



## Ekualisasi Histogram Dan Algoritma Kultural Untuk Segmentasi Citra Pantai

I Gusti Ngurah Agung Meyhendra Wijaya<sup>1</sup>, I Made Oka Widyantara<sup>2</sup>, I.G.A.K Diafari Djuni H.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
[mewhendra@gmail.com](mailto:mewhendra@gmail.com)

### Abstract

*This paper proposes a coastal image segmentation framework to cluster land and ocean pixel intensities to obtain coastline. The segmentation method commonly used is segmentation with the Otsu and Kapur methods, the problem with this method is that it can only segment images with one threshold value and the complexity increases as the complexity of the image being processed increases. So that it produces output with less than optimal results and requires a long processing time. Therefore, an optimization method is proposed using histogram equalization which aims to increase the contrast value of the test image so that it is easier to segment, then proceed with image clustering using a cultural algorithm with multiple threshold values, so that the intensity of pixels representing land and water areas can be clustered with good. The target of the application of these two methods is to optimize in order to improve the performance of the test image segmentation. In addition, the advantage of this clustering method is that it produces a compressed output image, so that it will be more efficient in terms of further processing, storage, and data transmission. The measurement methods applied are the measurement of processing time, Feature Similarity Index Measure (FSIM) and Structural Similarity Index Measure (SSIM) to compare the similarity of features and structures between the test image and the resulting output image. Where the proposed method has been able to cluster classes based on the configured threshold value, so as to be able to segment land and water areas.*

*Keywords: coastline, histogram equalization, image quantization, cultural algorithm*

### Abstrak

Paper ini mengajukan sebuah kerangka kerja segmentasi citra pantai untuk mengklusterisasi intensitas piksel daratan dan lautan untuk memperoleh garis pantai. Metode segmentasi yang umum digunakan adalah segmentasi dengan metode Otsu dan Kapur, permasalahan metode ini adalah hanya bisa mensegmentasi citra dengan satu nilai ambang batas dan kompleksitasnya meningkat seiring meningkatnya kompleksitas citra yang diproses. Sehingga menghasilkan keluaran yang dengan hasil kurang maksimal dan memerlukan waktu pemrosesan yang lama. Oleh karena itu diajukan suatu metode optimasi dengan menggunakan ekualisasi histogram yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kontras citra uji sehingga lebih mudah untuk disegmentasikan, kemudian dilanjutkan klusterisasi citra menggunakan algoritma kultural dengan nilai ambang batas jamak, agar intensitas piksel yang mewakilkan wilayah daratan dan perairan dapat diklusterisasi dengan baik. Sasaran dari penerapan kedua metode ini adalah mengoptimasi guna meningkatkan kinerja segmentasi citra uji. Selain itu kelebihan dari metode klusterisasi ini adalah menghasilkan citra keluaran yang terkompresi, sehingga akan lebih efisien dari segi pemrosesan selanjutnya, penyimpanan, dan pengiriman data. Metode pengukuran yang diterapkan adalah pengukuran lama waktu pemrosesan, Feature Similarity Index Measure (FSIM) dan Structural Similarity Index Measure (SSIM) untuk membandingkan kesamaan fitur dan struktur antara citra uji dan citra keluaran yang dihasilkan. Dimana metode yang diusulkan telah mampu mengklusterisasikan kelas berdasarkan nilai ambang batas yang dikonfigurasi.

Kata kunci: garis pantai, ekualisasi histogram, kuantisasi citra, cultural algorithm

### 1. Pendahuluan

Dewasa ini, pada wilayah pesisir mengalami perubahan dan kerusakan sehingga berimbas pada penurunan kualitas wilayah pesisir, baik yang disebabkan oleh faktor alam seperti akresi, erosi, kenaikan air laut, ataupun karena aktivitas manusia itu sendiri. Peristiwa – peristiwa yang terjadi ini dapat berakibat buruk bagi kelangsungan hidup biota laut maupun berimbas ke terganggunya aktivitas sosial-ekonomi masyarakat. Oleh karena itu diperlukan suatu metode yang dapat

memantau perubahan-perubahan yang terjadi pada wilayah pantai [1].

Pada penelitian [2] dan [3] *monitoring* wilayah pantai dapat dilakukan dengan menggunakan citra satelit namun memiliki kekurangan dari segi biaya yang tinggi, sehingga para peneliti mengembangkan sistem *monitoring* pantai dengan menggunakan kamera dengan akuisisi citra *video* yang melalui proses *time-lapse* dan rektifikasi yang menghasilkan diperoleh citra pantai tampak atas seperti pada penelitian [4] dan [5]. Perubahan garis pantai pada citra video diidentifikasi

berdasarkan nilai intensitas piksel daratan dan lautan. Nilai intensitas piksel daratan identik dengan kondisi pasir kering, dan lautan pada kondisi pasir basah. Pertemuan intensitas piksel daratan dan lautan menghasilkan sebuah garis pantai. Identitas piksel citra dapat identifikasi dengan menerapkan teknik segmentasi untuk mengklasterisasi intensitas piksel sebagai fungsi anggota piksel daratan dan lautan.

Metode yang secara umum telah banyak diterapkan adalah segmentasi dengan metode Otsu dan Kapur *Thresholding*, seperti pada penelitian [6] dan [7], namun metode tersebut hanya dapat mensegmentasi citra dengan nilai ambang batas tunggal. Selain itu algoritma K-means konvensional sebagai algoritma klasterisasi umum, memiliki kelemahan sensitivitasnya terhadap pengaruh pemilihan pusat kluster [8]. Kompleksitas dari metode ini akan meningkat sering dengan meningkatnya kompleksitas dari citra yang diproses sehingga keluaran dari metode ini menjadi kurang maksimal.

Oleh karena itu pada penelitian ini diusulkan suatu metode pengolahan citra dengan mengimplementasikan ekualisasi histogram yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kontras citra, dengan menggunakan algoritma *Evolution Strategy*, yang akan menyesuaikan nilai histogram citra uji sehingga menghasilkan citra keluaran dengan intensitas yang lebih baik [9], [10].

Kemudian citra keluaran disegmentasikan kuantisasi citra dengan nilai jamak *threshold* yang spesifik, tahapan ini dilakukan dengan *Cultural Algorithm* [11], yang menyesuaikan vektor nilai *threshold*, metode kuantisasi citra ini juga memiliki kelebihan, yaitu citra keluaran yang dihasilkan akan dikompresi sehingga dari penyimpanan, pengiriman, ataupun tahapan pengolahan selanjutnya akan lebih efisien [12]. Metode pengukuran yang digunakan adalah FSIM, SSIM dan lamanya waktu pemrosesan. Metode yang diusulkan mampu menghasilkan kelas sesuai dengan nilai ambang batas yang dikonfigurasi.

Citra dengan kontras rendah merupakan citra yang memiliki distribusi intensitas yang hanya terpusat hanya pada sebagian rentang yang sempit. Pada histogram akan terlihat memiliki sebuah puncak utama dengan sebagian besar nilai intensitas yang mengelompok, tidak tersebar rata diseluruh rentang intensitas [13].

Ekualisasi histogram atau yang disebut juga perataan histogram merupakan suatu metode untuk menghasilkan histogram yang seragam atau merata pada rentang intensitasnya. Metode ini dapat dilakukan satu kali untuk seluruh luas citra (*global histogram equalization*) atau dengan beberapa kali yang diulang untuk setiap blok citra (*sub-image*), keluaran proses ekualisasi histogram terjadi proses distribusi ulang intensitas dan menjadi lebih tersebar merata sehingga hampir mewakili keseluruhan nilai intensitas pada citra

uji. Persamaan (1) berikut merupakan proses ekualisasi histogram [14],

$$h(v) = \text{round} \left( \frac{cdf(v) - cdf_{min}}{(M \times N) - cdf_{min}} x(L - 1) \right) \quad (1)$$

dengan  $v$  adalah nilai piksel yang ingin dicari penggantinya,  $cdf(v)$  adalah fungsi distribusi kumulatif untuk nilai  $v$ ,  $cdf_{min}$  adalah nilai minimum distribusi kumulatif,  $M \times N$  adalah piksel penyusun citra,  $M$  adalah jumlah kolom,  $N$  adalah jumlah baris, dan  $L$  adalah nilai rentang intensitas citra.

## 2.2. Kuantiasi Citra

Kuantisasi merupakan salah satu dari teknik kompresi yang prinsip kerjanya menghilangkan beberapa bagian dari sebuah citra yang dianggap tidak begitu penting, dengan mengurangi derajat keabuan sehingga jumlah bit yang dibutuhkan untuk merepresentasikan citra menjadi berkurang. Citra masukan dikuantisasi ke dalam tingkat ambang batas tertentu, dengan menyesuaikan tingkat ambang batas vektor [15]. Proses kuantisasi adalah proses membagi-bagi warna kontinu menjadi  $G$  buah warna. Biasanya  $G$  diambil dari perpangkatan 2,

$$G = 2_m \quad (2)$$

dengan  $G$  adalah derajat keabuan, dan  $m$  adalah bilangan bulat positif.

Proses evolusi kultural dari perspektif mikro-evolusi dalam hal transmisi perilaku atau sifat antara individu dalam suatu populasi dan perspektif makro-evolusi dalam hal pembentukan keyakinan umum berdasarkan pengalaman individu. Generalisasi keyakinan dapat berfungsi untuk membatasi perilaku individu dalam populasi terkait. Sistem pewarisan ganda (*dual inheritance*) pada *Cultural System* memungkinkan transmisi informasi di kedua tingkat individu dan kelompok. Algoritma Kultural adalah kelas model komputasi dari evolusi budaya yang mendukung perspektif pewarisan ganda, yaitu termasuk ruang kepercayaan yang terdiri dari mappa individu dan kelompok dan berbasis sifat ruang populasi [12].

Histogram citra merupakan grafik dua dimensi yang merepresentasikan penyebaran dan frekuensi kemunculan nilai-nilai intensitas piksel dari suatu citra, dan kecerahan (*brightness*) dan kontras (*contrast*) dari sebuah citra [16]. Secara matematis histogram citra dihitung dengan persamaan (3),

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n}; 0 \leq r_k \leq 1, \dots, L-1 \quad (3)$$

dengan  $L$  adalah jumlah level,  $p_r(r_k)$  adalah probabilitas kemunculan level ke  $k$ ,  $n_k$  adalah jumlah kemunculan level pada citra, dan  $n$  adalah total jumlah piksel dalam citra

FSIM merupakan metode yang digunakan mengukur kesamaan fitur dari gambar asli dengan gambar tersegmentasi. Metode ini diusulkan berdasarkan fakta

bahwa sistem visual manusia memahami citra berdasarkan fitur tingkat rendahnya. FSIM terdiri dari dua besaran, yaitu *Phase Congruency* (PC) dan *Gradient Magnitude* (GM), PC adalah kontras invarian sedangkan informasi kontras tidak mempengaruhi persepsi kualitas gambar sistem visual manusia, besaran GM digunakan sebagai fitur sekunder di FSIM. PC dan GM memainkan peran yang saling melengkapi dalam mengkarakterisasi kualitas gambar lokal. Setelah mendapatkan peta kualitas lokal, gunakan kembali PC sebagai fungsi untuk mendapatkan skor kualitas. Rentang nilai FSIM adalah 0 sampai dengan 1. Nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan kedua citra yang dibandingkan memiliki kesamaan, yang menandakan kualitas citra semakin baik [17].

Merupakan metode untuk mengukur kemiripan diantara dua buah citra dengan membandingkan fitur struktural dari gambar. SSIM memperkirakan dampak visual dari pergeseran pencahayaan gambar, perubahan kontras foto, perubahan struktur pada citra, serta kesalahan lainnya, yang secara kolektif diidentifikasi sebagai perubahan struktural. Metrik ini “berdasarkan asumsi *top-down* bahwa sistem visual manusia sangat disesuaikan untuk mengekstraksi informasi struktural dari adegan, dan oleh karena itu ukuran kesamaan struktural harus menjadi perkiraan yang baik dari kualitas gambar yang dirasakan. Rentang nilai SSIM adalah 0 sampai dengan 1. nilai mendekati 1 menunjukkan kedua citra yang dibandingkan memiliki kesamaan, yang menandakan kualitas citra yang dibandingkan semakin baik [18].

## 2. Metode Penelitian

Rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, metode analisa implementasi ekualisasi histogram dan kuantisasi citra dengan *Cultural Algorithm* yang diusulkan terdiri dari dua bagian, sistem dimulai dengan menginputkan citra uji, yaitu menggunakan citra pantai yang telah direktifikasi, kemudian dilanjutkan dengan proses ekualisasi histogram dengan *Evolution Strategy algorithm*, histogram citra uji dicocokkan dengan tujuan menyesuaikan intensitas citra masukan, kemudian citra keluaran yang telah dikuantisasi diujikan dengan *Feature Similarity Index Measure* dan *Structural Similarity Index Measure*. Kemudian dilanjutkan dengan mengkuantisasi citra uji dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan dengan *Cultural Algorithm* dengan menyesuaikan nilai vektor ambang batas, pada tahapan ini juga sekaligus mereduksi ukuran citra keluaran, dan akan menghasilkan citra tersegmentasi.

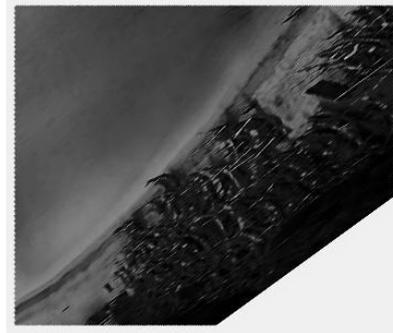


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Perangkat dan Citra Uji

Semua metode penelitian yang diusulkan disimulasikan dengan *software* Matlab r2019b, spesifikasi perangkat menggunakan Intel(R) Core(TM) i3-3217U CPU @ 1.80GHz, dengan RAM 4GB. Untuk menguji metode ekualisasi histogram dan kuantisasi citra yang diusulkan pada penelitian ini, penulis menggunakan citra uji berupa citra pantai, yang nantinya akan diproses dengan nilai ambang batas yang bervariasi, yaitu dengan nilai 2, 4, 8, dan 16.



Gambar 2. Citra Uji

### Pseudo Code Metode yang Diusulkan

#### Start

Memuat Citra Masukan  
 Pelatihan menggunakan Evolution Strategy (ES) Algorithm (Masukan : Citra Terektivikasi)  
 Tujuan: Menyesuaikan Intensitas citra dengan Ekualisasi Histogram

Inisialisasi Ukuran Populasi N dan Jumlah Generasi

**Sementara** (jumlah generasi tidak tercapai)  
 Rekombinasi Atribut dan Varians Individu  
 Mutasi Atribut dan Varians  
 Evaluasi Fungsi Kebugaran untuk Individu  
 Pemilihan nilai target histogram terbaik

#### Akhir Sementara

Menerapkan Vektor Histogram Target Pilihan Terbaik

#### Akhir Evolution Strategy Algorithm

Keluaran: Intensitas Disesuaikan dari Histogram Target untuk Citra Uji

Training Using Cultural Algorithm (Input: ES Equalized Histogram Image and Threshold Levels Vector)

Pelatihan Menggunakan Cultural Algorithm (Masukan : Citra dengan histogram terekualisasi dan Vektor Tingkat Ambang Batas)

Tujuan: Mengkuantisasi citra dengan Menyesuaikan Tingkat Ambang Batas

Inisialisasi Ukuran Populasi N dan Jumlah Generasi

**Sementara** (jumlah generasi tidak tercapai)

Evaluasi Kebugaran

Memperbarui Ruang Keyakinan

Operator Reproduksi

Fungsi Pengaruh dan Penerimaan

Memilih Individu Terbaik (Nilai Ambang Batas Terbaik)

**Akhir Sementara**

Terapkan Vektor Level Ambang

Pilihan Terbaik

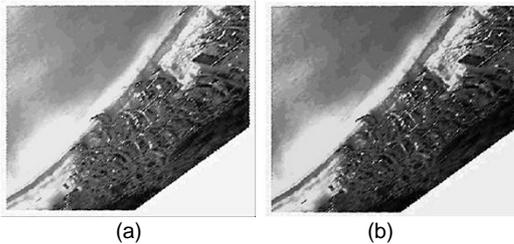
**Akhir dari Cultural Algorithm**

**Keluaran** : Citra Keluaran Dengan Nilai Ambang Batas Yang Telah Disesuaikan

End

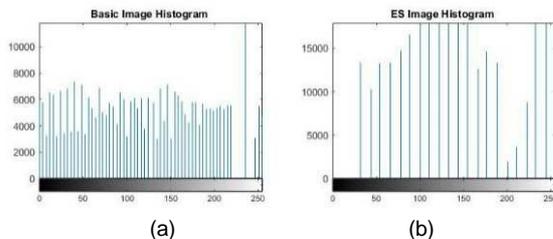
### 3.2. Evaluasi Ekualisasi Histogram

Berdasarkan Ekualisasi histogram yang diujikan pada citra, maka didapatkan citra keluaran seperti pada gambar 3, sebagai berikut.



Gambar 3. Perbandingan Citra Uji (a) dengan Citra Hasil Ekualisasi Histogram (b)

Dapat diperhatikan pada gambar 3, citra hasil ekualisasi histogram (citra kanan) secara visual memiliki kontras yang lebih baik, dimana wilayah daratan terlihat lebih gelap, sedangkan sebagian wilayah perairan menjadi semakin terang, sehingga pantai terlihat semakin jelas.



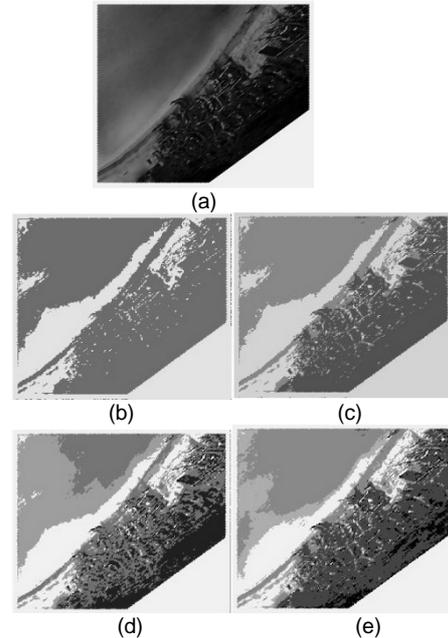
Gambar 4. Perbandingan Histogram Citra Uji (a) dengan Histogram Citra Hasil Ekualisasi Histogram (b)

Dapat diperhatikan pada gambar 4, Citra Uji merupakan citra dengan kontras yang lebih rendah, sehingga distribusi intensitas hampir tidak merata dan frekuensi kemunculan nilai piksel yang kurang bervariasi. Sedangkan nilai histogram pada citra hasil ekualisasi histogram memiliki penyebaran nilai intensitas yang lebih merata dengan frekuensi kemunculan nilai piksel yang lebih bervariasi. Hal ini sesuai dengan teori pada [12] dimana terjadi proses distribusi ulang intensitas menjadi lebih tersebar merata sehingga hampir mewakili keseluruhan nilai intensitas

pada citra uji yang menghasilkan citra dengan kontras yang lebih baik.

### 3.3. Evaluasi Kuantisasi Citra

Berdasarkan Kuantisasi Citra dengan Algoritma Kultural yang diujikan, maka didapatkan citra keluaran seperti pada Gambar 5, sebagai berikut.

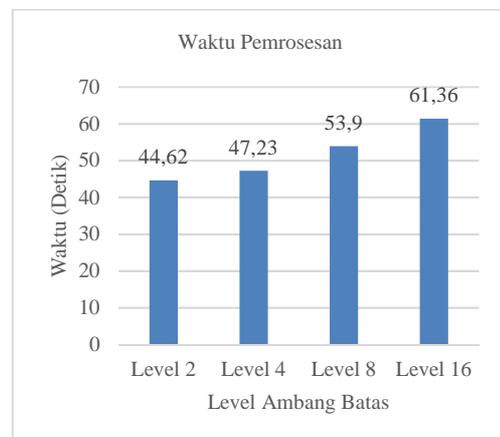


Gambar 5. Citra Hasil Ekualisasi Histogram (a), Hasil Kuantisasi level 2 (b), Hasil Kuantisasi level 4 (c), Hasil Kuantisasi level 8 (d), Hasil Kuantisasi level 16 (e),

Berdasarkan hasil kuantisasi citra didapatkan, semakin tinggi nilai ambang batas level *threshold* akan menghasilkan citra keluaran dengan tingkat intensitas yang bervariasi, sebaliknya semakin rendah level *threshold* akan menghasilkan citra keluaran dengan tingkat intensitas yang kurang bervariasi.

### 3.4 Analisis Waktu Pemrosesan

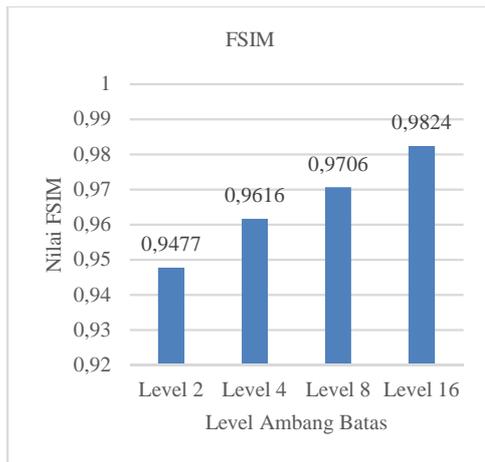
Efisiensi dari metode kuantisasi diukur dengan waktu komputasi CPU dalam satuan detik.



Gambar 6. Grafik Waktu Pemrosesan

Berdasarkan grafik waktu pemrosesan dari metode yang diujikan, dapat diperhatikan waktu pemrosesan antara level 2 dengan level 4 mengalami peningkatan, yaitu dengan selisih 2.61 detik, level 4 ke level 8 dengan selisih 6.67 detik, dan level 8 ke level 16 mengalami peningkatan dengan selisih 7.46 detik. Sehingga dapat dikatakan semakin tinggi nilai ambang batas yang ditetapkan akan meningkatkan kompleksitas kuantisasi citra sehingga akan mempengaruhi waktu pemrosesan menjadi semakin lama, begitupun sebaliknya.

### 3.5 Analisis FSIM

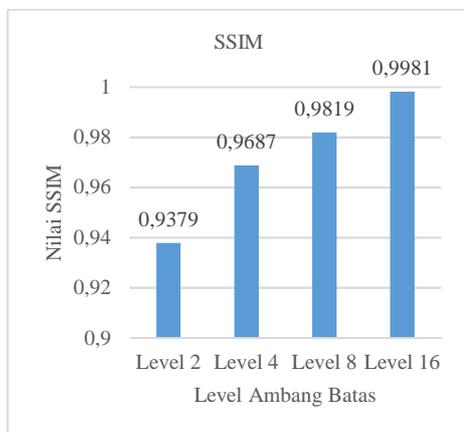


Gambar 7 Grafik Nilai FSIM

Dapat diperhatikan pada Gambar 7, merupakan grafik nilai FSIM Citra Terkuantisasi, dimana menunjukkan tren kenaikan nilai FSIM yang semakin mendekati satu seiring dengan meningkatnya nilai *threshold* yang ditentukan. Pada level 16 menghasilkan nilai FSIM tertinggi dibandingkan dengan level ambang batas lainnya yaitu sebesar 0.9824..

### 3.6 Analisis SSIM

Parameter SSIM merupakan parameter objektif yang digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan antar dua citra berdasarkan pada struktur citra.



Gambar 8 Grafik Nilai SSIM

Berdasarkan grafik nilai SSIM pada Gambar 8, terdapat tren peningkatan nilai SSIM seiring meningkatnya level ambang batas yang ditetapkan. Pada level 16 menghasilkan kinerja SSIM terbaik, yaitu sebesar 0.9981, sedangkan pada level 2 menghasilkan nilai SSIM yang terkecil yaitu sebesar 0.9379. Kecenderungan peningkatannya level ambang batas menghasilkan penyebaran nilai intensitas dan varian yang lebih baik. Sehingga tingkat kesamaan struktur citra uji dan citra tersegmentasi semakin mirip.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa implementasi Ekualisasi Histogram dan Kuantisasi Citra dengan Algoritma Kultural Segmentasi Citra Pantai, dapat disimpulkan bahwa citra hasil ekualisasi histogram memiliki kontras yang lebih baik dibandingkan citra uji, dimana menghasilkan histogram dengan penyebaran nilai intensitas dengan rentang yang lebih merata. Semakin tinggi level *threshold* kuantisasi yang ditetapkan akan menghasilkan citra dengan intensitas yang lebih baik sehingga semakin mirip dengan citra uji, namun akan meningkatkan kompleksitas kuantisasi sehingga memerlukan waktu pemrosesan yang lebih lama. Semakin tinggi level *threshold* yang ditetapkan maka nilai FSIM dan SSIM akan semakin mendekati nilai 1 karena citra keluaran yang dihasilkan semakin mirip dengan citra yang diujikan.

## Daftar Rujukan

- [1] C. A. B. Mello, T. J. dos Santos, H. R. Medeiros, and P. S. Pereira, "Shoreline Segmentation as a Proxy to Coastal Erosion Detection," in *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Oct. 2013, pp. 1217–1222. doi: 10.1109/SMC.2013.211.
- [2] S. Al Mansoori and F. Al-Marzouqi, "Coastline Extraction using Satellite Imagery and Image Processing Techniques," *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol. 6, Aug. 2016.
- [3] M. Lipakis and N. Chrysoulakis, "BEACHMED-e / OPTIMAL Beach Erosion Monitoring 81 Shoreline extraction using satellite imagery," 2008. <https://www.semanticscholar.org/paper/BEACHMED-e-%2F-OptIMAL-Beach-Erosion-Monitoring-81-Lipakis-Chrysoulakis/41f4e334c044d80ed05c7fdad431ce9bbe58c75e> (accessed Sep. 09, 2022).
- [4] "A new video monitoring system in support of Coastal Zone Management at Apulia Region, Italy - ScienceDirect." <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569117303253> (accessed Sep. 09, 2022).
- [5] I. M. O. Widyantara, I. M. D. A. Putra, and I. B. P. Adnyana, "COVIMOS: A Coastal Video Monitoring System," *Journal of Electrical, Electronics and Informatics*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Feb. 2017, doi: 10.24843/JEEL.2017.v01.i01.p01.
- [6] "A comparative analysis of entropy based segmentation with Otsu method for gray and color images | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore." <https://ieeexplore.ieee.org/document/8203655> (accessed Sep. 09, 2022).
- [7] "A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram - ScienceDirect." <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0734189X85901252> (accessed Sep. 09, 2022).
- [8] I. Irwanto, Y. Purwananto, and R. Soelaiman, "Optimasi Kinerja Algoritma Klasterisasi K-Means untuk Kuantisasi

- Warna Citra,” *JTITS*, vol. 1, no. 1, pp. A197–A202, Sep. 2012, doi: 10.12962/j23373539.v1i1.631.
- [9] Z. Huang, Z. Wang, J. Zhang, Q. Li, and Y. Shi, “Image enhancement with the preservation of brightness and structures by employing contrast limited dynamic quadri-histogram equalization,” *Optik*, vol. 226, p. 165877, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ijleo.2020.165877.
- [10] “Evolution Strategy Histogram Equalization - File Exchange - MATLAB Central.”  
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/105370-evolution-strategy-histogram-equalization> (accessed Sep. 09, 2022).
- [11] “Cultural Algorithm Image Quantization - File Exchange - MATLAB Central.”  
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/105280-cultural-algorithm-image-quantization> (accessed Sep. 09, 2022).
- [12] Z. Mao and M. Liu, “An improved multiobjective cultural algorithm with a multistrategy knowledge base,” *Appl Intell*, vol. 52, no. 2, pp. 1157–1187, Jan. 2022, doi: 10.1007/s10489-021-02313-6.
- [13] “Analisa Teknik Adaptive Histogram Equalization dan Contrast Stretching untuk Perbaikan Kualitas Citra - Neliti.”  
<https://www.neliti.com/publications/247346/analisa-teknik-adaptive-histogram-equalization-dan-contrast-stretching-untuk-per> (accessed Sep. 09, 2022).
- [14] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and B. R. Masters, “Digital Image Processing, Third Edition,” *J. Biomed. Opt.*, vol. 14, no. 2, p. 029901, 2009, doi: 10.1117/1.3115362.
- [15] S. Mousavi, “Bio-Inspired Fossil Image Segmentation for Paleontology,” *International Journal of Computational Engineering Science*, vol. 12, pp. 5243–5249, Jul. 2022.
- [16] R. Munir, “Aplikasi Image Thresholding untuk Segmentasi Objek,” *SNATI*, 2006, Accessed: Sep. 09, 2022. [Online]. Available: <https://journal.uin.ac.id/Snati/article/view/1521>
- [17] L. Zhang, L. Zhang, X. Mou, and D. Zhang, “FSIM: A Feature Similarity Index for Image Quality Assessment,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 20, no. 8, pp. 2378–2386, Aug. 2011, doi: 10.1109/TIP.2011.2109730.
- [18] R. Dosselmann and X. D. Yang, “A Formal Assessment of the Structural Similarity Index,” p. 15, 2008.