

Peningkatan Kualitas Citra Bawah Air Berbasis Perataan Histogram

Arjuna Marcelino (13519021)

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung
E-mail (gmail): arjunamarcelino@gmail.com

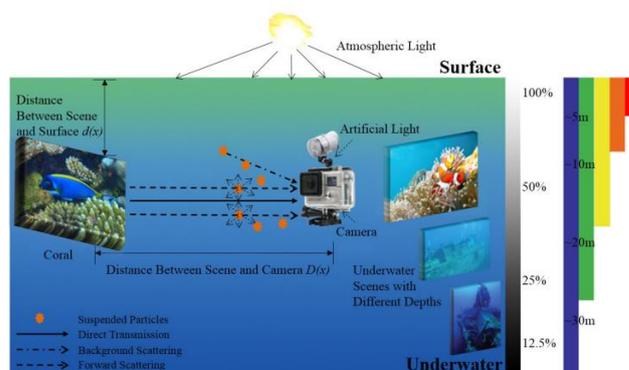
Abstrak—Laut adalah bagian terluas dari bumi. Ada banyak penelitian yang ingin mengetahui hal-hal yang terjadi di bawah laut. Kemajuan teknologi memungkinkan manusia untuk dapat mengeksplorasi laut hanya dengan menggunakan kamera dan memanfaatkan citra bawah air yang ditangkap. Citra bawah air memiliki kualitas citra yang gelap dan kurang baik dikarenakan kedalaman dari citra yang diambil. Faktor pencahayaan berperan penting dalam menjaga kualitas citra. Untuk dapat melakukan penelitian, diperlukan usaha untuk dapat meningkatkan kualitas citra bawah air sehingga lebih mudah untuk dilihat dan dimengerti baik oleh manusia maupun untuk diteruskan ke pemrosesan selanjutnya oleh komputer. Penelitian ini membahas salah satu metode peningkatan kualitas citra yaitu dengan Relative Global Histogram Stretching. Hasil penelitian dievaluasi cukup baik dalam meningkatkan kualitas citra bawah air dilihat dari sisi visibilitas dan histogram citra yang lebih merata.

Kata kunci—peningkatan kualitas citra; citra bawah air; perataan histogram; relative global histogram stretching

I. PENDAHULUAN

Planet bumi, tempat manusia tinggal, memiliki lebih banyak wilayah laut dibandingkan wilayah daratan. Sekitar 70% wilayah di bumi adalah wilayah lautan. Lautan begitu luas dan berisikan banyak makhluk hidup dan sumber daya yang masih banyak belum diketahui dan dikenali secara pasti tetapi diyakini memiliki peranan penting dalam kelanjutan kehidupan di bumi [1]. Maka dari itu, perlu dilakukan penelusuran, penyelidikan, dan penelitian lebih dalam terkait hal tersebut. Sejak pertengahan abad ke-20, eksplorasi lautan di seluruh dunia telah dilakukan secara aktif dalam kegiatan berteknologi tinggi [2]. Citra bawah air memiliki peranan penting dalam melakukan eksplorasi, menjaga kehidupan bawah air, melakukan ekspedisi, pengembangan robot bawah air, dan pengembangan sistem pengenalan objek bawah air [3]-[5]. Citra bawah air merupakan pembawa informasi penting untuk memahami lingkungan bawah air. Akan tetapi, warna dan kontras dari citra bawah air mengalami degradasi karena penyerapan dan hamburan cahaya yang bergantung pada panjang gelombang, pencahayaan yang tidak mencukupi, dan perangkat yang tidak memadai [6], [7]. Penyerapan cahaya secara selektif menyebabkan penyimpangan warna citra bawah air. Selain itu, hamburan cahaya dengan mudah menyebabkan detail menjadi buram dan kontras menjadi rendah [8].

Perkembangan komputer yang semakin maju bisa membantu menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang dihadapi oleh manusia, termasuk salah satunya adalah perbaikan kualitas citra bawah air. Peningkatan kualitas citra merupakan salah satu proses awal dalam peningkatan mutu citra. Peningkatan mutu citra adalah suatu proses perbaikan citra untuk mendapatkan citra yang lebih mudah untuk diinterpretasikan oleh mata manusia. Hal ini menjadi penting karena citra, terkhususnya citra bawah air, mempunyai kualitas yang buruk. Peningkatan mutu citra diharapkan dapat meningkatkan persepsi dan kemampuan menerjemahkan informasi citra serta memberikan masukan yang lebih baik pada teknik pengolahan citra yang lain.



Gambar 1. Diagram pencitraan optik bawah air

Memahami model pencitraan optik bawah air dapat membantu dalam merancang dan mengusulkan strategi peningkatan kualitas citra yang lebih baik dan efektif. Gambar 1. menunjukkan proses pencitraan optik bawah air dan redaman selektif cahaya. Saat di bawah air, cahaya merah memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dan diserap lebih cepat dari panjang gelombang hijau dan biru. Hal ini menyebabkan citra bawah air memiliki kecenderungan memunculkan nada warna hijau-kebiruan. Pada Gambar 1., kita dapat melihat interaksi antara cahaya, transmisi media, kamera dan scene. Kamera menerima tiga jenis energi cahaya, yaitu transmisi langsung dari scene yang ditangkap, hamburan ke depan oleh partikel kecil, dan hamburan latar belakang yang berasal dari cahaya atmosfer. Penggunaan sumber cahaya buatan cenderung memberikan efek buruk pada hamburan latar

belakang. Partikel yang tersuspensi di bawah air menghasilkan derau dan memperburuk kualitas citra [9].

Untuk menyelesaikan permasalahan dan tantangan terkait kualitas citra bawah air, sudah banyak metode perbaikan kualitas citra bawah air yang telah dikembangkan. Pada tahap awal, metode yang digunakan berbasis perangkat keras khusus, menggunakan banyak citra dan polarisasi citra untuk meningkatkan kualitas citra bawah air. Namun, perangkat keras ini memiliki kelemahan, yaitu sulit untuk menangkap urutan citra. Selain itu, metode lain yang telah dikembangkan yaitu berbasis restorasi. Metode ini juga memiliki kelemahan yaitu sulit untuk memperkirakan parameter model citra bawah air secara akurat. Metode berbasis pembelajaran juga masih sulit dilakukan karena minimnya gambar berkualitas tinggi. Terakhir, metode berbasis peningkatan citra yang memiliki kemampuan yang bagus untuk meningkatkan kontras dan kecerahan citra bawah air. Walaupun, masih memiliki kecenderungan untuk mendapatkan peningkatan yang berlebihan dan *saturation* yang berlebihan [8]. Peningkatan kualitas citra berbasis algoritma lebih efisien dan mudah dibanding dengan pendekatan secara fisik dengan pengembangan perangkat keras.

Penyetaraan warna sudah banyak digunakan sebagai salah satu pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan perubahan warna citra bawah air, di mana citra bawah air sangat dominan dengan warna biru dan hijau. Iqbal et al. mengajukan *integrated color model* (ICM) [10] dan *unsupervised color correction method* (UCM) [11]. Metode ini menggunakan peregangan histogram pada mode warna RGB dan peregangan saturasi-intensitas pada mode warna HIS untuk meningkatkan kontras citra dan perbaikan perubahan warna. Berbeda dengan ICM, UCM memodifikasi warna merah dan hijau berdasarkan hipotesis Von Kries dan meregangkan satu atau kedua sisi berdasarkan karakteristik dari warna RGB. Hasil dari kedua metode ini tidak terlalu jauh berbeda dan masih memiliki kecenderungan nada warna hijau-biru [12].

Pada makalah ini, penulis akan membahas dan melakukan eksperimen dengan menggunakan salah satu metode peningkatan kualitas citra bawah air, yaitu *relative global histogram stretching* (RGHS). Pada dasarnya, dalam metode tersebut akan dilakukan penyetaraan warna hijau dan biru serta peregangan histogram pada model warna RGB. Metode ini juga akan menentukan rentang peregangan parameter berdasarkan pada distribusi kedua fitur dari citra orisinal dan penyerapan cahaya dari panjang gelombang yang berbeda di bawah air. Metode ini akan memanfaatkan bilateral filter. Bilateral filter merupakan sebuah skema sederhana dan non-iteratif untuk perataan tepi yang dimanfaatkan secara efektif untuk menangkap detail setelah citra dibentangkan dalam model warna RGB. Setelah dilakukan koreksi kontras dan warna, RGHS akan mempertahankan detail gambar dan meningkatkan visibilitas. Keunggulan metode ini dibandingkan metode yang lain adalah memiliki nilai tertinggi untuk entropi dan UCIQE, nilai terendah untuk Q-MOS dan MSE [12].

Makalah ini selanjutnya disusun dengan rincian sebagai berikut: Bagian II memperkenalkan pemrosesan terkait peningkatan kualitas citra bawah air. Bagian III menunjukkan model peningkatan kualitas citra bawah air secara lebih rinci

khususnya membahas metode yang akan dipakai, yaitu RGHS. Bagian IV akan memuat hasil dan evaluasi dari metode yang akan digunakan. Terakhir, bagian V akan memuat kesimpulan dari seluruh makalah ini.

II. STUDI LITERATUR

Bagian ini akan membahas tentang prinsip dasar mengenai pencitraan optik bawah air, peregangan histogram, dan ulasan tentang studi terkait citra bawah air.

A. Model Pembentukan Citra Bawah Air

Berdasarkan pada model pencitraan Jaffe-McGlamey [13], citra bawah air terdiri atas superposisi linier dari komponen hamburan langsung, hamburan balik, dan hamburan maju. Hamburan maju ini dapat diabaikan, sehingga model pencitraan dapat disederhanakan menjadi:

$$I_c = Jt_c + A_c (I - t_c), c \in \{R, G, B\}, \quad (1)$$

di mana I adalah citra bawah air yang terdegradasi, J adalah pancaran objek yang akan dipulihkan, A adalah hamburan balik global cahaya, dan t adalah rasio residu energi yang bergantung pada jarak benda dan koefisien redaman air. J t adalah hamburan ke depan yang menyebabkan penyimpangan kabur dan warna. $A (I - t)$ adalah hamburan latar belakang yang merupakan alasan utama untuk degradasi kontras dan penyimpangan warna [14]. Hamburan ke depan dan hamburan latar belakang bergantung pada media peta transmisi [15]. t merupakan fungsi terhadap c dan juga $d(x)$ jarak antara *scene* dan kamera yang mencerminkan efek keseluruhan untuk kedua hamburan cahaya dan perubahan warna yang disebabkan oleh cahaya dengan perjalanan gelombang dari jarak bawah air. Maka itu, t_c dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$t_c = Nrer(c)^{d(x)} \quad (2)$$

$Nrer(c)$ adalah rasio residu energi yang telah dinormalisasi, di mana mengacu pada rasio residu dengan energi awal untuk setiap satuan jarak yang dirambatkan. Ketergantungan $Nrer(c)$ pada panjang gelombang cahaya berdasarkan *Ocean Type* dapat didefinisikan sebagai:

$$Nrer(\lambda) = \begin{cases} 0.8 \sim 0.85 & \text{if } \lambda = 650 \sim 750 \mu\text{m (red)} \\ 0.93 \sim 0.97 & \text{if } \lambda = 490 \sim 550 \mu\text{m (green)} \\ 0.95 \sim 0.99 & \text{if } \lambda = 400 \sim 490 \mu\text{m (blue)} \end{cases} \quad (3)$$

Pada makalah ini, persamaan di atas akan menjadi pertimbangan untuk menentukan rentang maksimum dari warna RGB pada RGHS.

B. Peregangan Histogram

Peregangan kontras merupakan metode sederhana untuk memperbaiki citra yang memiliki kontras rendah. Tujuan peregangan kontras: meningkatkan rentang nilai-nilai keabuan untuk citra kontras-rendah (terentang dari nilai r_1 sampai r_2 pada citra dengan nilai keabuan 0 sampai $L - 1$). Citra kontras-rendah dihasilkan dari pencahayaan yang kurang, kekurangan pada rentang dinamis di dalam imaging sensor, dan kesalahan pengaturan lensa selama akuisisi gambar.

Citra bawah air umumnya memiliki kontra dan visibilitas yang rendah. Histogram merupakan cara paling efektif untuk

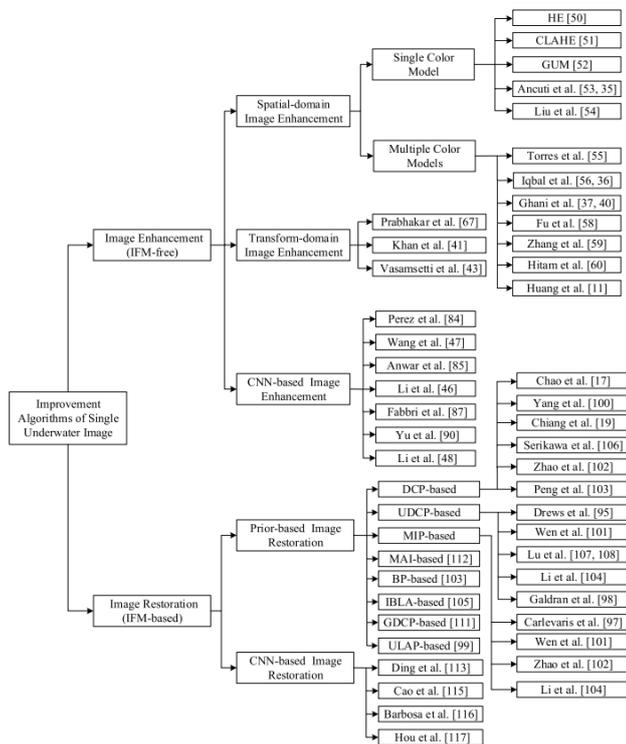
meningkatkan kontras dari citra. Peregangannya histogram warna citra dilakukan untuk memberikan distribusi piksel yang lebih baik dari kanal citra ke seluruh rentang yang dinamis sehingga akan meningkatkan kontras citra. Sebuah peregangannya kontras linier diformulasikan sebagai:

$$p_o = (p_i - a) \left(\frac{c-d}{b-a} \right) + d \quad (4)$$

di mana p_o dan p_i adalah masukan dan keluaran nilai intensitas piksel. a dan b merupakan nilai minimum dan maksimum dari intensitas citra masukan. c dan d merupakan nilai minimum dan maksimum dari intensitas citra keluaran. Dalam peregangannya global, c diset bernilai konstan yaitu 255 dan d diset bernilai konstan yaitu 0, sedangkan a dan b dipilih pada 0.2% dan 99.8% pada keseluruhan histogram dari citra masukan.

C. Studi Terkait

Sudah banyak studi terkait yang membahas terkait algoritma peningkatan kualitas citra bawah air. Gambar 2. menunjukkan kategori dari peningkatan kualitas citra bawah air yang telah dilakukan.

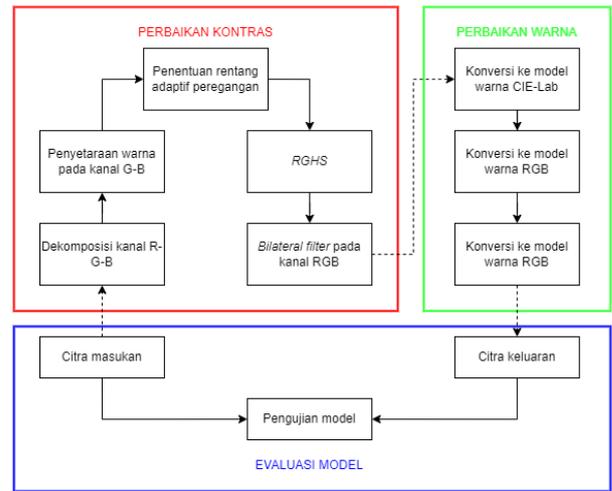


Gambar 2. Kategori studi dari algoritma tentang peningkatan kualitas citra bawah air

Peningkatan kualitas citra bawah air dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu dengan metode *image enhancement* dan *image restoration* berdasarkan perspektif metode tersebut meningkatkan kualitas citra baik melalui model fisik pencitraan optik atau tidak.

III. SHALLOW-WATER IMAGE ENHANCEMENT MODEL

Proses dari metode yang akan dipakai akan terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu perbaikan kontras, perbaikan warna, dan pengujian kualitas. Secara keseluruhan, proses yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Keseluruhan proses dari metode yang digunakan

Pada tahap perbaikan kontras, akan dilakukan penyetaraan warna dan RGHS pada citra setelah dekomposisi kanal RGB. *Bilateral filter* digunakan untuk mengeliminasi derau setelah dilakukan RGHS untuk dapat tetap mempertahankan detail citra bawah air sesuai dengan diinginkan. Hal ini akan menetralkan kontras rendah dan mengurangi efek warna karena hamburan dan penyerapan cahaya. Pada tahap perbaikan warna, akan dilakukan peregangannya histogram global sederhana pada komponen 'L' dari citra dan penyesuaian komponen 'a' dan 'b' di ruang warna CIE-Lab. Hal ini akan meningkatkan saturasi dan kecerahan dari citra. Terakhir, pada percobaan ini, akan digunakan dua buah metode untuk melakukan pengujian dan evaluasi, yaitu MSE dan PSNR.

A. Perataan Warna

Pada situasi bawah air, citra sangat jarang memiliki keseimbangan warna yang benar. Setelah dekomposisi kanal RGB, akan dilakukan perataan warna untuk citra bawah air. Merujuk pada teori Gray-World (GW), perbaikan kanal G-B dilakukan dengan persamaan berikut:

$$((R_{avg} + G_{avg} + B_{avg})) / 3 = 0.5 \quad (5)$$

$$G_{avg} = \frac{1}{255 \cdot MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_g(i, j), \quad \theta_g = \frac{0.5}{G_{avg}} \quad (6)$$

$$B_{avg} = \frac{1}{255 \cdot MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_b(i, j), \quad \theta_b = \frac{0.5}{B_{avg}}$$

di mana R_{avg} , G_{avg} , dan B_{avg} adalah nilai dari masing-masing warna merah, hijau, dan biru yang telah dinormalisasi. M dan N adalah resolusi spasial dari citra.

B. Relative Global Histogram Stretching (RGHS)

Peregangan histogram global umumnya menggunakan parameter yang sama untuk semua kanal warna R-G-B, yang mana akan mengabaikan karakteristik distribusi histogram pada kanal berbeda dan citra yang berbeda. Ketika nilai tetap (antara 0 sampai 255) dimasukkan ke persamaan peregangan histogram (4) akan menyebabkan peregangan yang berlebihan atau berkurang pada kanal warna tertentu dan akan merusak detail dari citra.

Menurut hukum perambatan cahaya bawah air, perlu dilakukan perbaikan kontras untuk memperbaiki citra terdistorsi. Aturan distribusi histogram dari kanal RGB pada pengamatan pada citra bawah air: Pada sebagian besar citra bawah air, histogram cahaya merah difokuskan pada nilai [50, 150], sedangkan kanal G dan kanal B memiliki konsentrasi numerik terbanyak dalam jangkauan [70, 210]. Hal ini menunjukkan bahwa peregangan harus sensitif terhadap kanal warna.

Untuk menyesuaikan dengan citra bawah air, maka persamaan peregangan histogram dilakukan penyesuaian menjadi seperti pada persamaan (7) berikut:

$$p_{out} = (p_{in} - I_{min}) \left(\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right) + O_{min} \tag{7}$$

di mana p_{in} dan p_{out} adalah masukan dan keluaran piksel. I_{min} , I_{max} , O_{min} , dan O_{max} adalah parameter adaptif sebelum dan sesudah peregangan citra. I_{min} dan I_{max} didapat dari hasil perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} I_{min} &= S.sort[S.sort.index(a) * 0.1\%] \\ I_{max} &= S.sort[-(S.length - S.sort.index(a)) * 0.1\%] \end{aligned} \tag{8}$$

di mana S adalah himpunan nilai piksel citra untuk setiap kanal RGB, $S.sort$ adalah himpunan data yang telah diurutkan menaik, $S.sort.index(a)$ adalah nomor indeks dari modus pada distribusi histogram, dan $S.sort[x]$ mewakili nilai dalam indeks dari kumpulan data yang diurutkan positif.

C. Peregangan-adaptif pada Model Warna CIE-Lab

Setelah perbaikan kontras pada ruang model RGB, citra akan mengalami proses koreksi warna. Pada proses tersebut, citra bawah air akan dikonversi ke ruang model CIE-Lab untuk meningkatkan performansi warna. Pada ruang model CIE-Lab, komponen 'L' akan bernilai ekuivalen dengan kecerahan gambar, di mana $L = 100$ merepresentasikan nilai paling terang dan $L = 0$ merepresentasikan nilai paling gelap. Ketika $a = 0$ dan $b = 0$, kanal warna akan memperlihatkan nilai abu-abu netral. Oleh karena itu, gradasi warna keluaran komponen 'a' dan 'b' dimodifikasi untuk memperoleh koreksi warna secara akurat, sementara komponen 'L' digunakan untuk penyesuaian keterangan untuk keseluruhan citra.

Komponen 'a' dan 'b' berada dalam kisaran [-128, 127], di mana 0 adalah nilai mediannya. Peregangan 'a' dan 'b' didefinisikan sebagai kurva S-model seperti berikut:

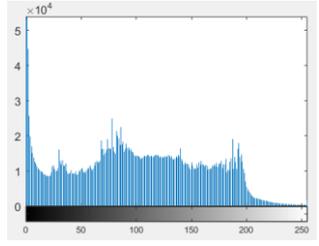
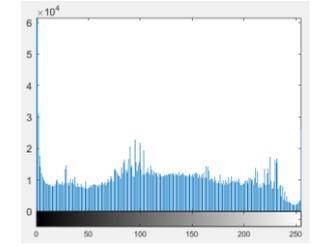
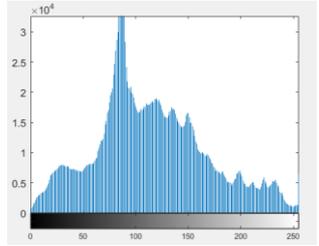
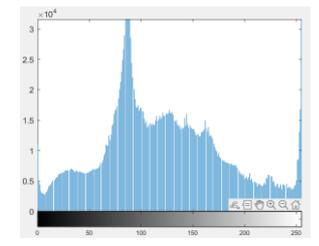
$$p_{\chi} = I_{\chi} * \left(\varphi^{1 - \frac{|I_{\chi}|}{128}} \right), \chi \in \{a, b\} \tag{9}$$

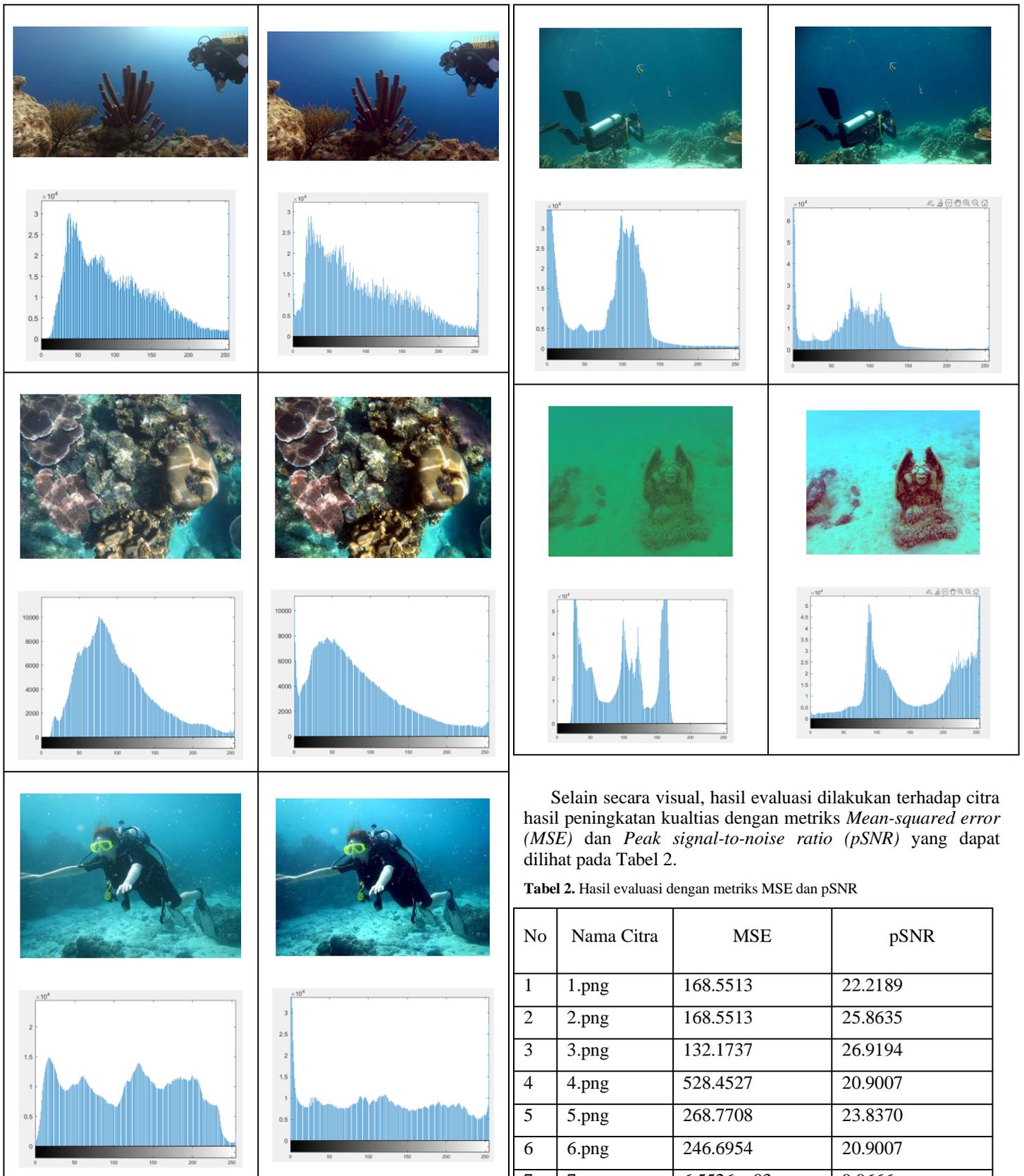
di mana p_{χ} dan i_{χ} merepresentasikan pixel masukan dan keluaran. Persamaan tersebut akan menggunakan fungsi eksponensial sebagai koefisien peregangan, dimana semakin dekat nilai ke 0, semakin jauh mereka akan diregangkan.

IV. HASIL EKSPERIMEN DAN ANALISIS

Pada bagian ini akan dijelaskan hasil percobaan peningkatan kualitas citra menggunakan metode RGHS terhadap 20 citra bawah air asli. Tabel 1 menunjukkan perbedaan secara visual dan histogram antara citra asli dengan citra setelah peningkatan kualitas citra dari 7 buah citra menggunakan algoritma RGHS. Untuk citra sisanya telah dicantumkan di pranala github yang ada di bagian akhir makalah ini.

Tabel 1. Perbedaan visual sebelum dan sesudah peningkatan kualitas citra

SEBELUM	SESUDAH
	
	
	
	



Selain secara visual, hasil evaluasi dilakukan terhadap citra hasil peningkatan kualitas dengan metrik *Mean-squared error (MSE)* dan *Peak signal-to-noise ratio (pSNR)* yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil evaluasi dengan metrik MSE dan pSNR

No	Nama Citra	MSE	pSNR
1	1.png	168.5513	22.2189
2	2.png	168.5513	25.8635
3	3.png	132.1737	26.9194
4	4.png	528.4527	20.9007
5	5.png	268.7708	23.8370
6	6.png	246.6954	20.9007
7	7.png	6.5526e+03	9.9666

Secara visual, kita dapat melihat bahwa citra hasil peningkatan kualitas dengan metode RGHS memiliki visibilitas dan kontras yang lebih baik. Hal ini juga terlihat dari histogram-nya yang lebih merata dibanding citra asli. Penilaian tersebut dilakukan secara subjektif. Untuk penilaian objektif dapat dilihat dari metrik MSE dan pSNR. Namun, penilaian tersebut belum dapat diketahui kesimpulannya dikarenakan tidak ada metode algoritma pembandingan yang digunakan untuk mengetahui keefektifan dari metode RGHS yang digunakan pada makalah ini.

KESIMPULAN

Peningkatan kualitas citra dengan metode *Relative Global Histogram Stretching* (RGHS) dapat meningkatkan kualitas citra bawah air dengan optimal. Perbedaan histogram dan visual antara citra asli dan citra hasil peningkatan kualitas menunjukkan hasil yang cukup signifikan. Sekalipun metode ini bukan yang paling baik, namun metode ini dapat dijadikan salah satu opsi, karena telah terbukti mampu meningkatkan kualitas citra secara optimal (walaupun pada makalah ini tidak dilakukan perbandingan dengan metode lain). Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *Relative Global Histogram Stretching* (RGHS) dapat mengoptimalkan peningkatan kualitas citra bawah air.

PRANALA VIDEO DI YOUTUBE

https://youtu.be/IXIkBi9_bfU

PRANALA KODE DI GITHUB

<https://github.com/arjunamarcelino/citra-rghs>

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan makalah ini tepat waktu. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Rinaldi Munir, M.T., selaku dosen pengampu mata kuliah IF4073 Interpretasi dan Pengolahan Citra, yang telah membantu penulis untuk memahami materi yang dijadikan sebagai bahan acuan dalam pembuatan makalah ini. Tak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam membantu penyelesaian makalah ini.

REFERENSI

- [1] B. C. McLellan, "Sustainability assessment of deep ocean resources," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 28, pp. 502–508, Jan. 2015.
- [2] H. Lu, D. Wang, Y. Li, J. Li, X. Li, H. Kim, S. Serikawa, and I. Humar, "CONet: A cognitive ocean network," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 26, no. 3, pp. 90–96, Jun. 2019.

- [3] X. Chen, J. Yu, S. Kong, Z. Wu, X. Fang, and L. Wen, "Towards real-time advancement of underwater visual quality with GAN," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 12, pp. 9350–9359, Dec. 2019.
- [4] Y. Wang et al., "Real-time underwater onboard vision sensing system for robotic gripping," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 70, pp. 1–11, 2021.
- [5] L. Jiang et al., "Underwater species detection using channel sharpening attention," in *Proc. 29th ACM Int. Conf. Multimedia*, Oct. 2021, pp. 4259–4267.
- [6] C. Li, J. Guo, and C. Guo, "Emerging from water: Underwater image color correction based on weakly supervised color transfer," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 25, no. 3, pp. 323–327, Mar. 2018.
- [7] W. Zhang, Y. Wang, and C. Li, "Underwater image enhancement by attenuated color channel correction and detail preserved contrast enhancement," *IEEE J. Ocean. Eng.*, Mar. 29, 2022, doi: [10.1109/JOE.2022.3140563](https://doi.org/10.1109/JOE.2022.3140563).
- [8] W. Zhang, P. Zhuang, H. -H. Sun, G. Li, S. Kwong and C. Li, "Underwater Image Enhancement via Minimal Color Loss and Locally Adaptive Contrast Enhancement," in *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 31, pp. 3997-4010, 2022, doi: [10.1109/TIP.2022.3177129](https://doi.org/10.1109/TIP.2022.3177129).
- [9] Y. Wang, W. Song, G. Fortino, L. -Z. Qi, W. Zhang and A. Liotta, "An Experimental-Based Review of Image Enhancement and Image Restoration Methods for Underwater Imaging," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 140233-140251, 2019, doi: [10.1109/ACCESS.2019.2932130](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932130).
- [10] Iqbal, K., Abdul Salam, R., Osman, M.A. Talib, A.Z.: Underwater Image Enhancement Using An Integrated Colour Model. *IAENG Int. J. Comput. Sci.* 32(2), 239–244 (2007).
- [11] Iqbal, K., Odetayo, M., James, A., Salam, R.A., Talib, A.Z.H.: Enhancing the low quality images using Unsupervised Colour Correction Method. In: *2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. 1703–1709 (2010)
- [12] Huang, Dongmei & Wang, Yan & Song, Wei & Sequeira, Jean & Mavromatis, Sébastien. (2018). Shallow-Water Image Enhancement Using Relative Global Histogram Stretching Based on Adaptive Parameter Acquisition. *10.1007/978-3-319-73603-7_37*.
- [13] J. S. Jaffe, "Computer modeling and the design of optimal underwater imaging systems," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 101–111, Apr. 1990.
- [14] C. Li, J. Guo, C. Guo, R. Cong, and J. Gong, "A hybrid method for underwater image correction," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 94, pp. 62–67, Jul. 2017.
- [15] X. Xue, Z. Hao, L. Ma, Y. Wang, and R. Liu, "Joint luminance and chrominance learning for underwater image enhancement," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 28, pp. 818–822, 2021.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 19 Desember 2022



Arjuna Marcelino
13519021