

ANALISIS KOMPARASI PERBAIKAN KUALITAS CITRA BAWAH AIR BERBASIS KONTRAS PEMERATAAN HISTOGRAM

Suharyanto¹; Frieyadie²

Sistem Informasi¹
Universitas Bina Sarana Informatika¹
www.bsi.ac.id
suharyanto@bsi.ac.id¹

Sistem Informasi²
Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Nusa Mandiri²
www.nusamandiri.ac.id
frieyadie@nusamandiri.ac.id²



Abstrak— Dalam makalah ini, penulis melakukan komparasi metode pemerataan histogram yang biasa digunakan untuk meningkatkan citra. Gambar bawah air umumnya mengalami penurunan kontras yang cukup rendah dan kualitas bayangan yang menurun. Saat kita melakukan penangkapan gambar dari udara ke air, keseluruhan gambar akan mengalami perubahan. Selama menangkap beberapa efek absorpsi, refleksi dan hamburan diinduksi dalam bentuk kontras, kualitas, dan noise saat gambar terlihat tidak jelas atau kabur. Ini membuat gambar dipenuhi satu bayangan. Untuk mengatasi faktor-faktor tersebut dan penggunaan sumber daya bawah air maka peningkatan citra diperlukan. Maka dalam makalah ini, mengusulkan menggunakan metode untuk peningkatan citra bawah air berbasis pemerataan histogram yaitu Histogram Equalization (HE), Adaptive Histogram Equalization (AHE) dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). Penelitian ini melakukan komparasi metode pemerataan histogram dengan tujuan untuk mengetahui kinerja metode HE, AHE, CLAHE dalam meningkatkan kualitas gambar bawah air. Berdasarkan kinerja hasil pengukuran menggunakan Mean Square Error (MSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) terjadi peningkatan kualitas gambar bawah air setelah di tingkatkan menggunakan CLAHE lebih baik daripada AHE dan HE.

Kata Kunci : Gambar Bawah Air, Kualitas Gambar, CLAHE, AHE, HE

Abstract— In this paper, the authors compare the histogram equalization methods that has been used previously to enhance the images. For underwater images, generally, it has a fairly low decreasing in contrast and the shadow quality seems to be decreased as well. When capturing images from air to water, the whole image will change. While capturing some absorption effects, reflection and scattering are induced in the form of contrast, quality, and noise. It happens when the image looks fuzzy or blur. Thence, it makes the image filled by involving one shadow. To overcome these factors and the use of underwater resources, next the image enhancement is required. Within this paper, it is going to be proposed to use a method for enhancing underwater images based on histogram equalization. It is called Histogram Equalization (HE), Adaptive Histogram Equalization (AHE) and Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). This study is done by using a comparison of the histogram equalization method in order to determine the performance of the HE, AHE, CLAHE methods in improving the quality of underwater images. Based on the performance of measurement results, by using Mean Square Error (MSE), and Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), there is an increasing in the quality of underwater images after being upgraded by using CLAHE which is much better than both AHE and HE.

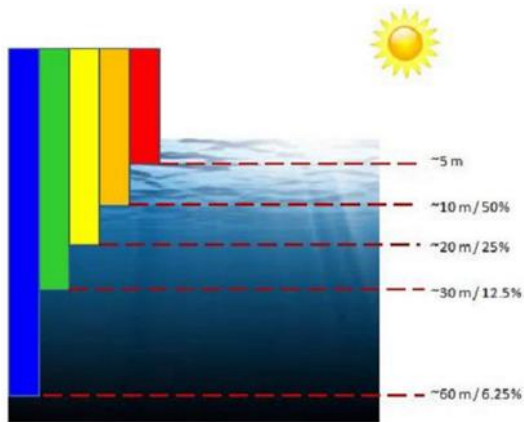
Keywords : Underwater Image, Image Quality, CLAHE, AHE, HE

PENDAHULUAN

Seperti diketahui bahwa penyerapan cahaya didalam air berbeda dengan penyerapan cahaya di

udara. Perbedaan panjang gelombang cahaya (merah, hijau, biru) yang masuk kedalam air akan memiliki tingkat variasi masing-masing (Yussof et

al., 2013). Hal ini dapat ditunjukkan dalam ilustrasi pada Gambar 1 terkait penyerapan cahaya oleh air.



Sumber: (Yussof et al., 2013)

Gambar 1. Penyerapan Cahaya oleh air

Disebabkan semakin berkurangnya intensitas warna pada gambar bawah air, karena itu dibutuhkan teknik canggih diperlukan untuk mengembalikan warna dan kontras yang hilang dari penyerapan. Teknik peningkatan kontras gambar bawah air yang umum menggunakan standar pemerataan histogram (HE) (Hitam et al., 2013), (R. Garg et al., 2011), (Yussof et al., 2013), (Beohar & Sahu, 2013), (Nurtantio Andono et al., 2013), (Banerjee et al., 2016), (Dev K. & Natrajan, 2015), (D. Garg et al., 2018), (Islam et al., 2020). (Ma et al., 2018), (Ge et al., 2018), (Dhanya et al., 2019), (Veluchamy & Subramani, 2019), (Veluchamy & Subramani, 2020), (Subramani & Veluchamy, 2020).

Histogram Equalization (HE) adalah teknik sederhana dan efektif untuk peningkatan kontras gambar. HE mendistribusikan tingkat intensitas histogram masukan secara seragam di seluruh rentang horisontal dari histogram (Subramani & Veluchamy, 2020). Namun, HE memiliki efek yang tidak diinginkan seperti peningkatan yang berlebihan, efek saturasi intensitas karena HE mengubah kecerahan rata-rata gambar asli terlepas dari kompleksitas kecerahan konten gambar (Veluchamy & Subramani, 2019).

Pemerataan histogram adaptif (AHE) (R. Garg et al., 2011) dan kontras penyetaraan histogram adaptif terbatas (CLAHE) (Yussof et al., 2013) diusulkan untuk mengatasi over amplifikasi masalah noise. Perbedaan dari standar pemerataan histogram adalah dalam hal kedua metode menghitung beberapa histogram, masing-masing disesuaikan dengan bagian yang berbeda dari gambar dan menggunakannya untuk mendistribusikan kembali nilai kontras gambar. AHE dan CLAHE meningkatkan kontras lokal dari suatu gambar lebih dari standar ekualisasi

histogram dilakukan dengan memunculkan lebih banyak detail tetapi masih memiliki kecenderungan untuk memperkuat noise (Yussof et al., 2013). Kontras di wilayah homogen bisa jadi dibatasi sehingga penguatan noise dapat dihindari (Beohar & Sahu, 2013).

Tujuan dari penelitian ini melakukan komparasi metode pemerataan histogram dengan tujuan untuk mengetahui kinerja metode HE, AHE, CLAHE dalam meningkatkan kualitas gambar bawah air.

BAHAN DAN METODE

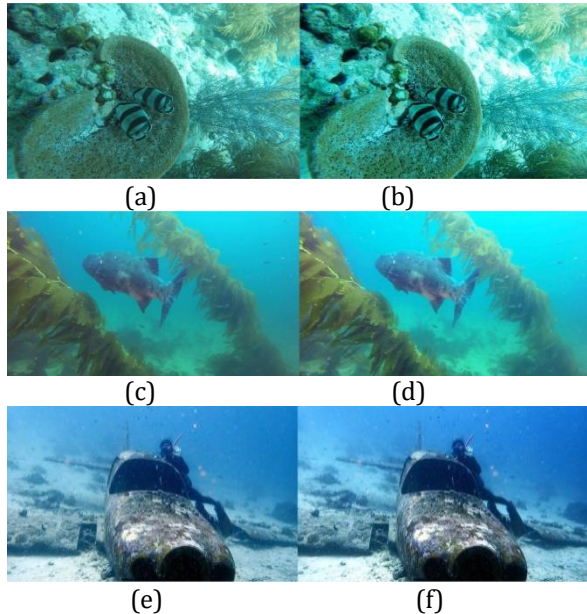
Penelitian ini menggunakan dataset public Underwater Image Enhancement Benchmark (UIEB) (Li et al., 2019). Dari dataset citra bawah air tersebut penulis mengambil 20 buah gambar untuk dilakukan proses untuk meningkatkan kualitas gambar, metode yang digunakan adalah HE, AHE dan CLAHE (Riadi et al., 2017). Pengukuran kualitas citra hasil dari peningkatan tersebut dilakukan menggunakan Mean Square Error (MSE) dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) adapun proses tersebut diatas menggunakan software Matlab R2019a.

Histogram Equalization

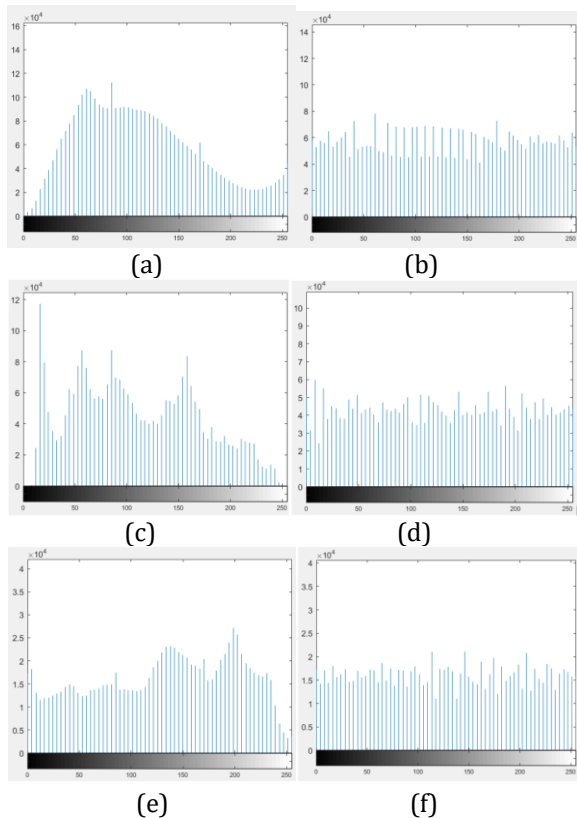
HE tujuannya supaya tingkat abu-abu dapat didistribusikan secara merata pada sebuah citra (Beohar & Sahu, 2013), (Riadi et al., 2017). Citra Suatu citra yang memiliki kontras gelap dan rendah dapat di tingkatkan kecerahan dan kontras dengan menggunakan Histogram equalization (Yussof et al., 2013), (Riadi et al., 2017). HE meratakan dan meregangkan rentang dinamis dari histogram gambar dan menghasilkan peningkatan kontras secara keseluruhan. HE telah diterapkan secara luas saat gambar memerlukan intensifikasi, namun hal itu dapat secara signifikan mengubah kecerahan gambar masukan dan menyebabkan masalah di beberapa aplikasi di mana mempertahankan kecerahan sangat diperlukan (Yussof et al., 2013). Ini adalah metode intensifikasi kontras berbasis intensitas sebagai $I_o(x, y) = f(I(x, y))$, di mana citra asli adalah $I(x, y)$, citra keluaran adalah $I_o(x, y)$ setelah kontras intensifikasi, dan f adalah fungsi transformasi. HE membuat bagian yang lebih cerah menjadi lebih cerah dan bagian yang lebih gelap menjadi lebih gelap (Beohar & Sahu, 2013).

Berikut ini Gambar 2 merupakan 3 contoh gambar bawah air hasil peningkatan citra menggunakan metode HE yang secara visual terlihat perbedaan kecerahan gambar Aslinya 2b, 2d, 2f. Adapun hasil pemerataan histogram terhadap tingkat kecerahan didistribusikan

keseluruhan histogram secara merata tanpa membedakan area gambar yang gelap dan terang sebagaimana terlihat pada histogram Gambar 3 (3b,3d,3f) (Veluchamy & Subramani, 2019) :



Sumber : (Li et al., 2019)
Gambar 2. Citra Asli(a),(c),(e) Citra setelah HE(b),(d),(f)



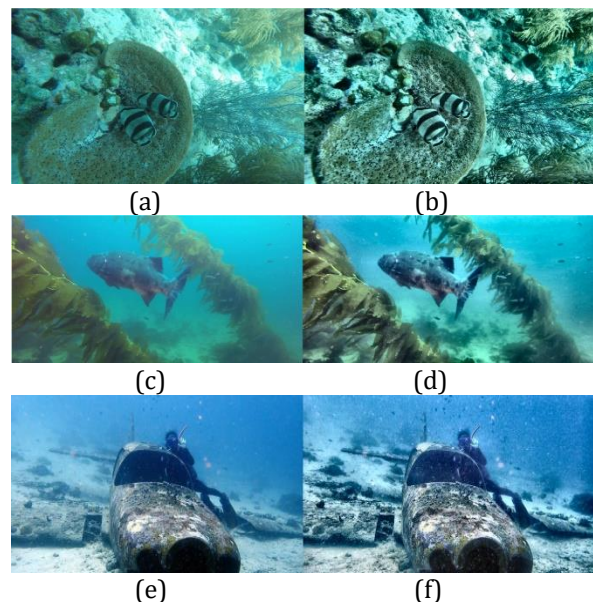
Sumber : (suharyanto,2020)
Gambar 3. Histogram Gambar Asli(a),(c),(e), Histogram gambar setelah HE (b),(d),(f)

Adaptive Histogram Equalization

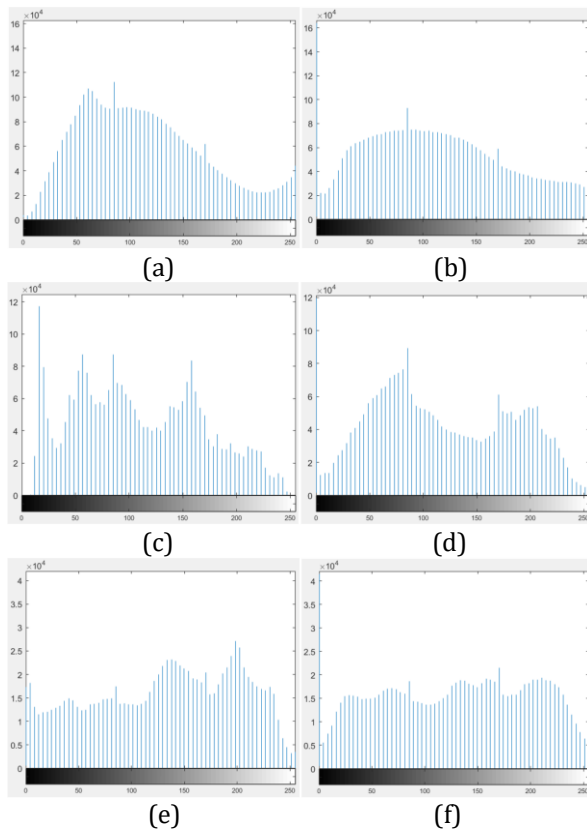
Adaptive Histogram Equalization (AHE) dapat melakukan melakukan peningkatan kontras secara signifikan pada suatu citra yang lebih terang maupun lebih gelap dengan cara setiap piksel diubah fungsi transformasi yang berasal dari area sekitarnya (Riadi et al., 2017),(Madhumatke, 2017).

Adaptive Histogram Equalization (AHE) membagi target gambar menjadi ubin. Histogram dari setiap ubin digunakan untuk membuat file fungsi pemetaan ulang intensitas untuk ubin masing-masing. Intensitas pemetaan ulang dilakukan dengan menggunakan interpolasi bilinear untuk menghaluskan batas antar ubin. Metode ini memiliki kelemahan dalam hal itu itu meningkatkan noise di daerah latar belakang yang homogen.

Berikut ini Gambar 4 merupakan 3 contoh gambar bawah air hasil peningkatan citra menggunakan metode AHE yang secara visual terlihat perbedaan kecerahan gambar Aslinya 4b, 4d,4f . Adapun hasil pemerataan histogram terhadap tingkat kecerahan didistribusikan keseluruhan histogram secara merata dengan membedakan area gambar yang gelap dan terang(Madhumatke, 2017) sebagaimana terlihat pada histogram gambar 5 (5b,5d,5f) :



Sumber : (Li et al., 2019)
Gambar 4. Citra Asli(a),(c),(e) Citra setelah AHE(b),(d),(f)



Sumber : (suharyanto,2020)
 Gambar 5. Histogram Citra Asli(a),(c),(e),
 Histogram gambar setelah AHE (b),(d),(f)

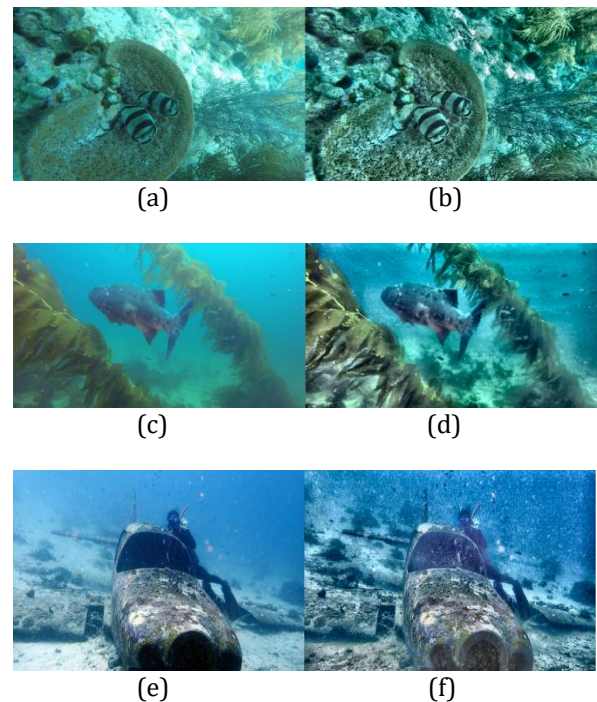
Constrast Limited Adaptif Equalization Histogram (CLAHE)

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 (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 yang menghasilkan lonceng histogram. Fungsi ini diberikan oleh :

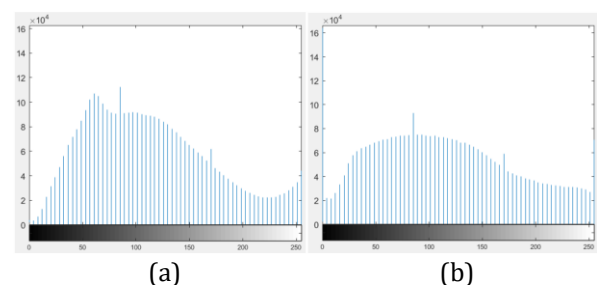
$$\text{Rayleigh } g = g_{\min} + \left[2(a^2) \ln \left(\frac{1}{1-P(f)} \right) \right]^{0.5} \dots\dots\dots (1)$$

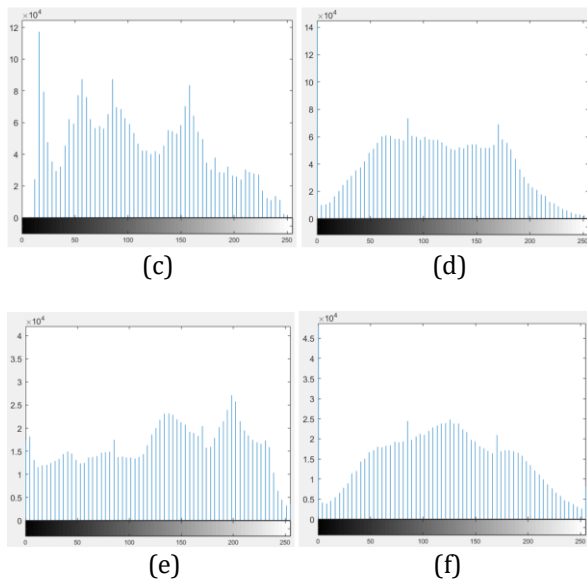
di mana g_{\min} adalah nilai piksel minimum, $P(f)$ adalah kumulatif distribusi probabilitas dan merupakan skalar nyata non-negatif menentukan parameter distribusi (Hitam et al., 2013). Dalam penelitian ini, klip batas diatur ke 0.02 dan nilai dalam distribusi Rayleigh fungsi diatur ke 0.04.

Berikut ini Gambar 6 merupakan 3 contoh gambar bawah air hasil peningkatan citra menggunakan metode CLAHE yang secara visual terlihat perbedaan kecerahan gambar Aslinya 5b, 5d,5f . Adapun hasil pemerataan histogram terhadap tingkat kecerahan didistribusikan keseluruhan histogram secara merata dengan membedakan area gambar yang gelap dan terang serta menggunakan input batas klip histogram sesuai dengan nilai yang di inputkan (Madhumatke, 2017) sebagaimana terlihat pada histogram gambar 7 (5b,5d,5f) :



Sumber : (Li et al., 2019)
 Gambar 6. Citra Asli (a),(c),(e) Citra setelah CLAHE (b),(d),(f)





Sumber: (Suharyanto & Friyadie, 2020)
 Gambar 7. Histogram Citra Asli (a), (c), (e);
 Histogram gambar setelah CLAHE (b), (d), (f)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses peningkatan citra bawah air menggunakan metode pemerataan histogram terhadap 20 citra dari dataset (UIEB), 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 obyektif divalidasi dengan pengukuran subjektif disini penulis menggunakan metode pengukuran MSE yang berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai dari hasil perubahan nilai yang ukuran yang sama antara nilai data signal sumber dan signal hasil keluaran. Hasilnya dapat diketahui error pada citra yang merupakan hasil perbaikan. (Mehra, 2016).



(a) (b) (c) (d)

Sumber : (Suharyanto & Friyadie, 2020)
 Gambar 8. Dari kiri ke kanan, (a)Citra Asli, (b)HE,
 (c)AHE, (d)CLAHE

Gambar 8 menunjukkan secara visual 10 dari 20 citra yang digunakan dalam penelitian ini dimana masing-masing citra dilakukan proses peningkatan menggunakan metode HE, AHE dan CLAHE berurutn dari kiri ke kanan citra asli(a), citra ssetelah di HE(b), kemudian citra setelah di AHE(c) dan citra setelah di CLAHE(d) menunjukkan adanya perbedaan tingkat kecerahan secara visual.

Tabel 1. MSE (Mean Squared Error)

	HE	AHE	CLAHE
Citra 1	87,6739	74,5531	27,2373
Citra 2	108,2782	51,084	353013
Citra 3	229,5886	40,7666	36,7175
Citra 4	158,399	106,608	79,6558
Citra 5	104,1996	102,6284	87,0104
Citra 6	64,7671	34,3989	21,1709
Citra 7	72,658	72,658	39,7829
Citra 8	239,9385	69,9832	64,2594
Citra 9	7,4502	74,4531	55,2004
Citra 10	242,2791	79,4643	67,1013
Citra 11	51,9219	89,1547	88,8993
Citra 12	171,8825	90,5672	72,4583

	HE	AHE	CLAHE
Citra 13	243,9919	98,1296	95,3809
Citra 14	205,5675	110,7606	81,1556
Citra 15	68,5528	40,3489	30,2801
Citra 16	230,873	103,8094	77,4922
Citra 17	254,9994	38,9789	27,1327
Citra 18	207,9711	46,4398	46,4398
Citra 19	115,0048	16,3429	15,3234
Citra 20	151,7327	74,8751	70,1247

Sumber: (Suharyanto & Frieyadie, 2020)

Tabel 1 menunjukkan Mean squared error (MSE) dari 20 citra bawah air yang dilakukan proses pemerataan histogram menggunakan HE, AHE dan CLAHE. Dari tabel tersebut menunjukkan CLAHE lebih kecil nilainya dari HE dan AHE dimana ini menunjukkan bahwa citra yang di tingkatkan kontrasnya menggunakan CLAHE memiliki nilai rata-rata kesalahan pixel lebih kecil dari citra asli dibanding dengan HE dan AHE (Mehra, 2016).

Tabel 2 menunjukkan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dari 20 citra bawah air yang dilakukan proses pemerataan histogram menggunakan HE, AHE dan CLAHE. Dari tabel tersebut menunjukkan CLAHE lebih besar nilai PSNR nya dari HE dan AHE dimana ini menunjukkan bahwa citra yang di tingkatkan kontrasnya menggunakan CLAHE memiliki kualitas citra lebih baik dibanding dengan HE dan AHE (Mehra, 2016).

Tabel 2. PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)

	HE	AHE	CLAHE
Citra 1	28,7361	29,4401	33,8132
Citra 2	27,8194	31,082	32,6869
Citra 3	24,5553	32,0618	32,5161
Citra 4	26,1673	27,8869	29,1526
Citra 5	27,9861	28,0521	28,7691
Citra 6	30,0513	32,7994	34,9074
Citra 7	29,552	29,552	32,1678
Citra 8	24,3638	29,7149	30,0854
Citra 9	39,4431	29,446	30,7454
Citra 10	24,3216	29,1631	29,8975
Citra 11	31,0113	28,6634	28,6758
Citra 12	25,8125	28,5951	29,5639
Citra 13	24,291	28,244	28,3702
Citra 14	25,0305	27,7209	29,0716
Citra 15	29,8045	32,1065	33,3532
Citra 16	24,5311	28,0024	29,2722
Citra 17	24,0994	32,2565	33,8299
Citra 18	24,9848	31,4959	31,8147
Citra 19	27,5576	36,0315	36,3113
Citra 20	26,354	29,4214	29,7061

Sumber: (Suharyanto & Frieyadie, 2020)

Tabel 3. Rata Rata MSE, PNSR

	HE	AHE	CLAHE
MSE	150,89	70,80	17,705
PNSR	27,32	30,09	31,24

Sumber: (Suharyanto & Frieyadie, 2020)

Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata MSE dan PSNR dari hasil peningkatan citra menggunakan metode HE, AHE dan CLAHE dimana nilai MSE HE, AHE, CLAHE berurutan semakin kecil dan nilai PSNR akan semakin besar.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan sebuah metode teknik peningkatan kualitas citra bawah air, dengan warna yang lebih terang berbasis histogram equalization. Pemerataan histogram citra terbukti mengurangi error terhadap citra asli. Pemberian kontrol piksel yang lebih baik hasil dari perbaikan kontras yang kemudian menjadikan peningkatan kualitas citra dengan menggunakan teknik klipping pada metode CLAHE ini menjadi terbukti baik. Pembuktian penggunaan metode CLAHE untuk menguji dan membandingkan 20 citra bawah air, dari pada penggunaan metode HE, dan AHE, dimana yang menghasilkan nilai rata-rata error yang lebih kecil, dan menunjukan hasil yang lebih baik. Meningkatnya kualitas gambar menghasilkan peningkatan nilai peak signal noise ratio, tetapi nilai mean square error berkurang.

REFERENSI

- Banerjee, J., Ray, R., Vadali, S. R. K., Shome, S. N., & Nandy, S. (2016). Real-time underwater image enhancement: An improved approach for imaging with AUV-150. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 41(2), 225-238. <https://doi.org/10.1007/s12046-015-0446-7>
- Beohar, R., & Sahu, P. (2013). Performance Analysis of Underwater Image Enhancement with CLAHE 2D Median Filtering Technique On the Basis Of SNR, RMS Error, Mean Brightness. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 3(2), 525-528. [https://www.ijeit.com/Vol 3/Issue 2/IJEIT1412201308_97.pdf](https://www.ijeit.com/Vol%203/Issue%202/IJEIT1412201308_97.pdf)
- Dev K., D., & Natrajan, S. (2015). Underwater Image Enhancement for Improving the Visual Quality by CLAHE Technique. *International Journal of Scientific Research Engineering &*

- Technology*, 4(4), 352–356.
- Dhanya, P. R., Anilkumar, S., Balakrishnan, A. A., & Supriya, M. H. (2019). L-CLAHE Intensification Filter (L-CIF) Algorithm for Underwater Image Enhancement and Colour Restoration. *International Symposium on Ocean Electronics, SYMPOL, 2019-December*, 117–128. <https://doi.org/10.1109/SYMPOL48207.2019.9005278>
- Garg, D., Garg, N. K., & Kumar, M. (2018). Underwater image enhancement using blending of CLAHE and percentile methodologies. *Multimedia Tools and Applications*, 77(20), 26545–26561. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-5878-8>
- Garg, R., Mittal, B., & Garg, S. (2011). Histogram Equalization Techniques For Image Enhancement. *Iject*, 7109, 107–111.
- Ge, M., Hong, Q., & Zhang, L. (2018). A hybrid DCT-CLAHE approach for brightness enhancement of uneven-illumination underwater images. *ACM International Conference Proceeding Series*, 123–127. <https://doi.org/10.1145/3301506.3301539>
- Hitam, M. S., Awalludin, E. A., Jawahir Hj Wan Yusoff, W. N., & Bachok, Z. (2013). Mixture contrast limited adaptive histogram equalization for underwater image enhancement. *2013 International Conference on Computer Applications Technology (ICCAT)*. <https://doi.org/10.1109/ICCAT.2013.6522017>
- Islam, M. J., Xia, Y., & Sattar, J. (2020). Fast Underwater Image Enhancement for Improved Visual Perception. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 3227–3234. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2974710>
- Li, C., Guo, C., Ren, W., Cong, R., Hou, J., Kwong, S., & Tao, D. (2019). An Underwater Image Enhancement Benchmark Dataset and Beyond. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 4376–4389. <https://doi.org/10.1109/TIP.2019.2955241>
- Ma, J., Fan, X., Yang, S. X., Zhang, X., & Zhu, X. (2018). Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization-Based Fusion in YIQ and HSI Color Spaces for Underwater Image Enhancement. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 32(7), 1–26. <https://doi.org/10.1142/S0218001418540186>
- Madhumatke, P. P. (2017). Underwater Image Enhancement Techniques: A Review. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, V(VIII), 1574–1580. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.8223>
- 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>
- 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.
- Riadi, A. A., Chamid, A. A., & Sokhibi, A. (2017). Analisis Komparasi Metode Perbaikan Kontras Berbasis Histogram Equalization Pada Citra Medis. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 8(1), 383–388. <https://doi.org/10.24176/simet.v8i1.1026>
- Subramani, B., & Veluchamy, M. (2020). Quadrant dynamic clipped histogram equalization with gamma correction for color image enhancement. *Color Research and Application*, 45(4), 644–655. <https://doi.org/10.1002/col.22502>
- Suharyanto, S., & Frieyadie, F. (2020). *Lapora Akhir Penelitian Mandiri*.
- Veluchamy, M., & Subramani, B. (2019). Image contrast and color enhancement using adaptive gamma correction and histogram equalization. *Optik*, 183(February), 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.02.054>
- Veluchamy, M., & Subramani, B. (2020). Fuzzy dissimilarity color histogram equalization for contrast enhancement and color correction. *Applied Soft Computing Journal*, 89, 106077. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106077>
- Yusoff, W. N. J. H. W., Hitam, M. S., Awalludin, E. A., & Bachok, Z. (2013). Performing Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

Technique on Combined Color Models for Underwater Image Enhancement. *International Journal of Interactive Digital Media*, 1(1), 1–6.
https://www.researchgate.net/profile/Wan_Yussof/publication/282852647_Performing_

Contrast_Limited_Adaptive_Histogram_Equalization_Technique_on_Combined_Color_Models_for_Underwater_Image_Enhancement/links/561ea53408aeca1acce713/Performing-Contrast-Limite