

PENINGKATAN KUALITAS CITRA BAWAH AIR BERBASIS ALGORITMA FUSION DENGAN KESEIMBANGAN WARNA, OPTIMALISASI KONTRAS, DAN PEREGANGAN HISTOGRAM

Suharyanto^{1*}; Frieyadie²; Sandra Jamu Kuryanti³

Sistem Informasi^{1,3}

Universitas Bina Sarana Informatika^{1,3}

www.bsi.ac.id

suharyanto@bsi.ac.id¹; sandra.sjk@bsi.ac.id³

Sistem Informasi²

Universitas Nusa Mandiri²

www.nusamandiri.ac.id

frieyadie@nusamandiri.ac.id²

(* Corresponding Author



Abstrak—Para peneliti saat ini memberikan perhatian yang cukup besar terhadap obyek citra bawah air, kebutuhan akan aplikasi pengamatan citra bawah air memiliki peran yang sangat penting dalam mengidentifikasi objek, pemantauan kehidupan spesies, deteksi kebocoran pipa minyak atau gas, pemantauan polusi, dan sebagainya. Degradasi citra bawah air merupakan fenomena atmosfer yang merupakan hasil dari hamburan dan penyerapan cahaya. Kami menggunakan satu gambar terdistorsi untuk mendapatkan kontras yang ditingkatkan dan versi koreksi warna dari gambar aslinya. Selanjutnya menghilangkan distorsi dan meningkatkan visibilitas objek dalam gambar dengan menerapkan peta bobot, hal ini dapat dicapai dengan menerapkan penyeimbangan warna putih, kemudian penajaman menggunakan gaussian filtering dilakukan untuk, meningkatkan tampilan visual. pada setiap input yang di proses. Langkah terakhir dilakukan menaikkan nilai kontras dengan koreksi peregangan kontras yang dibatasi untuk meningkatkan warna keabuan dan untuk menghilangkan efek noise yang berlebihan pada latar belakang obyek gambar. Hasil penelitian evaluasi menggunakan fitur Root Mean Squared Error (RMSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan kami bandingkan dengan metode CLAHE. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan PSNR yang signifikan kualitas citra yg di perbaiki menggunakan algoritma kombinasi dibanding dengan menggunakan metode CLAHE sebagaimana yang kami paparkan dalam bagian hasil penelitian.

Kata Kunci: Keseimbangan Putih, Gray World, CLAHE, Pemerataan Histogram, koreksi warna, Dehazing, Filter Gaussian, citra bawah air, peningkatan kualitas.

Abstract— Researchers are currently paying considerable attention to underwater image objects, the need for underwater image observations has a very important role in finding species observation objects, detecting oil or gas leaks, observations, and so on. Underwater image degradation is an atmospheric phenomenon that is the result of the scattering and absorption of light. We use a single distorted image to get a contrast-enhanced and corrected version of the image that helps. Further eliminating distortion and increasing the visibility of objects in the image by applying a map view, this can be achieved by applying white balancing, then sharpening using gaussian filtering is done to, enhance the visuals. on each input that is processed. The last step is to increase the contrast value with limited contrast correction to increase the gray color and to eliminate the effect of excessive noise on the background of the image object. The results of the evaluation used the Root Mean Squared Error (RMSE) feature, and the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and we compared them with the CLAHE method. The evaluation results show a significant increase in PSNR image quality which is corrected using a combination algorithm compared to using the CLAHE method as described in the results section of the study.

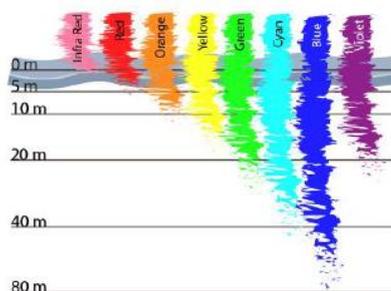
Keywords: White Balancing, Grey World, CLAHE, Multi-scale fusion, Weight maps, Dehazing, Gaussian filtering.

PENDAHULUAN

Lingkungan bawah laut menawarkan banyak pemandangan yang langka seperti hewan laut dan ikan, terumbu karang, dan bangkai kapal misterius. Selain di bawah air fotografi, pencitraan bawah air juga telah menjadi sumber penting dalam peminatan di berbagai cabang teknologi dan penelitian ilmiah, seperti inspeksi infrastruktur bawah air dan kabel, objek deteksi buatan manusia, kontrol kendaraan bawah air, biologi kelautan penelitian, dan arkeologi, (Ancuti et al., 2018), pemantauan fasilitas bawah air buatan (Tao et al., 2020). Berbeda dari gambar umum, gambar bawah air sangat mengalami visibilitas yang buruk akibat redaman yang disebarkan cahaya, terutama karena efek penyerapan dan hamburan. Penyerapan secara substansial mengurangi energi cahaya, sedangkan hamburan menyebabkan perubahan arah rambat cahaya. Mereka menghasilkan penampilan berkabut dan degradasi kontras, membuat objek jauh berkabut. Praktis, di air laut biasa bayangan, benda pada jarak lebih dari 10 meter hampir tidak terlihat, dan warnanya memudar karena susunan panjang gelombang dipotong sesuai dengan kedalaman air (Ancuti et al., 2018).

Terdapat perbedaan proses penyerapan cahaya didalam air berbeda dengan penyerapan cahaya di udara yaitu Perbedaan panjang gelombang cahaya (merah, hijau, biru) yang masuk kedalam air akan memiliki tingkat variasi masing-masing (Hitam et al., 2013), (Sujitha & Prajith, 2020) . Hal ini dapat ditunjukkan dalam ilustrasi pada gambar 1 terkait penyerapan cahaya oleh air.

Cahaya didalam air yang semakin berkurangnya intensitas warna pada gambar bawah air akibat adanya peredaman, karena itu dibutuhkan teknik yang dapat mengembalikan warna dan kontras yang hilang dari penyerapan.



Sumber: (A C & C A, 2020)
Gambar 1. Diagram Propagasi Cahaya

Dalam makalah ini, kami telah menggunakan teknik fusi berbasis citra tunggal (Singh & Biswas, 2016) untuk meningkatkan citra bawah air yang

terdegradasi. Pendekatan kami bekerja dalam tiga langkah: Pertama, pra-pemrosesan gambar asli yang menghasilkan Gambar White Balanced dan Contrast Enhanced, yang selanjutnya disajikan sebagai input ke langkah berikutnya. Kedua, menerapkan berbagai jenis peta bobot: luminance, saliency dan chromatic pada gambar yang diperoleh dari langkah pertama. Terakhir, gabungkan setiap input dan peta bobot bersama-sama untuk mendapatkan gambar yang disempurnakan. Pada langkah terakhir, kami telah menggunakan teknik fusi multi-skala untuk memadukan gambar yang berbeda, masing-masing memiliki fitur yang signifikan di dalamnya. Akibatnya, gambar yang dihasilkan yang mewarisi fitur dari semua gambar inputnya diperoleh. Ide di balik teknik ini adalah menggunakan satu gambar terdistorsi, alih-alih mengambil banyak gambar di lingkungan yang berbeda dan kemudian menggabungkannya menjadi satu. Inti algoritma terletak pada pilihan input dan peta bobot. Diskusi singkat tentang langkah-langkah yang kami usulkan adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.

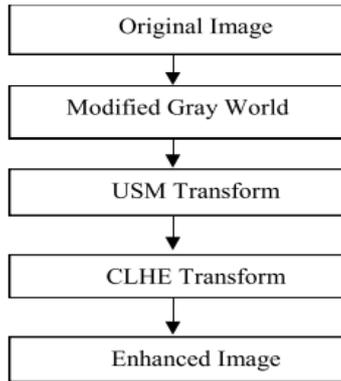
Penelitian ini melakukan komparasi antara metode pemerataan histogram (CLAHE) (Hitam et al., 2013), (Mishra et al., 2018) dan metode Kombinasi Koreksi warna dan Pemerataan Histogram (Sanila et al., 2019), (Singh & Biswas, 2016), (Subah et al., 2019), (Luo et al., 2021) dengan tujuan untuk mengetahui kinerja kedua metode tersebut dalam meningkatkan kualitas gambar bawah air.

Metode berbasis histogram yang paling umum dari peningkatan gambar adalah pemerataan histogram, yang memiliki kekurangan meningkatkan noise dari sisi latar belakang disamping mengurangi sinyal yang dapat digunakan. Untuk mencegah noise yang sangat diperkuat, jumlah kemunculan setiap tingkat abu-abu dibatasi tidak melebihi nilai yang telah ditentukan; sehingga perubahan kecerahan rata-rata dari gambar input dapat dibatasi. Untuk membatasi terjadinya intensitas, piksel dipotong pada nilai yang telah ditentukan sebelumnya dan piksel yang dipotong didistribusikan kembali secara seragam ke setiap blok atau ubin. Setelah prosedur ini barulah histogram pemerataan dilakukan. Biasanya, kliping dilakukan pada nilai yang ditentukan pengguna.

BAHAN DAN METODE

Dataset yang digunakan dalam Penelitian ini adalah dataset public Underwater Image Enhancement Benchmark (UIEB)(Li et al., 2019). Dari dataset citra bawah air tersebut penulis mengambil 20 buah gambar untuk dilakukan proses peningkatan kualitas gambar menggunakan metode

CLAHE dan Multiscale Fusion. Pengukuran kualitas citra hasil peningkatan tersebut dilakukan menggunakan *Mean Square Error (MSE)*, *Root Mean Squared Error (RMSE)*, dan *Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)* Dalam melakukan evaluasi peningkatan kualitas citra digunakan alat pengukuran Peak Signal to Noise Raatio(PNSR) serta Root Mean Squire Error(RMSE) adapun proses tersebut diatas menggunakan software Matlab R2019a.



Sumber : (Sanila et al., 2019)

Gambar 2. Kerangka Kerja

Dijelaskan kerangka kerja langkah-langkah yang digunakan penulis dalam gambar 2 dimana citra asli diinputkan kemudian dilakukan proses White Balancing menggunakan algoritma Gray World, tahap berikutnya Unsharp Masking (USM) untuk mendapatkan versi gambar yang buram menggunakan filter Gaussian. Tahap akhir dilakukan proses pemerataan histogram menggunakan Contrast Limit Histogram Equalisation (CLAHE).

White Balanced Image

Panjang gelombang yang lebih pendek menyebabkan ketidakseimbangan saluran RGB gambar. Efek ini bahkan memburuk ketika kedalaman melebihi 20-25m karena sebagian besar warna akan dibuang dan distorsi menjadi sulit untuk dipulihkan. Untuk menghilangkan distorsi atmosfer ini, kami menggunakan teknik konsistensi warna nuansa abu-abu untuk menghitung gambar white balance.

Algoritma white balance yang paling umum dan banyak digunakan adalah teori Gray World (GW) yang bekerja berdasarkan nilai rata-rata semua warna dalam sebuah gambar. Dalam metode GW, distribusi warna illuminan hanya diperkirakan dengan rata-rata setiap saluran secara independen. Gambar dengan dimensi M x N direpresentasikan sebagai I (x, y), di mana (x, y) menunjukkan indeks lokasi piksel. Langkah pertama dari algoritma GW

adalah menemukan rata-rata dari masing-masing saluran RGB seperti pada (1).

$$\begin{aligned}
 R_{avg} &= \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_r(x, y) \\
 G_{avg} &= \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_g(x, y) \\
 B_{avg} &= \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_b(x, y)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dimana, $I_r(x, y), I_g(x, y), I_b(x, y)$ secara berurutan nilai saluran warna merah, hijau, biru aetiap masing-masing piksel. T_{avg} dihitung dengan rata-rata ketiga saluran rata-rata seperti pada (2).

$$T_{avg} = (R_{avg} + G_{avg} + B_{avg})/3
 \tag{2}$$

Akhirnya, nilai warna untuk setiap piksel disesuaikan dengan persamaan yang diberikan di bawah ini untuk mencapai asumsi teori GW

$$\begin{aligned}
 I'_r(x, y) &= I_r(x, y) * T_{avg}/R_{avg} \\
 I'_g(x, y) &= I_g(x, y) * T_{avg}/G_{avg} \\
 I'_b(x, y) &= I_b(x, y) * T_{avg}/B_{avg}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Dimana, $I'_r(x, y), I'_g(x, y)$ and $I'_b(x, y)$ adalah nilai saluran yang disesuaikan dari setiap piksel dengan metode grey world.

$$\begin{aligned}
 I'_a(x, y) &= I_a(x, y) - ((A_{avg} \\
 &\quad - 128)I_l(x, y)/255) \\
 I'_b(x, y) &= I_b(x, y) - ((B_{avg} \\
 &\quad - 128)I_l(x, y)/255)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Dimana, $I'_a(x, y)$ and $I'_b(x, y)$ adalah nilai saluran yang disesuaikan dari setiap piksel dengan metode grey world yang dimodifikasi $I_l(x, y), I'_a(x, y)$ dan $I'_b(x, y)$ adalah nilai saluran masing-masing dari setiap intensitas piksel, A_{avg} and B_{avg} adalah rata-rata masing-masing saluran yang dihitung menggunakan (1). Untuk meniadakan pergeseran jarak kroma, 128 dikurangkan dari rata-rata.

Unsharp Masking

Gambar white balance kemudian dikenai unsharp masking (USM) untuk memastikan peningkatan tepi. Detail tajam diperoleh sebagai perbedaan antara gambar asli dan versi buramnya. Filter Gaussian digunakan untuk mendapatkan versi gambar yang kabur. Input untuk unsharp masking adalah citra white balance, dilambangkan sebagai $W(x, y)$, di mana (x,y) menunjukkan indeks lokasi piksel. Penajaman citra dilakukan dengan menggunakan (5).

$$S(x, y) = \alpha * W(x, y) - \beta * W'(x, y) \quad (5)$$

dimana, $S(x,y)$ adalah gambar versi high pass filtered, $W'(x,y)$, apakah versi blur diperoleh dengan Gaussian filtering dan α dan β adalah faktor skala. Nilai masing-masing yang digunakan adalah 1,5 dan 0,5.

Constrast Limited Adaptif Equalization Histogram (CLAHE)

Constrast Limited Adaptif Equalization Histogram (CLAHE) merupakan generalisasi dari Histogram Adaptif Pemerataan (AHE). Pada awalnya CLAHE dikembangkan untuk meningkatkan gambar medis yang memiliki kontras rendah (Hj Wan Yussof et al., 2013). Perbedaan CLAHE dari AHE yaitu dalam hal pembatasan nilai kontrasnya. CLAHE membatasi amplifikasi dengan memotong histogram berdasarkan nilai yang ditentukan oleh pengguna yang disebut dengan batas klip. Banyaknya noise dalam histogram yang harus dihaluskan ditentukan oleh level kliping dan karenanya beberapa kontras harus ditingkatkan (Hitam et al., 2013). Dalam hal ini klip histogram diterapkan dan secara otomatis menyesuaikan level kliping dan memoderasi peningkatan berlebih dari wilayah latar belakang gambar. Klip histogram yang biasa digunakan salah satunya adalah Distribusi Rayleigh (Nurtantio Andono et al., 2013) (Suharyanto, 2020) yang menghasilkan lonceng histogram. Fungsi ini diberikan oleh :

$$\text{Rayleigh } g = g_{min} + \left[2(a^2) \ln \left(\frac{1}{1-P(f)} \right) \right]^{0.5} \quad (6)$$

di mana g_{min} adalah nilai piksel minimum, $P(f)$ adalah kumulatif distribusi probabilitas dan merupakan skalar nyata non-negatif menentukan parameter distribusi (Hitam et al., 2013). Dalam penelitian ini, klip batas diatur ke 0.02 dan nilai dalam distribusi Rayleigh fungsi diatur ke 0.04.

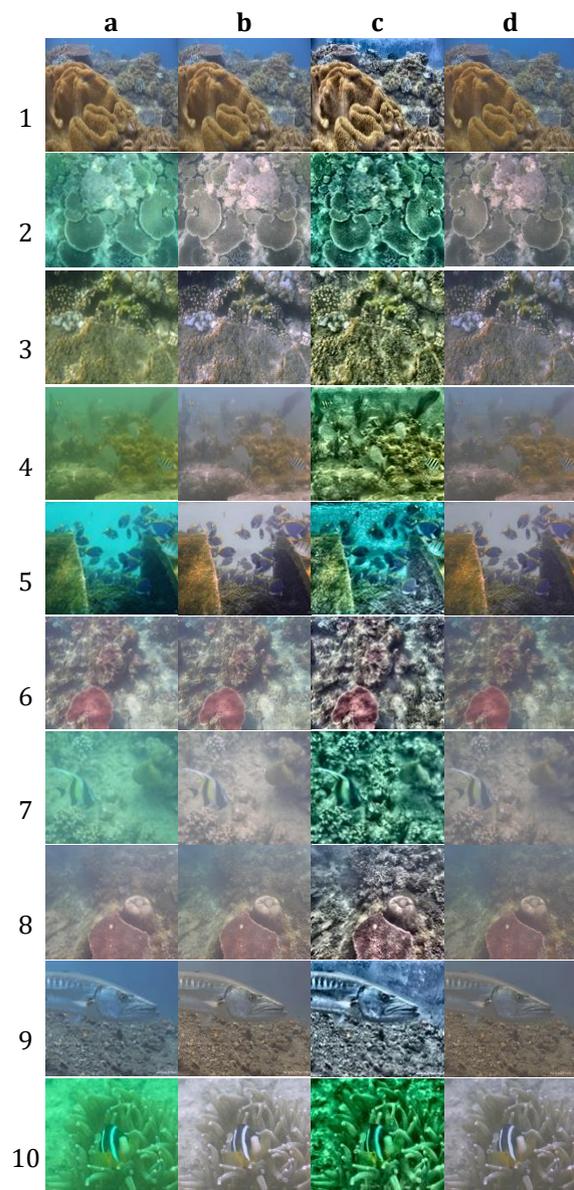
Untuk mencegah noise yang sangat diperkuat, jumlah kemunculan setiap tingkat abu-abu dibatasi tidak melebihi nilai yang telah ditentukan; sehingga perubahan kecerahan rata-rata dari gambar input dapat dibatasi. Untuk membatasi terjadinya intensitas, piksel dipotong pada nilai yang telah ditentukan sebelumnya dan piksel yang dipotong didistribusikan kembali secara seragam ke setiap blok atau ubin.

Sebagai langkah awal untuk CLHE, citra bawah air ditransformasikan dari model RGB ke model LAB. Pembatasan kontras pemerataan histogram diterapkan pada komponen luminance, di mana batas klip adalah titik tengah histogram saluran L. Kemudian saluran L yang ditingkatkan kontrasnya digabungkan dengan saluran A dan B. Akhirnya, gambar yang diproses dikonversi kembali

ke model RGB. Hasil CLHE dengan berbagai batas klip yang dipilih berdasarkan nilai tengah histogram ditunjukkan pada Gambar 4. Evaluasi metode yang diusulkan menunjukkan bahwa titik tengah histogram adalah nilai optimal untuk batas klip. Dalam metode yang diusulkan, akhirnya, algoritma CLHE diterapkan pada gambar yang dipertajam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses peningkatan citra bawah air menggunakan metode pemerataan histogram terhadap 20 citra dari dataset (UIEB) .

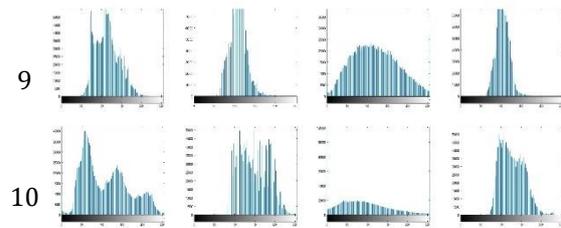
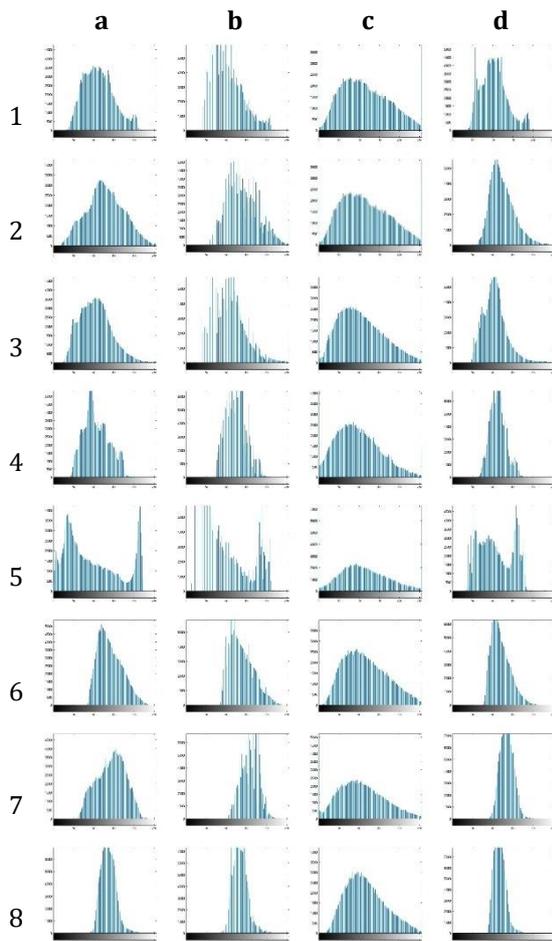


Sumber : (Li et al., 2019), (Suharyanto, Frieyadie, 2021)

Gambar 3. Hasil Proses Enhancement.

Gambar 3 menampilkan 10 citra hasil proses perbaikan citra yang dilakukan pada 20 citra bawah air, dimana citra Input (a) dilakukan proses perbaikan dengan metode White Balancing dan menghasilkan (b), citra input juga dilakukan perbaikan dengan metode CLAHE (c) dan yang terakhir citra input dilakukan perbaikan dengan metode kombinasi white Balancing dan CLAHE menghasilkan citra (d)

Kemudian masing masing citra yang telah di tingkatkan kualitas kontrasnya dilakukan evaluasi proses pengukuran kinerja, evaluasi kualitas gambar sangat penting. Evaluasi subjektif terbaik dari gambar dilakukan oleh mata manusia karena mereka adalah penerima yang baik. Analisis obyektif citra dilakukan dengan menggunakan metrik referensi penuh. Hasil pengukuran objektif divalidasi dengan pengukuran subjektif(Horé & Ziou, 2010) disini penulis menggunakan metode pengukuran RMSE yang berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai pergeseran data antara sinyal sumber dan sinyal hasil keluaran, dimana sinyal sumber dan sinyal hasil keluaran memiliki ukuran yang sama untuk mengetahui error dari citra hasil perbaikan(Mehra, 2016).



Sumber : (Li et al., 2019)(Suharyanto, Frieyadie, 2021)

Gambar 4. Histogram hasil proses *enhancement*.

Gambar 4 menampilkan histogram citra input (a), citra enhancement menggunakan metode White Balancing (b), peregangan kontras histogram (c), kombinasi metode a dan b (d). Peningkatan kecerahan warna keabuan yang dihasilkan (c) dikombinasikan dengan penajaman koreksi warna sehingga menghasilkan kualitas gambar (d) yang dapat ditingkatkan kecerahannya melalui (c).

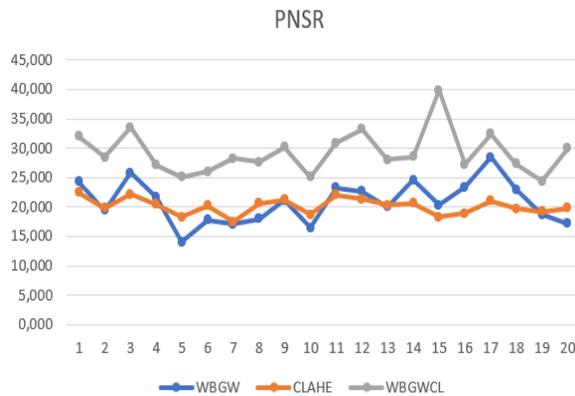
Tabel 1. PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)

	a	b	c
Citra 1	24,241	22,480	31,955
Citra 2	19,415	19,833	28,447
Citra 3	25,839	22,178	33,556
Citra 4	21,682	20,440	27,087
Citra 5	14,063	18,265	25,047
Citra 6	17,754	20,196	26,053
Citra 7	17,038	17,468	28,199
Citra 8	17,961	20,589	27,653
Citra 9	21,162	21,267	30,150
Citra 10	16,500	18,694	25,095
Citra 11	23,250	22,071	30,920
Citra 12	22,690	21,342	33,239
Citra 13	20,049	20,365	28,014
Citra 14	24,550	20,573	28,570
Citra 15	20,322	18,256	39,848
Citra 16	23,371	18,847	27,194
Citra 17	28,433	21,072	32,459
Citra 18	22,986	19,697	27,355
Citra 19	18,652	19,238	24,429
Citra 20	17,184	19,807	29,953

Sumber: (Suharyanto, Frieyadie, 2021)

Tabel 4, Tabel 1 menampilkan data nilai PNSR 20 citra bawah air yang terdiri dari kolom nilai PNSR citra yang di tingkatkan kualitasnya dengan metode White Balancing (a), CLAHE (b), Kombinasi White Balancing dan CLAHE (c). Dari tabel diatas terlihat nilai PNSR metode b lebih besar dari nilai dengan metode a, sementara nilai PNSR dengan metode c lebih besar dari nilai dengan metode b, sehingga

dikatakan metode c lebih baik dibandingkan dengan metode a dan b.



Sumber: (Suharyanto, Frieyadie, 2021)
Gambar 5. Grafik Nilai PNSR 20 citra bawah air

Gambar 5 secara visualisasi menunjukkan keunggulan metode Kombinasi color correction dan Pemerataan histogram (WBGWCL) bahwa tingkat PNSR nya berada paling tinggi dibandingkan metode White Balancing dan Pemerataan histogram.

Tabel 2. RMSE (Root Mean Square Error)

	a	b	c
Citra 1	0,00377	0,00565	0,00037
Citra 2	0,01144	0,01039	0,00216
Citra 3	0,00261	0,00606	0,00059
Citra 4	0,00679	0,00904	0,00120
Citra 5	0,03924	0,01491	0,00060
Citra 6	0,01677	0,00956	0,00248
Citra 7	0,01978	0,01792	0,00244
Citra 8	0,01599	0,00873	0,00836
Citra 9	0,00765	0,00747	0,00071
Citra 10	0,02239	0,01351	0,00158
Citra 11	0,00473	0,00621	0,00065
Citra 12	0,00538	0,00734	0,00350
Citra 13	0,00989	0,00919	0,00554
Citra 14	0,00351	0,00876	0,00224
Citra 15	0,00929	0,01494	0,00073
Citra 16	0,00460	0,01304	0,00131
Citra 17	0,00143	0,00781	0,00062
Citra 18	0,00503	0,01072	0,00114
Citra 19	0,01364	0,01192	0,00103
Citra 20	0,01913	0,01046	0,00062

Sumber: (Suharyanto, Frieyadie, 2021)

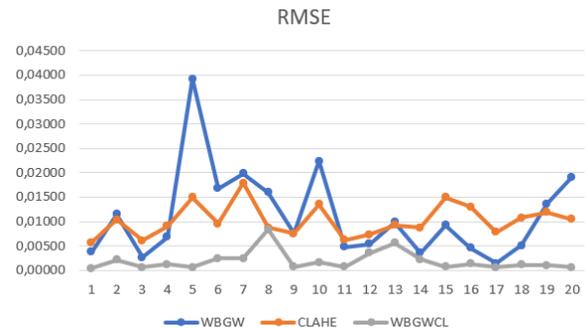
Tabel 5, menampilkan data nilai RMSE 20 citra bawah air yang terdiri dari kolom nilai RMSE citra

yang di tingkatkan kualitasnya dengan metode White Balancing (a), CLAHE (b), Kombinasi White Balancing dan CLAHE (c).

Tabel 3. Rata Rata RMSE, PNSR

	a	b	c
RMSE	0,01115	0,01018	0,00189
PNSR	20,857	20,134	29,261

Sumber: (Suharyanto, Frieyadie, 2021)



Sumber: (Suharyanto, Frieyadie, 2021)
Gambar 6. Grafik Nilai RMSE 20 citra bawah air.

Gambar 6 secara visualisasi menunjukkan keunggulan metode Kombinasi color correction dan Pemerataan histogram (WBGWCL) bahwa tingkat RMSE nya berada paling rendah dibandingkan metode White Balancing dan Pemerataan histogram.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan sebuah metode teknik peningkatan kualitas citra bawah air berbasis color corection dan pemerataan histogram pada citra bawah air yang sangat terdegradasi. Hasil eksperimen menunjukkan sangat efektif untuk mengurangi tingkat error citra yang dihasilkan setelah enhancement menggunakan Peningkatan Kontras berbasis pemerataan histogram. Peningkatan kontras berdasarkan pemerataan histogram citra asli terbukti merupakan teknik yang sangat efektif untuk mengurangi eror dengan persamaan terhadap citra asli. Teknik klipping atau perpotongan histogram pada metode CLAHE untuk memberikan kontrol piksel lebih baik dari perbaikan kontras yang mengarah ke peningkatan kualitas Teknik pembatasan dengan perpotongan histogram sangat baik dalam metode CLAHE karena berhasil mengontrol piksel citra secara otomatis. Untuk menghasilkan citra hasil peregangkan kontras yang memiliki efek noise pada latar belakang citra bawah air maka dilakukan terlebih dahulu penyeimbangan warna putih menggunakan metode white balancing dengan model grey world (WBGW)

sehingga menghasilkan output citra (WBGWCL) dengan nilai PNSR yang lebih tinggi dan RMSE yang rendah dibandingkan hanya dengan metode CLAHE saja. PNSR dan RMSE digunakan untuk mengevaluasi citra bawah air yang berfungsi untuk menghitung seberapa besar pergeseran data antara sinyal sumber dan sinyal hasil keluaran, dimana sinyal sumber dan sinyal hasil keluaran memiliki ukuran yang sama untuk mengetahui error dari citra hasil perbaikan. Dari tabel 1 dan 2 tersebut terlihat nilai 20 citra bawah air memiliki nilai PNSR dengan metode kombinasi White Balancing lebih besar dari CLAHE, sedangkan nilai RMSE lebih kecil dari CLAHE, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode peningkatan kualitas citra bawah air menggunakan metode kombinasi White balancing dan CLAHE lebih baik dari metode CLAHE saja. Namun penulis berharap ada metode lainnya yang dapat lebih baik lagi dalam meningkatkan kualitas Citra bawah air.

REFERENSI

- A C, S., & C A, P. (2020). Underwater Image Enhancement by Multiscale Fusion Technique and Dehazing. *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT49239.2020.9225421>
- Ancuti, C. O., Ancuti, C., De Vleeschouwer, C., & Bekaert, P. (2018). Color Balance and Fusion for Underwater Image Enhancement. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(1), 379–393. <https://doi.org/10.1109/TIP.2017.2759252>
- Hitam, M. S., Awalludin, E. A., Jawahir Hj Wan Yusof, W. N., & Bachok, Z. (2013). Mixture contrast limited adaptive histogram equalization for underwater image enhancement. *International Conference on Computer Applications Technology, ICCAT 2013*. <https://doi.org/10.1109/ICCAT.2013.6522017>
- Hj Wan Yusof, W. N. J., Hitam, M. S., Awalludin, E. A., & Bachok, Z. (2013). Histogram Equalization Technique on Combined Color Models for Underwater Image Enhancement. *International Journal of Interactive Digital Media*, 1(1), 1–6. www.ijidm.org
- Horé, A., & Ziou, D. (2010). Image quality metrics: PSNR vs. SSIM. *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition*, 2366–2369. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2010.579>
- Li, C., Guo, C., Ren, W., Cong, R., Hou, J., Kwong, S., & Tao, D. (2019). *An Underwater Image Enhancement Benchmark Dataset and Beyond*. 1–12. <http://arxiv.org/abs/1901.05495>
- Luo, W., Duan, S., & Zheng, J. (2021). Underwater image restoration and enhancement based on a fusion algorithm with color balance, contrast optimization and histogram stretching. *IEEE Access*, 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3060947>
- Mehra, R. (2016). Estimation of the Image Quality under Different Distortions. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 5(17291), 17291–17296. <https://doi.org/10.18535/ijecs/v5i7.20>
- Mishra, A., Gupta, M., & Sharma, P. (2018). Enhancement of Underwater Images using Improved CLAHE. *2018 International Conference on Advanced Computation and Telecommunication (ICACAT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICACAT.2018.8933665>
- Nurtantio Andono, P., Eddy Purnama, I. K., & Hariadi, M. (2013). Underwater image enhancement using adaptive filtering for enhanced sift-based image matching. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 52(3), 273–280.
- Sanila, K. H., Balakrishnan, A. A., & Supriya, M. H. (2019). Underwater Image Enhancement Using White Balance, USM and CLHE. *2019 International Symposium on Ocean Technology (SYMPOL)*, 106–116. <https://doi.org/10.1109/SYMPOL48207.2019.99005301>
- Singh, R., & Biswas, M. (2016). Adaptive histogram equalization based fusion technique for hazy underwater image enhancement. *2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCIC.2016.7919711>
- Subah, S. S., Islam, M. A., & Islam, M. M. (2019). Underwater Image Enhancement Based on Fusion Technique via Color Correction and Illumination Adjustment. *2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICASERT.2019.8934573>
- Suharyanto, Frieyadie, K. (2021). *Laporan Akhir Penelitian Mandiri Analisis Perbaikan Citra Bawah Air 2021. 1*.
- Suharyanto, F. (2020). Analisis komparasi perbaikan kualitas citra bawah air berbasis kontras pemerataan histogram. *Inti Nusa Mandiri*, 15(1), 95–102. <https://doi.org/10.33480/inti.v15i1.1501>

Sujitha, A. C., & Prajith, C. A. (2020). Underwater Image Enhancement by Multiscale Fusion Technique and Dehazing. *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT49239.2020>

.9225421
Tao, Y., Dong, L., & Xu, W. (2020). A Novel Two-Step Strategy Based on White-Balancing and Fusion for Underwater Image Enhancement. *IEEE Access*, 8, 217651–217670. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3040505>