

ANALISIS KOMPARATIF METODE PENINGKATAN KONTRAS CITRA BAWAH AIR MENGUNAKAN HE, AHE, DAN CLAHE

Ernawati¹, Widhia KZ Oktoeberza², Desi Andreswari³, Julia Purnama Sari⁴,
Aan Erlansari⁵, Funny Farady Coastera⁶, Paksi Dwi Jayanto⁷

^{1,2,3,6,7}Prodi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu.

^{4,5}Prodi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Jl. WR. Supratman Kandang Limun Bengkulu 38371 A INDONESIA
(Telp: 0736-341022; fax:0736-341022)

Ernawati@unib.ac.id

widhiakz@unib.ac.id

desi.andreswari@unib.ac.id

juliapurnamasari@unib.ac.id

aan_erlanshari@unib.ac.id

ffaradyc@unib.ac.id

paksijayanto@gmail.com

Abstrak : Peningkatan kualitas citra bawah air menjadi penting dalam bidang pengolahan citra digital, mengingat kondisi pencahayaan yang buruk dan distribusi intensitas yang tidak merata. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tiga metode peningkatan kontras, yaitu *Histogram Equalization* (HE), *Adaptive Histogram Equalization* (AHE), dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) pada citra bawah air. Evaluasi menggunakan metrik kuantitatif berupa entropy, kontras (RMS), dan *Structural Similarity Index* (SSIM) untuk menilai sejauh mana metode-metode tersebut meningkatkan detail citra, distribusi intensitas, dan kesamaan struktur terhadap citra asli. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa AHE menghasilkan nilai entropy tertinggi (8,1), mencerminkan peningkatan informasi lokal yang signifikan. HE memberikan nilai kontras tertinggi (73), namun kurang menjaga struktur asli citra. CLAHE menunjukkan performa paling seimbang dengan nilai SSIM tertinggi (0,85), serta peningkatan kontras dan detail yang stabil. Berdasarkan hasil evaluasi, CLAHE direkomendasikan sebagai metode peningkatan kontras yang optimal untuk citra bawah air, karena mampu memperbaiki kualitas visual citra tanpa mengorbankan struktur asli.

Kata kunci : citra bawah air; contrast enhancement; CLAHE; entropy; SSIM

Abstract : Enhancing the quality of underwater images poses a significant challenge in the field of digital image processing due to poor lighting conditions and uneven intensity distribution. This study aims to compare three contrast enhancement techniques Histogram Equalization (HE), Adaptive Histogram Equalization (AHE), and Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) applied to underwater imagery. The evaluation was conducted using quantitative metrics including entropy, contrast (RMS), and Structural Similarity Index (SSIM) to assess the improvement in image detail, intensity distribution, and structural similarity to the original image.

Experimental results indicate that AHE achieves the highest entropy values (8,1), reflecting a significant enhancement of local information. HE provides the highest contrast values (73) but tends to compromise the structural integrity of the image. CLAHE demonstrates the most balanced performance, producing the highest

SSIM scores (0,85) while maintaining stable enhancements in both contrast and detail. Based on these findings, CLAHE is recommended as the most effective contrast enhancement technique for underwater images, as it improves visual quality while preserving the original image structure.

Key words : Underwater image enhancement; Contrast enhancement; CLAHE; HE; AHE.

I. PENDAHULUAN

Eksplorasi bawah laut memiliki peran penting dalam berbagai bidang seperti pemantauan ekosistem laut, konservasi terumbu karang, pencarian objek bawah air, survei geologi, serta studi arkeologi maritim [1]. Dalam proses ini, citra bawah air berfungsi sebagai sarana utama untuk

mendokumentasikan kondisi lingkungan atau objek target secara visual. Namun demikian, kualitas citra yang dihasilkan di lingkungan bawah air umumnya sangat rendah. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor seperti tingkat kekeruhan tinggi, pencahayaan alami yang terbatas, serta adanya efek *scattering* dan partikel halus seperti *marine snow* yang menyebabkan noise dan memperburuk hamburan cahaya [2]. Kondisi tersebut berdampak langsung pada penurunan visibilitas dan kontras citra, sehingga menghambat pemanfaatannya dalam berbagai aplikasi seperti arkeologi bawah laut, ekologi laut, dan pengoperasian kendaraan bawah air [2].

Untuk mengatasi keterbatasan ini, metode peningkatan kontras (*contrast enhancement*) menjadi salah satu pendekatan awal yang penting. Proses ini bekerja dengan mendistribusikan ulang intensitas piksel dalam citra agar fitur-fitur penting dapat terlihat lebih jelas. Dalam konteks eksplorasi bawah laut, peningkatan kontras tidak hanya meningkatkan visibilitas objek, tetapi juga berkontribusi pada keberhasilan berbagai aplikasi seperti deteksi target bawah air, sistem penghindaran rintangan, dan navigasi robot berbasis visi komputer [3].

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas visual citra bawah air, mulai dari metode konvensional hingga teknik adaptif yang mempertimbangkan persepsi visual manusia [4]. Tiga metode peningkatan kontras yang umum digunakan dalam pengolahan citra digital adalah *Histogram Equalization* (HE), *Adaptive Histogram Equalization* (AHE), dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE). HE bekerja dengan meratakan distribusi histogram secara global, sementara AHE menerapkannya pada area lokal citra untuk mengakomodasi variasi pencahayaan setempat. CLAHE merupakan pengembangan dari AHE yang membatasi kontras maksimum pada area lokal untuk mencegah peningkatan noise yang berlebihan [5].

Meskipun metode-metode tersebut telah banyak diterapkan, efektivitas masing-masing dalam menghadapi kondisi ekstrem pencahayaan dan distorsi khas pada citra bawah air masih perlu dianalisis. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi komparatif berdasarkan metrik kuantitatif seperti *entropy*, (*RMS*) *contrast*, dan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM) untuk menentukan metode paling optimal dalam meningkatkan kualitas visual tanpa menghilangkan struktur informasi penting dalam citra bawah air.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Peningkatan kualitas citra merupakan langkah penting dalam pengolahan citra digital, khususnya untuk memperjelas detail objek yang tersembunyi akibat pencahayaan rendah. Tantangan ini menjadi lebih kompleks pada citra bawah air karena pengaruh *scattering* cahaya, penyerapan oleh partikel, kondisi pencahayaan yang buruk, serta kabut optik akibat partikel-partikel seperti pasir, plankton, dan mineral yang terlarut [6]. Citra bawah air yang dihasilkan sering kali memiliki kontras rendah, noise tinggi, dan kehilangan warna alami, sehingga tidak dapat langsung digunakan dalam aplikasi berbasis visi komputer.

Histogram Equalization (HE) merupakan salah satu metode dasar dalam peningkatan kontras citra yang bekerja dengan meratakan distribusi histogram untuk memperbaiki intensitas piksel secara global. HE terbukti efektif terutama pada citra gelap atau kurang pencahayaan, seperti yang ditunjukkan dalam hasil eksperimen pada [7]. Namun, HE memiliki keterbatasan karena tidak mampu menyesuaikan kontras pada bagian-bagian lokal dalam citra.

Sebagai solusi, dikembangkan *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) yang menerapkan perataan histogram secara lokal. Meskipun metode ini lebih baik dalam menangani variasi lokal, beberapa studi menunjukkan bahwa AHE juga berpotensi memperkuat noise, seperti terlihat dalam evaluasi peningkatan citra wajah pengemudi dalam kondisi mengantuk [8].

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, digunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), yang merupakan pengembangan dari AHE dengan menambahkan batas kontras lokal. Metode ini terbukti efektif dalam meningkatkan kontras tanpa menimbulkan artefak berlebihan. Dalam penelitian sebelumnya, CLAHE dikombinasikan dengan algoritma penyeimbangan warna dalam teknik fusi dan menghasilkan peningkatan kualitas citra bawah air secara menyeluruh, baik dalam aspek visual maupun kedalaman spektrum warna [9] dan [10].

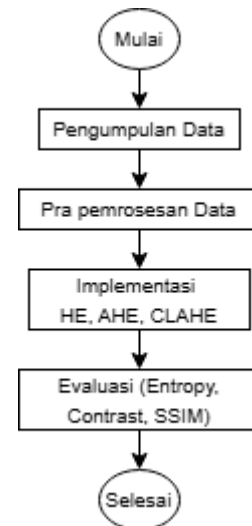
Selain itu, pendekatan berbasis algoritma evolusioner, seperti *Differential Evolution* (DE), juga telah diterapkan untuk menentukan parameter optimal dalam peningkatan kontras citra bawah laut. Dengan menggunakan transformasi Gaussian dan Laplace, metode ini menunjukkan hasil yang baik berdasarkan parameter visual seperti *entropy* dan *mean absolute error* (MAE) [11].

Dengan mempertimbangkan keragaman pendekatan yang telah dikembangkan, maka penting untuk melakukan studi komparatif terhadap HE, AHE, dan CLAHE guna menilai kinerja masing-masing dalam konteks peningkatan kontras citra bawah air. Evaluasi menyeluruh ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih objektif dalam memilih metode peningkatan kontras yang paling sesuai untuk aplikasi bawah air.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif untuk membandingkan efektivitas tiga metode peningkatan kontras citra bawah air, yaitu *Histogram Equalization* (HE), *Adaptive Histogram Equalization* (AHE), dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE). Setiap metode diuji terhadap kumpulan citra bawah air yang telah dipilih, kemudian hasilnya dianalisis secara kuantitatif menggunakan metrik evaluasi standar dalam pengolahan citra.



Gambar 1. Desain penelitian

. Gambar 1 menggambarkan alur langkah-langkah utama mulai dari:

1. Import dataset citra bawah air,
2. Pra-pemrosesan berupa resize dan konversi ke grayscale,
3. Penerapan metode peningkatan kontras (HE, AHE, CLAHE),
4. Evaluasi kuantitatif menggunakan Entropy, Contrast, dan SSIM,

B. Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kumpulan citra bawah air dari UIEB (*Underwater Image Enhancement Benchmark*) yang bersumber dari <https://www.kaggle.com/datasets/larjeck/uieb-dataset-raw>.

Terdapat 890 subset citra yang telah melalui proses resize dan normalisasi ukuran menjadi resolusi 400×400 piksel untuk menjaga konsistensi evaluasi.

C. Pra-pemrosesan Data

Langkah awal yang dilakukan adalah konversi seluruh citra berwarna (RGB) ke dalam format *grayscale* menggunakan metode konversi intensitas standar. Hal ini dilakukan untuk mengisolasi analisis kontras dari pengaruh

warna sehingga fokus evaluasi hanya pada pencahayaan dan struktur tekstur.

D. Metode Peningkatan Kontras

1) Histogram Equalization (HE)

Salah satu metode peningkatan kontras citra yang paling sederhana dan umum digunakan. Metode ini bertujuan untuk meratakan distribusi intensitas piksel dalam sebuah citra sehingga seluruh rentang keabuan (*grayscale*) dapat digunakan secara optimal. Dengan cara ini, detail yang tersembunyi di area gelap maupun terang pada citra dapat ditingkatkan keterlihatannya [12].

Histogram dari suatu citra grayscale menunjukkan jumlah piksel untuk setiap tingkat intensitas keabuan. Histogram citra $H(i)$ untuk tingkat intensitas i diperoleh dari jumlah piksel n_i yang memiliki tingkat intensitas i , sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan (1), dimana L merupakan rentang maksimum tingkat keabuan (untuk citra 8-bit, nilainya adalah 256, yaitu 0-255).

$$H(i) = n, \text{ for } i = 0, 1, 2, \dots, (L - 1) \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1), histogram dibentuk dengan menghitung jumlah piksel pada setiap tingkat intensitas tertentu, dengan jumlah total piksel dalam citra $n = \sum_{i=0}^{L-1} H(i)$. Hasil ini digunakan untuk menghitung probabilitas $p_x(i)$ dari piksel i , seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$p_x(i) = p(x = i) = n_i/n \quad (2)$$

Probabilitas ini selanjutnya digunakan untuk menghitung fungsi distribusi kumulatif (CDF) menggunakan Persamaan (3)

$$cdf_x(i) = \sum_{j=0}^i p_x(x = j) \quad (3)$$

CDF memiliki nilai yang berada dalam rentang 0-255, dan digunakan sebagai dasar untuk melakukan pemetaan

ulang intensitas pada histogram hasil equalization, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (4)

$$h(v) = \text{round} \left(\frac{cdf(v) - cdf_{min}}{n - cdf_{min}} \right) \quad (4)$$

2) Adaptive Histogram Equalization (AHE)

Metode ini memperbaiki kelemahan HE dengan membagi citra menjadi blok-blok lokal, dan menerapkan *histogram equalization* pada masing-masing blok. Metode ini mampu meningkatkan detail lokal yang tersembunyi, terutama pada area gelap atau terang yang homogen. Namun, AHE sering kali meningkatkan noise secara signifikan karena tidak membatasi kontras lokal [13].

3) Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

Untuk mengatasi kelemahan AHE, dikembangkanlah *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) yang membatasi peningkatan kontras melalui parameter *clip limit*, yaitu nilai batas maksimum frekuensi histogram lokal sebelum dilakukan redistribusi. Fungsi utama *clip limit* adalah untuk menghindari penguatan kontras yang berlebihan, khususnya pada area homogen dalam citra yang dapat menyebabkan *over-enhancement* dan munculnya noise secara signifikan.

CLAHE bekerja dengan membatasi ketinggian histogram lokal, dan kelebihan frekuensi yang melewati batas ini akan didistribusikan ulang secara merata ke seluruh histogram. Dengan pendekatan ini, CLAHE mampu memberi peningkatan kontras secara lokal dan menjaga struktur alami citra. Nilai *clip limit* dapat dihitung menggunakan Persamaan (5) [5]

$$\beta = \frac{M}{N} \left(1 + \frac{\alpha}{100} (S_{max} - 1) \right) \quad (5)$$

Dimana M adalah luas area dari region, dan N adalah jumlah level intensitas dalam citra grayscale (untuk citra 8-bit,

$N=256$). Alpha (α) adalah factor pengatur clipping dalam rentang 0-100 dan S_{max} adalah nilai maksimum intensitas dalam region.

E. Metrik Evaluasi

Evaluasi kinerja masing-masing metode dilakukan menggunakan tiga metrik kuantitatif sebagai berikut:

1) Entropy

Mengukur keragaman informasi dalam citra. Semakin tinggi entropy, semakin banyak detail yang dipertahankan. Entropy didefinisikan

$$E(I) = - \sum_{k=0}^{L-1} p(k) \log_2(p(k)) \quad (6)$$

Dimana I adalah citra asli, $p(k)$ adalah probabilitas kemunculan nilai intensitas keabuan k dalam citra I dan $L = 2^q$ menunjukkan jumlah level keabuan yang berbeda. [14].

2) Root Mean Square (RMS) Contrast

Mengukur standar deviasi dari luminasi [3,4,20]. Oleh karena itu, kontras RMS dari citra $f(x, y)$ dan $g(x, y)$ intensitas dapat dinyatakan dengan persamaan 7 dan persamaan 8 [12].

$$f_{rms} = \left[\frac{1}{XY} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \{f(x, y) - \mu_f\}^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$g_{rms} = \left[\frac{1}{XY} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \{g(x, y) - \mu_g\}^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

Dimana $f(x, y)$ dan $g(x, y)$ adalah nilai tingkat keabuan yang telah dinormalisasi sehingga $0 < f(x, y), g(x, y) < 1$, dan μ_f, μ_g adalah nilai rata-rata tingkat keabuan ter-normalisasi.

Faktor untuk pengukuran kualitas menggunakan kontras RMS, nilainya berada dalam rentang [0,1] (0 adalah kualitas terburuk dan 1 adalah kualitas terbaik), ditunjukkan dengan Persamaan 9.

$$Q_{rms} = 1 - \frac{|f_{rms} - g_{rms}|}{f_{rms} + g_{rms}} \quad (9)$$

3) Structural Similarity Index (SSI)

Mengukur kesamaan struktur antara citra asli dan hasil enhancement. Nilai berada antara 0 dan 1, dengan 1 menunjukkan kesamaan sempurna.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1) + (2\sigma_x\sigma_y + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (10)$$

Di mana μ adalah rata-rata dan σ adalah standar deviasi dari citra pada piksel i , dan C_1 dan C_2 adalah konstanta yang ditambahkan untuk menghindari ketidakstabilan pada wilayah gambar dimana lokal μ atau mendekati nol [15].

F. Prosedur Eksperimen

Langkah-langkah eksperimen dilakukan sebagai berikut:

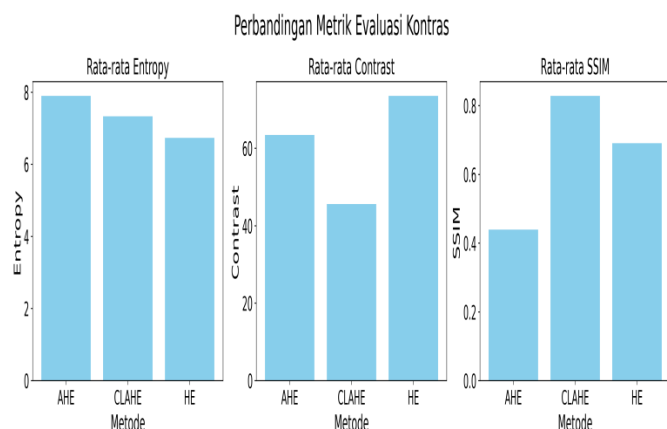
1. Mengimpor seluruh citra dari folder dataset dan mengonversinya ke format grayscale.
2. Menerapkan metode HE, AHE, dan CLAHE secara terpisah ke setiap citra.
3. Melakukan perhitungan nilai Entropy, RMS Contrast, dan SSIM antara citra asli dan hasil enhancement.
4. Menyimpan seluruh hasil evaluasi dalam bentuk tabel .xlsx untuk dianalisis lebih lanjut.
5. Menyusun grafik perbandingan untuk ketiga metrik sebagai bahan pembahasan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Evaluasi Kuantitatif

Evaluasi dilakukan terhadap tiga metode peningkatan kontras citra bawah air, yaitu *Histogram Equalization (HE)*, *Adaptive Histogram Equalization (AHE)*, dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*. Evaluasi kuantitatif dilakukan menggunakan tiga metrik utama, yaitu

Entropy, Kontras (*RMS Contrast*), dan *Structural Similarity Index Measure (SSIM)*.



Gambar 2. Hasil rerata dari entropy, kontras RMS dan SSIM

Pada Gambar 2, dapat dilihat hasil rata-rata dari masing-masing metrik untuk ketiga metode tersebut. Metode AHE menunjukkan nilai entropy tertinggi yaitu sekitar 8.1, diikuti oleh CLAHE dengan nilai sekitar 7.4, dan HE yang paling rendah dengan nilai sekitar 6.9. Hal ini menunjukkan bahwa AHE lebih mampu mempertahankan detail visual pada citra hasil peningkatan dibanding dua metode lainnya. Pada metrik *contrast*, metode HE memberikan hasil tertinggi dengan nilai sekitar 73, disusul oleh AHE dengan nilai sekitar 63, sementara CLAHE menghasilkan *contrast* paling rendah yakni sekitar 46. HE memberikan peningkatan *contrast* secara signifikan, namun cenderung mengabaikan stabilitas detail lokal. Untuk metrik SSIM, metode CLAHE memperoleh nilai tertinggi yaitu 0.85, diikuti oleh HE dengan nilai 0.69, dan AHE dengan nilai paling rendah yakni 0.48. Ini menunjukkan bahwa CLAHE paling baik dalam menjaga kemiripan struktur citra hasil enhancement terhadap citra asli.

Secara keseluruhan, CLAHE menunjukkan performa paling seimbang dengan nilai SSIM tertinggi (0.85) dan entropy yang cukup baik (7.4), meskipun dengan *contrast* terendah (46). HE unggul dalam peningkatan *contrast* (73) namun dengan SSIM dan entropy yang relatif lebih rendah, sedangkan AHE unggul dalam entropy (8.1) namun memiliki

SSIM terendah (0.48), yang mengindikasikan kurangnya stabilitas dalam menjaga struktur asli citra.

Gambar 3 menunjukkan hasil perbandingan visual dan histogram distribusi intensitas dari empat metode pengolahan citra, yaitu: citra asli (original), *Histogram Equalization (HE)*, *Adaptive Histogram Equalization (AHE)*, dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*. Citra asli tampak memiliki *contrast* rendah, yang ditunjukkan oleh histogram sempit dan terpusat di rentang intensitas menengah. Setelah diterapkan metode HE, *contrast* citra meningkat secara global dan histogramnya tersebar lebih merata ke seluruh rentang 0–255, namun terlihat kasar dan tidak halus, yang mengindikasikan potensi kehilangan detail dan *over-enhancement*. AHE kemudian meningkatkan *contrast* secara lokal, menghasilkan gambar yang tajam namun disertai munculnya noise, terutama di area homogen. Histogram AHE menunjukkan distribusi merata tetapi sangat fluktuatif, yang memperkuat dugaan munculnya artefak visual.

Sementara itu, metode CLAHE berhasil memberikan peningkatan *contrast* secara signifikan namun tetap mempertahankan tampilan alami. Citra hasil CLAHE terlihat tajam, seimbang, dan bebas dari noise berlebihan. Histogramnya juga terdistribusi dengan baik tanpa lonjakan ekstrem, mencerminkan distribusi intensitas yang terkendali. Hal ini menunjukkan bahwa CLAHE mampu mengatasi kelemahan dari HE dan AHE, dengan membatasi penguatan *contrast* melalui *clip limit*, sehingga cocok diterapkan pada citra bawah air yang umumnya memiliki *contrast* rendah dan detail halus yang rentan hilang akibat pemrosesan yang berlebihan.

V. KESIMPULAN

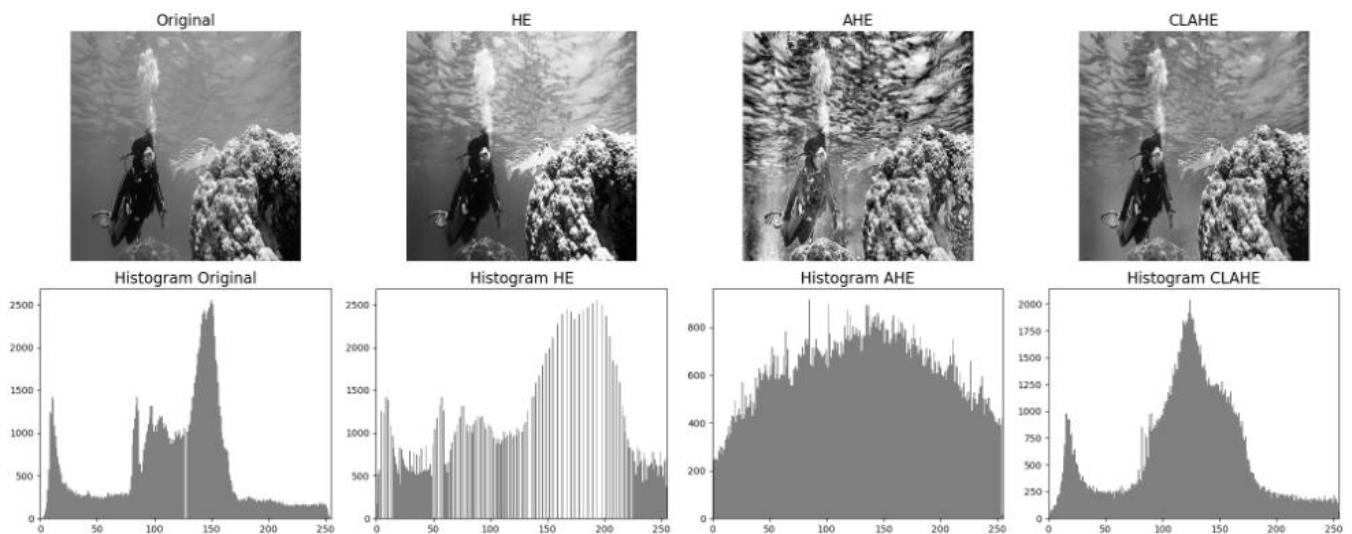
Penelitian ini membandingkan tiga metode peningkatan *contrast* citra bawah air, yaitu *Histogram Equalization (HE)*, *Adaptive Histogram Equalization (AHE)*, dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*, berdasarkan tiga metrik evaluasi kuantitatif: entropy, *contrast*, dan SSIM (*Structural Similarity Index*).

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa:

- a. AHE menghasilkan nilai entropy tertinggi, yang menunjukkan kemampuannya dalam memperkaya detail dan informasi lokal pada citra.
- b. HE memberikan nilai kontras tertinggi, namun dengan risiko hilangnya informasi halus serta penurunan keseragaman struktur citra.

- c. CLAHE menunjukkan performa paling seimbang, dengan nilai SSIM tertinggi serta peningkatan entropy dan kontras yang cukup stabil tanpa mengganggu struktur visual asli.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa CLAHE merupakan metode peningkatan kontras yang paling optimal untuk citra bawah air, karena mampu meningkatkan kualitas visual citra secara signifikan sekaligus menjaga integritas struktur dan informasi penting di dalam citra.



Gambar 3. Perbandingan metode HE, AHE dan CLAHE secara visual dan histogram distribusi intensitas dari citra bawah air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Liu dan B. M. Chen, "A Systematic Approach to Synthesize Underwater Images Benchmark Dataset and Beyond," *IEEE Int. Conf. Control Autom. ICCA*, vol. 2019-July, hal. 1517–1522, 2019, doi: 10.1109/ICCA.2019.8899919.
- [2] C. Li dkk., "An Underwater Image Enhancement Benchmark Dataset and beyond," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 29, hal. 4376–4389, 2020, doi: 10.1109/TIP.2019.2955241.
- [3] K. Xie, W. Pan, dan S. Xu, "An underwater image enhancement algorithm for environment recognition and robot navigation," *Robotics*, vol. 7, no. 1, hal. 1–13, 2018, doi: 10.3390/robotics7010014.
- [4] L. Kumari, N. Mittal, dan M. Modi, "An Experiment Based Improved Image Enhancement Methods Analysis," *Proc. - 2024 1st Int. Conf. Technol. Innov. Adv. Comput. TIACOMP 2024*, hal. 484–487, 2024, doi: 10.1109/TIACOMP64125.2024.00087.
- [5] S. Saifullah dan R. Drezewski, "Modified Histogram Equalization for Improved CNN Medical Image Segmentation," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 225, hal. 3021–3030, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.10.295.
- [6] P. Prateeshwaran, D. N. Keerthana, dan D. S. K. Andrews, "Underwater Image Enhancement Techniques," *Int. J. Res. Publ. Rev.*, vol. 5, no. 4, hal. 6148–6155, 2024, doi: 10.55248/gengpi.5.0424.1129.
- [7] F. D. Adhinata, A. C. Wardhana, D. P. Rakhmadani, dan A. Jayadi, "Peningkatan Kualitas Citra pada Citra Digital Gelap," *J. E-Komtek*, vol. 4, no. 2, hal. 136–144, 2020, doi: 10.37339/e-komtek.v4i2.373.
- [8] M. Naufal, H. Al Azies, G. A. Firmansyah, dan N. M. K. Kharisma, "Penerapan Teknik Adaptive Dan Histogram Equalization Dalam Pengolahan Citra," *J. Mhs. Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 1, hal. 9–18, 2024, doi: 10.24127/ilmukomputer.v5i1.5345.
- [9] N. K. Hamzidah, P. Lukman, M. M. Parenreng, dan A. W. Syahrir, "Implementasi Teknik Peningkatan Kualitas Citra dalam Monitoring dan Identifikasi Objek Bawah Laut," *Pros. 6th Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy.* 2022, hal. 153–158, 2022.
- [10] G. Mageshwari, M. Chandralekha, dan D. Chaudhary, "Underwater image re-enhancement with blend of Simplest Colour Balance and Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Algorithm,"

- 2023 *Int. Conf. Adv. Comput. Comput. Technol. InCACCT 2023*, hal. 501–508, 2023, doi: 10.1109/InCACCT57535.2023.10141807.
- [11] N. Samsheriya dan D. K. Gandhi, “Under Water Image Enhancement Using Gaussian Laplace Transform and CLAHE based Fusion Method,” *Proc. - 2nd Int. Conf. Smart Electron. Commun. ICOSEC 2021*, hal. 1748–1755, 2021, doi: 10.1109/ICOSEC51865.2021.9591705.
- [12] A. A. Bhuiyan dan A. R. Khan, “Image quality assessment employing RMS contrast and histogram similarity,” *Int. Arab J. Inf. Technol.*, vol. 15, no. 6, hal. 983–989, 2018.
- [13] W. Zhang, P. Zhuang, H. H. Sun, G. Li, S. Kwong, dan C. Li, “Underwater Image Enhancement via Minimal Color Loss and Locally Adaptive Contrast Enhancement,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 31, hal. 3997–4010, 2022, doi: 10.1109/TIP.2022.3177129.
- [14] J. C. M. Román, J. L. V. Noguera, H. Legal-Ayala, D. P. Pinto-Roa, S. Gomez-Guerrero, dan M. G. Torres, “Entropy and contrast enhancement of infrared thermal images using the multiscale top-hat transform,” *Entropy*, vol. 21, no. 3, hal. 1–19, 2019, doi: 10.3390/e21030244.
- [15] O. Susladkar *dkk*, “ClarifyNet: A high-pass and low-pass filtering based CNN for single image dehazing,” *J. Syst. Archit.*, vol. 132, no. August, hal. 102736, 2022, doi: 10.1016/j.sysarc.2022.102736.