menerapkan Contrast Stretching pada karakteristik citra yang berbeda. Simarmata menggunakan Contrast Stretching bersama High Pass Filtering untuk perbaikan kualitas citra. Salsabilla dkk. menerapkan Contrast Stretching dan Retinex pada citra kartu identitas. Aidilia dan Sriani menggunakan Histogram Equalization dan Contrast Stretching pada citra artefak historis, sedangkan Srinivas dan Bhandari mengembangkan pendekatan histogram bin stretching berbasis konteks. Penelitian Abdullah dkk. menunjukkan bahwa mean histogram stretching dapat membantu meningkatkan kontras pada dokumen terdegradasi. [2], [3], [5]–[7]

Meskipun Contrast Stretching telah digunakan pada berbagai penelitian pengolahan citra, masih terdapat peluang pengembangan dalam penerapannya sebagai perangkat lunak berbasis website yang dapat digunakan secara praktis oleh pengguna. Penelitian ini memfokuskan objek pada citra dokumen dan bukti visual dengan kualitas rendah, hanya menggunakan metode Contrast Stretching, tidak mencakup pengenalan karakter atau identifikasi objek, dan mengevaluasi hasil melalui perubahan visual, histogram, PSNR, SSIM, Entropy, serta Mean Opinion Score (MOS).

Tujuan penelitian adalah merancang Software yang mampu meningkatkan kualitas citra dokumen dan bukti visual menggunakan metode Contrast Stretching, menerapkan metode tersebut pada citra yang memiliki kontras rendah atau tampilan kurang jelas, serta mengetahui hasil peningkatan kualitas citra berdasarkan kualitas visual citra. Sistem dirancang berbasis website menggunakan PHP, mendukung file JPG/JPEG/PNG, dan memusatkan hasil penelitian pada peningkatan keterbacaan informasi serta kejelasan objek.

2. METODE

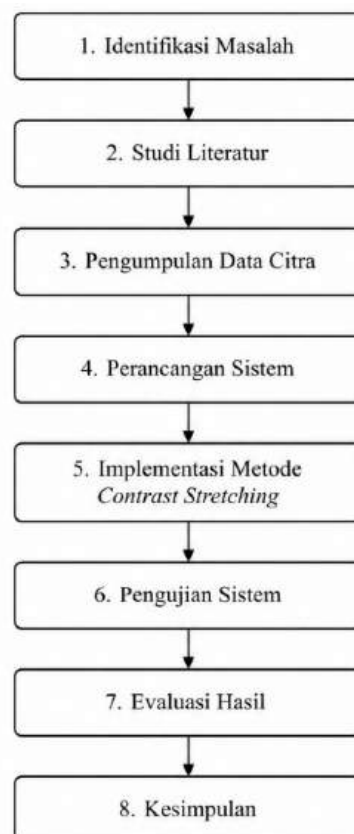
2.1. Analisis Kebutuhan dan Desain Sistem

Tahap analisis kebutuhan digunakan untuk mengidentifikasi komponen dan fungsi yang diperlukan dalam pengembangan perangkat lunak pengolahan citra dokumen dan bukti visual. Sistem dirancang untuk menerima upload citra berformat JPG/JPEG/PNG, menampilkan citra yang diunggah, memproses citra menggunakan metode Contrast Stretching, menampilkan hasil peningkatan kualitas citra, menyimpan hasil pengolahan, dan menyediakan fitur download. Pengembangan dilakukan dalam bentuk aplikasi berbasis website menggunakan PHP dan basis data MySQL pada server lokal melalui XAMPP.

Data pengujian terdiri atas citra dokumen, dokumen teks, sidik jari, tanda tangan, dan bukti visual dengan karakteristik kontras rendah, tulisan kurang jelas, detail objek kurang jelas, objek samar, atau pencahayaan rendah. Data citra diperoleh melalui pengambilan gambar secara langsung menggunakan kamera digital serta citra uji yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Sistem mendukung file JPG, JPEG, dan PNG dengan validasi ukuran file maksimum 5 MB.

2.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data citra, perancangan sistem, implementasi metode Contrast Stretching, pengujian sistem, evaluasi hasil, hingga penarikan kesimpulan. Alur tersebut digunakan agar proses perancangan perangkat lunak dan evaluasi peningkatan kualitas citra dapat dilakukan secara terarah.



Gambar 1. Tahapan penelitian

2.3. Algoritma Contrast Stretching

Metode Contrast Stretching bekerja dengan melakukan transformasi terhadap nilai intensitas piksel pada citra masukan ke rentang intensitas yang baru. Sistem membaca nilai intensitas setiap piksel,

menentukan nilai intensitas minimum (r_{min}) dan maksimum (r_{max}), kemudian melakukan pemetaan intensitas sehingga rentang piksel menjadi lebih luas. Pada citra 8-bit, intensitas berada pada rentang 0–255. Dalam penelitian ini, nilai keluaran minimum ditetapkan 0 dan nilai keluaran maksimum 255. Proses tersebut menghasilkan citra baru dengan tingkat kontras yang lebih baik dibanding citra awal. [1], [2], [4], [8]

Setelah citra berhasil diunggah, sistem membaca komponen RGB setiap piksel untuk memperoleh intensitas grayscale, mencari r_{min} dan r_{max} , menerapkan transformasi Contrast Stretching linear, lalu membentuk citra hasil. Sistem selanjutnya menampilkan citra sebelum dan sesudah pengolahan beserta histogram, nilai r_{min} , r_{max} , parameter evaluasi, dan waktu proses. Histogram digunakan untuk mengamati perubahan distribusi intensitas sebelum dan sesudah transformasi. [10], [11]

2.4. Parameter Evaluasi dan Tahapan Pengujian

Evaluasi dilakukan menggunakan kombinasi parameter objektif dan subjektif. Parameter objektif terdiri atas Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM), Entropy, dan analisis histogram. PSNR digunakan untuk melihat tingkat perbedaan berdasarkan error, SSIM untuk mengukur kemiripan struktur visual, Entropy untuk melihat perubahan jumlah informasi berdasarkan distribusi intensitas, dan histogram untuk mengamati penyebaran intensitas piksel. Evaluasi subjektif menggunakan Mean Opinion Score (MOS) yang diperoleh melalui kuesioner Skala Likert 1 sampai 5. [13]–[15]

Tabel 1. Parameter evaluasi kualitas citra

Parameter	Jenis	Fungsi/indikator
PSNR	Objektif	Mengukur tingkat kesalahan antara citra sebelum dan sesudah pengolahan; nilai lebih tinggi menunjukkan error yang lebih kecil.
SSIM	Objektif	Mengukur tingkat kemiripan struktur visual; nilai yang mendekati 1 menunjukkan struktur citra hasil tetap menyerupai citra awal.
Entropy	Objektif	Mengukur perubahan jumlah informasi pada citra berdasarkan distribusi intensitas piksel.
Histogram	Objektif	Menganalisis perubahan distribusi intensitas piksel sebelum dan sesudah Contrast Stretching.
MOS	Subjektif	Mengukur persepsi pengguna terhadap kualitas visual citra hasil menggunakan Skala Likert 1–5; kategori Baik berada pada 3,41–4,20 dan Sangat Baik pada 4,21–5,00.

Tahapan pengujian dimulai dengan menyiapkan citra uji, mengunggah citra melalui website, menjalankan Contrast Stretching, menghasilkan citra hasil, melakukan evaluasi objektif, melakukan evaluasi subjektif melalui MOS, dan menganalisis seluruh hasil. Pengujian fungsional dilakukan dengan Black Box Testing terhadap fitur utama mulai dari upload, validasi file, proses Contrast Stretching, histogram, penyimpanan basis data, riwayat pengolahan, download, perhitungan PSNR/SSIM/Entropy, hingga penyimpanan nilai MOS.

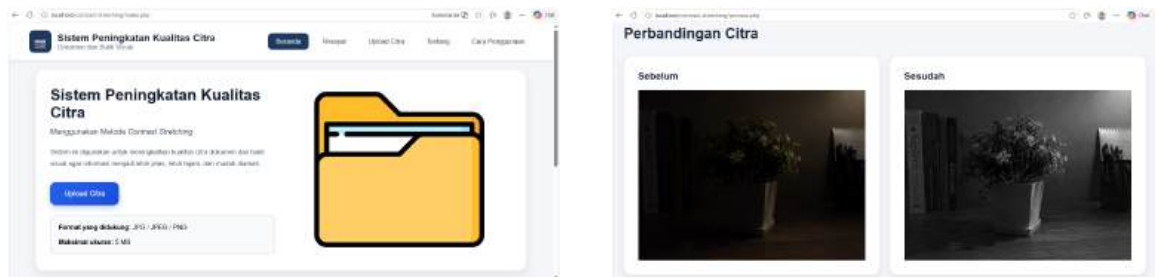
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Implementasi Sistem

Sistem berhasil diimplementasikan sebagai aplikasi berbasis website menggunakan PHP dan basis data MySQL. Implementasi dilakukan pada server lokal menggunakan XAMPP. Halaman utama

menyediakan navigasi, informasi sistem, tombol upload citra, serta informasi format file yang didukung. Pada halaman upload, pengguna memilih file JPG/JPEG/PNG, sistem melakukan validasi ukuran maksimum 5 MB dan menampilkan preview, kemudian pengguna menjalankan proses Contrast Stretching.

Setelah proses selesai, halaman hasil menampilkan citra sebelum dan sesudah pengolahan, histogram sebelum dan sesudah, nama dan format file, ukuran file, nilai rmin dan rmax, PSNR, SSIM, Entropy sebelum dan sesudah, MOS, serta waktu proses. Hasil pengolahan disimpan ke basis data dan dapat ditampilkan kembali pada halaman riwayat. Sistem juga menyediakan tombol download untuk menyimpan citra hasil ke perangkat pengguna.



Gambar 2. Implementasi halaman utama dan perbandingan citra hasil

3.2. Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian Black Box Testing dilakukan terhadap seluruh fungsi utama sistem. Hasil pengujian menunjukkan seluruh skenario yang diuji dapat berjalan sesuai dengan hasil yang diharapkan, mulai dari halaman utama sampai penyimpanan nilai MOS.

Tabel 2. Ringkasan pengujian fungsional sistem

No	Fitur yang diuji	Hasil pengujian	Status
1	Halaman utama	Halaman berhasil tampil	Berhasil
2	Upload JPG/PNG	File berhasil diunggah	Berhasil
3	Validasi format	File selain JPG/JPEG/PNG ditolak	Berhasil
4	Validasi ukuran	File > 5 MB ditolak	Berhasil
5	Preview citra	Preview tampil	Berhasil
6	Contrast Stretching	Proses berjalan	Berhasil
7	Histogram	Histogram tampil	Berhasil
8	Penyimpanan database	Data tersimpan	Berhasil
9	Riwayat pengolahan	Data tampil	Berhasil
10	Hapus riwayat	Data berhasil dihapus	Berhasil
11	Download hasil	File berhasil diunduh	Berhasil
12	Perhitungan PSNR	Nilai tampil	Berhasil

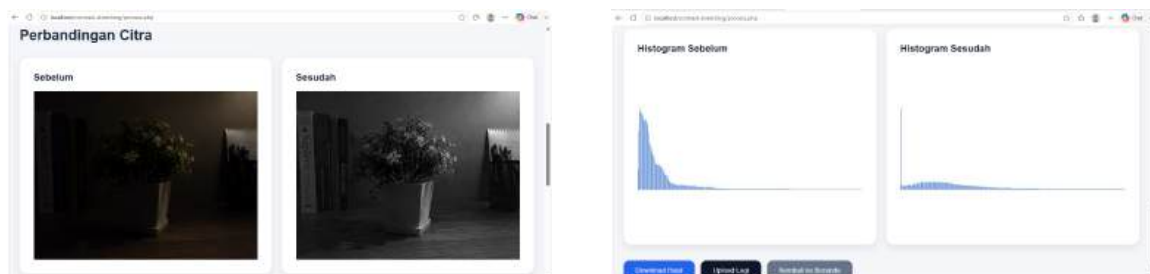
No	Fitur yang diuji	Hasil pengujian	Status
13	Perhitungan SSIM	Nilai tampil	Berhasil
14	Perhitungan Entropy	Nilai tampil	Berhasil
15	Penilaian MOS	Nilai tersimpan	Berhasil

3.3. Pengujian Metode Contrast Stretching

Pengujian metode dilakukan pada citra dengan kontras rendah, pencahayaan kurang optimal, serta tampilan dokumen atau objek yang kurang jelas. Hasil diamati berdasarkan peningkatan keterbacaan teks, kejelasan objek, perubahan distribusi intensitas pada histogram, serta keterbatasan metode pada kondisi pencahayaan yang sangat buruk. Pada beberapa kasus, peningkatan kualitas visual dapat terlihat kurang optimal apabila kondisi awal citra terlalu buruk.

Tabel 3. Hasil pengujian metode Contrast Stretching

No	Citra awal	Hasil Contrast Stretching	Hasil pengamatan
1	Low Contrast	Kontras meningkat	Objek terlihat lebih jelas
2	Dokumen samar	Teks lebih terlihat	Keterbacaan meningkat
3	Bukti visual gelap	Intensitas meningkat	Detail objek lebih mudah diamati
4	Objek pencahayaan rendah	Kontras membaik	Visualisasi objek meningkat



Gambar 3. Perbandingan citra dan histogram sebelum serta sesudah Contrast Stretching

3.4. Pengujian Parameter Kualitas Citra

Pengujian parameter kualitas citra dilakukan menggunakan PSNR, SSIM, Entropy, dan MOS. Nilai PSNR digunakan untuk mengetahui tingkat perbedaan citra hasil terhadap citra sebelum pengolahan, SSIM digunakan untuk melihat kemiripan struktur visual, Entropy digunakan untuk mengamati perubahan jumlah informasi, sedangkan MOS digunakan sebagai evaluasi subjektif berdasarkan penilaian pengguna. Hasil pengujian yang disimpan sistem menunjukkan setiap citra uji menghasilkan nilai parameter yang berbeda sesuai karakteristik citra awal.

No	Nama File	Format	Ukuran	rmin	rmax	PSNR (dB)	SSIM	Entropy Awal	Entropy Hasil	Waktu	Tanggal	MOS
1	1784030273_25.png	PNG	1480.77 KB	0	192	15.6205	0.3955	5.5025	6.7052	41.0448 detik	2026-07-14 18:58:34	4 (Baik)
2	1784004813_10.png	PNG	1883.28 KB	18	110	4.7339	0.2404	4.6070	5.3113	50.854 detik	2026-07-14 11:54:24	3 (Cukup)
3	1784004623_6.png	PNG	1508.16 KB	0	240	18.6103	0.3160	4.6820	5.8508	42.8027 detik	2026-07-14 11:51:06	1 (Sangat Buruk)

Gambar 4. Hasil pengujian parameter kualitas citra

Pada tiga data yang ditampilkan, nilai PSNR tercatat 15,6205 dB, 4,7339 dB, dan 18,6103 dB; nilai SSIM masing-masing 0,3955, 0,2404, dan 0,3160. Nilai Entropy meningkat dari 5,5025 menjadi 6,7052 pada data pertama, dari 4,6070 menjadi 5,3113 pada data kedua, serta dari 4,6820 menjadi 5,8508 pada data ketiga. MOS yang diperoleh masing-masing 4 (Baik), 3 (Cukup), dan 1 (Sangat Buruk). Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan kualitas tidak seragam pada seluruh citra dan dipengaruhi karakteristik citra awal, meskipun proses Contrast Stretching berhasil dijalankan pada seluruh citra uji.

3.5. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Contrast Stretching dapat diimplementasikan pada aplikasi website untuk memperluas rentang intensitas piksel dan memperbaiki keterlihatan objek atau teks pada citra berkontras rendah. Temuan visual ini sejalan dengan penelitian Supiyanto dan Suparwati serta Simarmata yang menggunakan Contrast Stretching untuk perbaikan kualitas citra, dan juga konsisten dengan penelitian Salsabilla dkk. pada citra kartu identitas serta Aidilia dan Sriani pada citra artefak historis. [1]–[3], [6]

Dibandingkan penelitian yang menggunakan kombinasi Contrast Stretching dengan Retinex, Histogram Equalization, atau algoritma histogram yang lebih kompleks, penelitian ini hanya menggunakan Contrast Stretching linear agar implementasi lebih sederhana pada aplikasi berbasis website. Pendekatan ini sesuai dengan karakteristik Contrast Stretching yang memiliki proses komputasi relatif sederhana, namun hasilnya sensitif terhadap distribusi intensitas awal dan dapat kurang optimal pada citra dengan pencahayaan sangat buruk atau gangguan yang kompleks. [3], [6]–[9], [12]

Penggunaan histogram, PSNR, SSIM, Entropy, dan MOS memberikan evaluasi dari sisi numerik dan persepsi pengguna. Histogram memperlihatkan penyebaran intensitas setelah transformasi, sedangkan PSNR dan SSIM membantu mengukur perbedaan serta kemiripan struktur citra. Namun, nilai PSNR dan SSIM pada data uji yang ditampilkan berada pada tingkat yang rendah, sementara Entropy meningkat pada ketiga data dan MOS bervariasi dari Sangat Buruk sampai Baik. Oleh karena itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kontras visual tidak selalu identik dengan kemiripan struktur yang tinggi atau persepsi pengguna yang seragam. [10], [11], [13]–[15]

4. KESIMPULAN

Penelitian berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem peningkatan kualitas citra berbasis website menggunakan PHP dan basis data MySQL. Sistem mampu melakukan upload citra, pengolahan menggunakan metode Contrast Stretching, menampilkan hasil pengolahan beserta histogram sebelum dan sesudah, menyimpan riwayat pengolahan, menghitung PSNR, SSIM, Entropy, dan MOS, serta menyediakan fasilitas download hasil. Metode Contrast Stretching diterapkan dengan memperluas rentang intensitas piksel berdasarkan nilai minimum dan maksimum sehingga teks pada dokumen maupun detail objek pada bukti visual dapat menjadi lebih mudah diamati. Berdasarkan Black

Box Testing, seluruh fitur utama sistem berjalan sesuai kebutuhan yang dirancang. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai parameter dapat berbeda pada setiap citra, sehingga kualitas hasil tidak hanya perlu diamati secara visual tetapi juga melalui pengukuran objektif dan penilaian subjektif pengguna.

REFERENSI

- [1] S. Supiyanto and T. Suparwati, "Perbaikan Citra Menggunakan Metode Contrast Stretching," *Jurnal Siger Matematika*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.23960/jsm.v2i1.2743.
- [2] E. Simarmata, "Implementasi Metode High Pass Filtering Dan Metode Contrasts Streching Dalam Perbaikan Kualitas Citra," *Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 31–38, 2022, doi: 10.47065/jieee.v2i2.386.
- [3] N. Salsabilla, A. Fauzi, and I. G. Prahmana, "Improving the Quality of Digital Images on Identity Cards Using Contrast Stretching and Retinex Methods," *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.59934/jaiea.v4i1.645.
- [4] S. Yelmanov and Y. Romanyshyn, "Image Enhancement Using Gain-Limited Contrast Stretching Technique," in *2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2022, pp. 447–450, doi: 10.1109/TCSET55632.2022.9766909.
- [5] S. N. H. S. Abdullah, S. M. Ismail, M. K. Hasan, and P. Shivakumara, "Novel Adaptive Binarization Method for Degraded Document Images," *Computers, Materials & Continua*, vol. 67, no. 3, pp. 3815–3832, 2021, doi: 10.32604/cmc.2021.014610.
- [6] Y. Aidilia and Sriani, "Image Quality Restoration on Historical Artifacts Using Histogram Equalization and Contrast Stretching Methods," *Journal La Multiapp*, vol. 5, no. 4, pp. 286–303, 2024, doi: 10.37899/journallamultiapp.v5i4.1442.
- [7] K. Srinivas and A. K. Bhandari, "Context-Based Novel Histogram Bin Stretching Algorithm for Automatic Contrast Enhancement," *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, vol. 19, no. 6, Art. no. 204, 2023, doi: 10.1145/3597303.
- [8] Z. Al-Ameen, "Contrast Enhancement for Color Images Using an Adjustable Contrast Stretching Technique," *International Journal of Computing*, vol. 17, no. 2, pp. 74–80, 2018, doi: 10.47839/ijc.17.2.993.
- [9] Z. Al-Ameen and Z. A. Hasan, "A Low-Complexity Algorithm for Contrast Enhancement of Digital Images," *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, vol. 10, no. 2, pp. 60–67, 2018, doi: 10.5815/ijigsp.2018.02.07.
- [10] R. M. Dyke and K. Hormann, "Histogram equalization using a selective filter," *The Visual Computer*, vol. 39, pp. 6221–6235, 2023, doi: 10.1007/s00371-022-02723-8.
- [11] A. Paul, P. Bhattacharya, and S. P. Maity, "Histogram modification in adaptive bi-histogram equalization for contrast enhancement on digital images," *Optik*, vol. 259, Art. no. 168899, 2022, doi: 10.1016/j.ijleo.2022.168899.
- [12] V. Panse and R. Gupta, "Medical Image Enhancement with Brightness Preserving Based on Local Contrast Stretching and Global Dynamic Histogram Equalization," in *2021 10th IEEE International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, 2021, pp. 164–170, doi: 10.1109/CSNT51715.2021.9509670.
- [13] U. Sara, M. Akter, and M. S. Uddin, "Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A Comparative Study," *Journal of Computer and Communications*, vol. 7, pp. 8–18, 2019, doi: 10.4236/jcc.2019.73002.
- [14] O. Keleş, M. A. Yılmaz, A. M. Tekalp, C. Korkmaz, and Z. Dogan, "On the Computation of PSNR for a Set of Images or Video," *arXiv:2104.14868*, 2021.

- [15] L. South, D. Saffo, O. Vitek, C. Dunne, and M. A. Borkin, “Effective Use of Likert Scales in Visualization Evaluations: A Systematic Review,” *Computer Graphics Forum*, vol. 41, no. 3, pp. 43–55, 2022, doi: 10.1111/cgf.14521.