

PENERAPAN TEKNIK *MULTI-LEVEL THRESHOLDING* *FUZZY ENTROPY* DAN *DIFFERENTIAL EVOLUTION* PADA KOMPRESI CITRA

Ni Putu Widya Yuniari

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Perencanaan
Universitas Warmadewa, Denpasar, Bali
putu.widyayuniari@warmadewa.ac.id

ABSTRACT

Image compression plays a crucial role in various applications, including digital storage, image transmission, and multimedia processing. Effective image compression techniques can significantly reduce the size of digital image files without compromising visual quality. This research evaluates the performance of Implementation technique that combines Multi-Level Thresholding with Fuzzy Entropy (FE) and Differential Evolution (DE) method for image compression. The technique is applied to a variety of digital image types, including medical images and face images. The performance of the technique is assessed based on compression ratio, Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index (SSIM), and Feature Similarity Index Measure (FSIM). Further analysis reveals that PSNR, SSIM, and FSIM values increase with increasing threshold level, reaching their highest values at threshold level 40. This indicates that increasing the threshold level leads to better image compression without sacrificing the visual quality of the compressed images.

Keywords: *Image compression, Multi-Level Thresholding Fuzzy Entropy, Differential Evolution*

ABSTRAK

Kompresi citra memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi, seperti penyimpanan digital, transmisi citra, dan pemrosesan multimedia. Teknik kompresi citra yang efektif dapat secara signifikan mengurangi ukuran file citra digital tanpa mengorbankan kualitas visualnya. Penelitian ini mengusulkan evaluasi kinerja teknik kompresi citra dengan mengkombinasikan teknik *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution*. Metode ini diterapkan pada citra wajah dan citra medis. Kinerja metode ini dinilai berdasarkan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), *Structural Similarity Index* (SSIM), dan *Feature Similarity Index Measure* (FSIM). Analisis lebih lanjut diketahui bahwa nilai PSNR, SSIM, dan FSIM bertambah seiring dengan kenaikan level threshold, dengan nilai tertinggi diperoleh pada level *threshold* 40. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan level *threshold* menghasilkan kompresi citra yang selaras tanpa mengorbankan kualitas visual citra terkompresi.

Kata Kunci: *Kompresi citra, Multi-Level Thresholding, Fuzzy Entropy, Differential Evolution*

PENDAHULUAN

Di era digital ini, citra digital telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Foto, video, dan gambar yang menghiasi layar perangkat elektronik merupakan representasi digital dari momen dan informasi. Namun, di balik keindahan visualnya, citra digital menyimpan data dalam jumlah besar yang membutuhkan ruang penyimpanan dan transmisi data yang signifikan. Di sinilah peran penting kompresi citra hadir.

Kompresi citra merupakan sebuah teknik yang bertujuan untuk mengecilkan ukuran file citra tanpa mengurangi kualitasnya secara signifikan. Hal ini bagaikan seni melipat kain yang besar menjadi lebih kecil tanpa merusak tekstur dan warnanya. Dengan kompresi, citra dapat disimpan dengan lebih efisien, ditransmisikan dengan lebih cepat, dan diakses dengan lebih mudah. Selain itu, kompresi juga dapat memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi, seperti pengolahan citra, internet, multimedia, dan penyimpanan digital [1].

Kompresi citra digital terbagi menjadi dua jenis utama: *lossy* dan *lossless*. Pada kompresi *lossy*, beberapa data dihilangkan secara permanen untuk mengurangi ukuran file. Sementara itu, pada kompresi *lossless*, semua data asli tetap dipertahankan, namun dengan cara yang lebih efisien dalam pengkodean [2].

Metode kompresi yang tepat dipilih berdasarkan kebutuhan aplikasi dan seberapa pentingnya kualitas gambar yang diinginkan. Salah satu teknik kompresi citra yang umum digunakan adalah *Transformasi Wavelet*, yang membagi citra menjadi beberapa level resolusi dan frekuensi. Ini memungkinkan informasi citra disimpan dalam bentuk yang lebih ringkas, tanpa kehilangan detail penting. Selain itu, algoritma kompresi seperti JPEG (Joint Photographic Experts Group) dan PNG (Portable Network Graphics) adalah standar umum untuk kompresi citra *lossy* dan *lossless* secara berturut-turut [3]. Terdapat metode kompresi citra yang telah dikembangkan untuk memperoleh hasil yang optimal. Contohnya, penelitian dalam kompresi citra yang menggunakan pendekatan histogram berbasis metode *Multi-Level Thresholding* [4]. Histogram adalah gambaran visual dari sebaran intensitas piksel dalam sebuah citra [5].

Metode *thresholding* umumnya melibatkan penghitungan nilai ambang atau batas yang memisahkan piksel menjadi dua kelompok, yaitu kelompok piksel yang dianggap objek dan kelompok piksel yang dianggap latar belakang. Dengan bertambahnya nilai *threshold* yang digunakan, semakin bertambah juga piksel yang dianggap sebagai objek [6]. Pada metode *multi-level thresholding*, pengukuran *entropy* dapat memberikan evaluasi kuantitatif dari distribusi intensitas piksel pada citra untuk melakukan penentuan ambang batas optimal yang berdampak pada performa dan kualitas kompresi citra yang dihasilkan. Nilai *threshold* yang optimal dapat ditentukan menggunakan *Fuzzy Entropy* berdasarkan perhitungan *membership function* [7].

Penelitian ini berfokus pada pengembangan metode kompresi citra yang efektif dan efisien menggunakan kombinasi *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy*, dan *Differential Evolution*. *Fuzzy Entropy* dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas pengenalan objek dalam interpretasi gambar namun dengan waktu konvergensi yang

tinggi dan meningkat secara eksponensial dengan tingkat *threshold* sehingga perlu diperhatikan implementasinya. Teknik optimasi seperti *Differential Evolution* dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja *Fuzzy Entropy* dalam pengenalan objek dalam interpretasi gambar dengan mengurangi waktu konvergensi dan meningkatkan efisiensi implementasi dalam hal komputasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini diusulkan penerapan teknik *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* pada kompresi citra. Penelitian ini menggunakan jenis citra wajah dan citra medis. Kemudian citra yang diperoleh dari hasil kompresi dianalisis menggunakan parameter *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), *Structural Similarity Index Measure* (SSIM), dan *Feature Similarity Index Measure* (FSIM) untuk mengevaluasi kualitas kinerja Teknik *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy* dibandingkan *Differential Evolution* pada kompresi citra.

TINJAUAN PUSTAKA

Multi-Level Thresholding: Membagi Citra Menjadi Kelas-Kelas Berdasarkan Tingkat Keabuan

Multi-Level Thresholding adalah bagian dari teknik segmentasi citra yang efektif dalam pemrosesan citra digital. Tujuan utama dari teknik ini adalah untuk membagi citra menjadi beberapa kelas atau segmen berdasarkan tingkat keabuan piksel. Dengan kata lain, *Multi-Level Thresholding* memungkinkan untuk membagi citra menjadi wilayah-wilayah dengan karakteristik keabuan yang berbeda [8]. Teknik *Multi-Level Thresholding* sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pada kompresi citra *lossless* maupun *lossy*. Dalam konteks kompresi citra, *Multi-Level Thresholding* digunakan untuk mengidentifikasi dan mengompresi area citra yang memiliki karakteristik serupa. Dengan membagi citra menjadi beberapa kelas berdasarkan tingkat keabuan, *Multi-Level Thresholding* memungkinkan untuk mengurangi redundansi data dalam citra tersebut, sehingga menghasilkan ukuran file yang lebih kecil tanpa mengorbankan kualitas citra secara signifikan.

Salah satu keunggulan utama dari *Multi-Level Thresholding* adalah kemampuannya untuk menangani citra yang kompleks dengan

berbagai tingkat keabuan. Teknik ini memungkinkan untuk menentukan ambang batas yang optimal untuk memisahkan berbagai area dalam citra, bahkan pada citra dengan tingkat keabuan yang kompleks dan bervariasi. Proses *Multi-Level Thresholding* dimulai dengan pemilihan beberapa ambang batas yang sesuai berdasarkan analisis histogram citra. Ambang batas ini kemudian digunakan untuk membagi rentang keabuan citra menjadi beberapa interval yang sesuai. Piksel-piksel dalam citra kemudian dikelompokkan ke dalam kelas-kelas berdasarkan interval keabuan yang mereka miliki [9].

Fuzzy Entropy: Mengukur Tingkat Ketidakpastian Atau Keacakan Dalam Suatu Sistem Fuzzy

Fuzzy Entropy (FE) merupakan salah satu konsep kunci dalam teori sistem fuzzy yang digunakan untuk mengukur tingkat ketidakpastian atau keacakan dalam suatu sistem fuzzy. Dalam konteks kompresi citra fuzzy, konsep ini memiliki peran penting dalam menentukan nilai ambang batas yang optimal yang digunakan untuk membagi citra menjadi beberapa kelas [10].

Pada multi-level *Fuzzy Entropy*, himpunan dasar A dapat didefinisikan sebagai kumpulan elemen yang dapat dimiliki atau tidak dimiliki oleh himpunan A. Sedangkan menurut himpunan fuzzy, yang merupakan generalisasi dari himpunan dasar, suatu elemen dapat dimiliki sebagian oleh himpunan A [11]. A dapat didefinisikan sebagai berikut. (masukkan di persamaan fuzzy entropy).

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

di mana $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ dan $\mu_A(x)$ disebut fungsi keanggotaan, yang mengukur kedekatan x ke A.

Dengan menggunakan *Fuzzy Entropy*, dapat digunakan mengukur tingkat ketidakpastian atau keacakan dalam distribusi keanggotaan piksel dalam citra fuzzy, sehingga memungkinkan untuk menentukan nilai ambang batas yang dapat menghasilkan segmentasi citra yang optimal. Nilai optimal parameter dapat diperoleh dengan memaksimalkan total entropi:

$$\varphi(a_1, c_2, \dots, a_{n-1}, c_n) = \text{Arg max} ([H_1(t) + H_2(t) + \dots + H_n(t)]) \quad (2)$$

Jumlah (n-1) nilai *threshold* dapat diperoleh dengan menggunakan parameter *fuzzy* dengan cara sebagai berikut:

$$t_1 = \frac{(a_1+c_1)}{2}, t_2 = \frac{(a_2+c_2)}{2}, \dots, t_{n-1} = \frac{(a_{n-1}+c_{n-1})}{2} \quad (3)$$

Pemilihan nilai ambang batas yang optimal sangat penting dalam proses kompresi citra. Jika nilai ambang batas terlalu rendah, maka citra akan dibagi menjadi terlalu banyak kelas yang menyebabkan redundansi data yang tinggi. Sebaliknya, jika nilai ambang batas terlalu tinggi, maka beberapa informasi yang penting dalam citra dapat hilang. Oleh karena itu, *Fuzzy Entropy* digunakan untuk membantu menentukan nilai ambang batas yang optimal yang mempertimbangkan tingkat ketidakpastian dalam distribusi keanggotaan piksel.

Differential Evolution: Algoritma Optimasi Evolusioner untuk Kompresi Citra

Differential evolution (DE) adalah salah satu algoritma optimasi evolusioner yang canggih dan efektif yang telah terbukti berhasil menyelesaikan berbagai masalah optimasi kompleks. Algoritma ini terinspirasi dari proses evolusi alami di mana populasi individu mengalami mutasi, rekombinasi, dan seleksi untuk menciptakan keturunan yang lebih baik adaptasi terhadap lingkungan [10].

Dalam konteks kompresi citra, *Differential Evolution* sering digunakan untuk mengoptimalkan nilai parameter yang digunakan dalam teknik kompresi, seperti nilai ambang batas *Multi-Level Thresholding*. Salah satu keunggulan utama dari *differential evolution* adalah kemampuannya untuk menemukan solusi optimal dalam ruang pencarian yang kompleks dan tidak terstruktur. Proses optimasi dalam *Differential Evolution* dimulai dengan inialisasi sebuah populasi individu yang terdiri dari solusi-solusi awal yang dihasilkan secara acak.

Setiap individu dalam populasi mewakili satu solusi potensial dalam ruang pencarian. Selanjutnya, algoritma *differential evolution* melakukan iterasi untuk memperbaiki solusi-solusi tersebut dengan mengikuti beberapa langkah utama, yaitu mutasi, rekombinasi, dan seleksi [11].

Langkah pertama dalam iterasi adalah mutasi, di mana individu-individu baru dihasilkan

dengan melakukan operasi mutasi terhadap individu-individu yang ada.

Differential Evolution (DE) dirumuskan sebagai berikut:

$$\vec{Z}_i(t) = [Z_{i,1}(t), Z_{i,2}(t), \dots, Z_{i,D}(t)] \quad (4)$$

Menggabungkan informasi dari beberapa individu dalam populasi untuk menciptakan variasi baru dalam solusi. Proses mutasi ini memungkinkan untuk eksplorasi ruang pencarian yang lebih luas dan membantu dalam mencari solusi yang lebih baik. Langkah selanjutnya adalah rekombinasi, di mana individu-individu baru yang dihasilkan dari mutasi digabungkan dengan individu-individu yang ada untuk membentuk keturunan baru. Proses rekombinasi ini memungkinkan untuk memanfaatkan informasi yang telah ditemukan dalam populasi untuk menciptakan solusi-solusi baru yang lebih baik adaptasi terhadap lingkungan.

Proses untuk j^{th} komponen i^{th} vector dapat dinyatakan sebagai:

$$\vec{Y}_{i,j}(t) = Z_{r1,j}(t) + F Z_{r2,j}(t) - Z_{r3,j}(t) \quad (5)$$

Terakhir, seleksi diperlukan untuk memperoleh kandidat individu terbaik yang akan menjadi populasi pada iterasi selanjutnya. Seleksi dilakukan berdasarkan nilai fungsi tujuan (*fitness*) dari masing-masing individu. Pada individu yang memiliki nilai *fitness* lebih tinggi memiliki probabilitas yang lebih besar untuk dijadikan kandidat sebagai anggota populasi berikutnya.

Untuk tiap vektor target $\vec{Z}_i(t)$, vektor percobaan $\vec{R}_i(t)$ diperoleh berdasarkan persamaan berikut..

$$R_{i,j}(t) = \begin{cases} Y_{i,j}(t), & \text{if } rand_j(0,1) \leq Cr, \text{ or } j=rn(i) \\ Z_{i,1}(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

Jika diketahui bahwa vektor percobaan memperoleh *fitness* yang bernilai lebih baik, ia menggantikan vektor targetnya pada generasi berikutnya; jika tidak, generasi sebelumnya dipertahankan dalam populasi:

$$\vec{Z}_i(t+1) = \begin{cases} \vec{R}_i(t) & \text{jika } f(\vec{R}_i(t)) > f(\vec{Z}_i(t)) \\ \vec{Z}_i(t) & \text{jika } f(\vec{R}_i(t)) \leq f(\vec{Z}_i(t)) \end{cases} \quad (7)$$

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas restorasi atau kompresi citra atau video. PSNR mengukur perbandingan antara kekuatan sinyal maksimum dengan tingkat derau yang ada dalam sinyal tersebut. Semakin

tinggi nilai PSNR, semakin baik kualitas sinyalnya [12].

Persamaan PSNR adalah sebagai berikut:

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{Max_i[P_i]}{\sigma^2} \quad (8)$$

di mana:

- $Max_i[P_i]$ adalah nilai maksimum yang dapat diwakili oleh piksel dalam citra (biasanya 255 untuk citra 8-bit grayscale atau 255 x 3 untuk citra 24-bit RGB),
- σ^2 adalah perbedaan kuadrat rata-rata antara piksel pada citra asli dan citra yang telah diproses atau dikompresi [13].

Structural Similarity Index Measure (SSIM)

Parameter SSIM digunakan untuk mengetahui ukuran seberapa baik citra yang diproses atau dikompresi mempertahankan struktur, detail, dan tekstur citra asli. SSIM mengukur kesamaan struktural antara dua citra dengan memperhitungkan perbedaan kecerahan, kontras, dan struktur [13].

Rumus SSIM adalah sebagai berikut:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (11)$$

di mana:

- x, y adalah dua citra yang dibandingkan,
- μ_x dan μ_y merupakan intensitas rata-rata dari citra *input* dan citra *output*,
- σ_x^2 dan σ_y^2 merupakan standar deviasi dari x dan y ,
- σ_{xy} adalah kovarians antara x dan y ,
- c_1 dan c_2 adalah konstanta yang digunakan untuk menghindari pembagian dengan nol dan menstabilkan perhitungan.

Feature Similarity Index Measure (FSIM)

Parameter *Feature Similarity Index* (FSIM) adalah metode evaluasi kualitas citra yang digunakan untuk mengukur seberapa baik citra yang diproses mempertahankan fitur-fitur penting dari citra asli, seperti tekstur, detail, dan pola visual lainnya [14].

FSIM didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$FSIM(x) = \frac{\sum_{X \in \Omega} S_L(X) PC_m(X)}{\sum_{X \in \Omega} PC_m(X)} \quad (12)$$

dengan PC adalah fasa kongruensi, Ω menunjukkan batas bawah dan atas intensitas piksel dan hasil bagi kesamaan diwakili oleh $S_L(X)$.

METODE PENELITIAN

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah studi literatur. Melalui studi literatur, dilakukan tinjauan pustaka untuk memahami konsep-konsep dasar kompresi citra, konsep *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution*. Data diperoleh dari berbagai sumber meliputi buku, jurnal ilmiah, dan artikel ilmiah yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian.

Jenis Data

Terdapat dua jenis data yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Data Kuantitatif sebagai parameter evaluasi hasil citra terkompresi dari kinerja algoritma yang digunakan. Pada penelitian ini berupa nilai *Peak Signal-To-Noise Ratio* (PSNR), *Structural Similarity Index Measure* (SSIM) dan *Feature Similarity Index Measure* (FSIM).
2. Data Kualitatif pada penelitian ini yaitu data citra hasil kompresi yang dibandingkan dengan data citra wajah asli dan medis asli sebagai inputan dengan teknik *Multi-level Thresholding* menggunakan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution*.

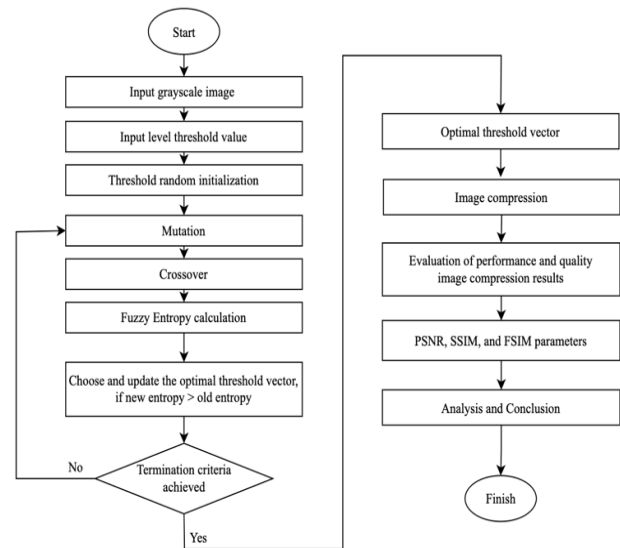
Sumber Data

Terdapat dua sumber data pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Berikut ini data primer dan data sekunder yang digunakan sebagai sumber data pada penelitian ini:

1. Data primer merujuk pada data yang berperan sebagai citra input dalam bentuk citra digital grayscale. Data primer penelitian ini berupa citra digital grayscale wajah dan medis.
2. Data sekunder berupa implementasi algoritma kompresi citra yakni sumber literatur seperti buku, jurnal, atau artikel ilmiah, serta kode sumber Matlab.

Alur Penelitian

Alur penelitian penerapan teknik *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* pada kompresi citra dapat ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 1 Alur Penelitian

Penerapan teknik *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* pada kompresi citra menggunakan persebaran distribusi intensitas piksel pada citra untuk mengidentifikasi nilai *threshold* atau ambang batas optimal dengan mengelompokkan citra menjadi beberapa bagian yang berbeda berdasarkan intensitas pikselnya. Dengan metode tersebut, kompresi citra dapat dicapai sambil mempertahankan tingkat kualitas visual citra terkompresi. Algoritma *Fuzzy Entropy* (FE) digunakan untuk menghitung kuantitas informasi dari citra tersegmentasi, sehingga dapat digunakan sebagai fungsi optimisasi untuk mencari ambang batas optimal [15]. Algoritma *Differential Evolution* (DE) menjelajahi ruang solusi dengan menyesuaikan nilai ambang secara iteratif. Pada proses algoritma FE-DE, perhitungan *Fuzzy Entropy* dilakukan dengan *fuzzy membership function* untuk mengevaluasi kesesuaian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengevaluasi kinerja teknik *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* pada kompresi citra digital. Adapun citra digital yang digunakan adalah citra wajah dan citra medis yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2 Citra wajah 1



Gambar 3 Citra wajah 2



Gambar 3 Citra wajah 3



Gambar 4 Citra medis 1



Gambar 5 Citra medis 2



Gambar 6 Citra medis 3

Berdasarkan hasil penelitian dari teknik ini (ditunjukkan dengan tabel 1), diperoleh rasio kompresi yang tinggi dengan kualitas citra yang terjaga

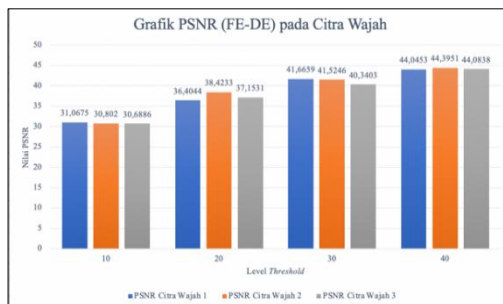
Table 1. The Performance of Image Compression

Input Image	Threshold Level	PSNR	SSIM	FSIM	Input Image	Threshold Level	PSNR	SSIM	FSIM
Face image 1	10	31,0675	0,8703	0,8859	Medical image 1	10	31,1380	0,8800	0,8987
	20	36,4044	0,9473	0,9618		20	35,3466	0,9339	0,9544
	30	41,6659	0,9794	0,9877		30	40,6130	0,9745	0,9863
	40	44,0453	0,9879	0,9943		40	42,5494	0,9844	0,9908
Face image 2	10	30,8020	0,8738	0,8821	Medical image 2	10	33,1166	0,9063	0,9405
	20	38,4233	0,9564	0,9678		20	37,3820	0,9509	0,9727
	30	41,5246	0,9721	0,9844		30	39,9082	0,9706	0,9876
	40	44,3951	0,9861	0,9931		40	41,5238	0,9741	0,9905

Face image 3	10	30,6886	0,8459	0,8659	Medical image 3	10	30,4653	0,8205	0,8132
	20	37,1531	0,9467	0,9626		20	37,6197	0,9453	0,9529
	30	40,3403	0,9666	0,9778		30	40,4033	0,9675	0,9774
	40	44,0838	0,9844	0,9909		40	44,0365	0,9860	0,9910

Analisis PSNR

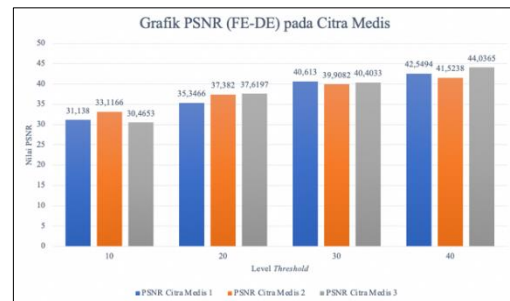
Analisis data PSNR dari tabel 1 di atas mengungkap informasi penting tentang kualitas citra dalam konteks pengolahan dan kompresi. Tabel tersebut mencakup dua kelompok data, yaitu citra wajah (*face image*) dan citra medis (*medical image*) pada empat level threshold yang berbeda. Level *threshold* yang digunakan dari 10 hingga 40. Data yang diberikan mencakup nilai PSNR, SSIM, dan FSIM untuk setiap kombinasi *input image* dan *threshold level*. Grafik PSNR pada gambar 7 berdasarkan pada tabel 1 kinerja teknik *Multi-Level Thresholding* dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* (FE-DE) untuk input citra wajah (*Face Image*) dengan *threshold* level 10, nilai PSNR berkisar antara 30,6886 hingga 31,0675. Sementara pada *threshold* level 40, PSNR meningkat menjadi berkisar antara 44,0453 hingga 44,3951.



Gambar 7 Grafik PSNR FE-DE pada Citra Wajah

Pola yang serupa juga terlihat pada kelompok citra medis (*medical image*). Berdasarkan gambar 8, pada level *threshold* 10, PSNR berkisar antara 30,4653 hingga 33,1166, sementara pada level *threshold* 40, PSNR meningkat menjadi berkisar antara 41,5238 hingga 44,0365. Meskipun terdapat peningkatan PSNR seiring dengan level *threshold*, rentang nilai PSNR pada citra

cenderung lebih rendah dibandingkan dengan citra wajah pada level *threshold* yang sama.

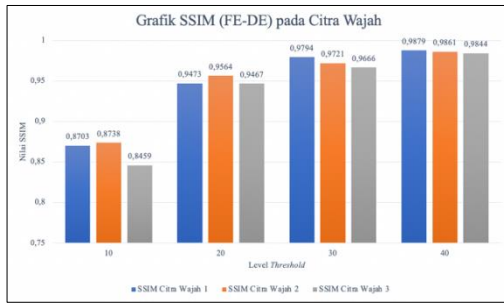


Gambar 8 Grafik PSNR FE-DE pada Citra Medis

Berdasarkan analisis PSNR, dapat ditunjukkan bahwa meningkatnya level *threshold* umumnya meningkatkan nilai PSNR. Pada kompresi citra *lossy*, hasil yang baik dari PSNR ditunjukkan pada rentang nilai 30 dB hingga 50 dB. PSNR yang tidak dapat diterima pada umumnya memiliki nilai kurang dari 20 dB [9]. Merujuk pada standar PSNR, maka kompresi citra menggunakan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* pada inputan citra wajah mendapatkan kualitas hasil kompresi yang bernilai baik.

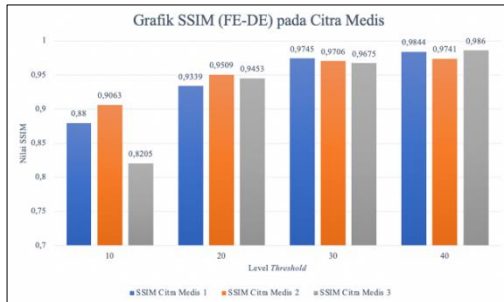
Analisis SSIM

Analisis SSIM dari tabel 1 di atas dapat ditunjukkan dengan grafik SSIM pada gambar 9 dan gambar 10 dibawah ini yang memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kesamaan struktural antara citra yang diproses atau dikompresi dengan citra asli.



Gambar 9 Grafik SSIM FE-DE pada Citra Wajah

Berdasarkan gambar 9 diketahui bahwa pada input citra wajah dengan level *threshold* 10, nilai SSIM berkisar antara 0,8459 hingga 0,8738. Pada level *threshold* 40 nilai SSIM berkisar 0,9666 hingga 0,9879 yang menunjukkan bahwa citra hasil proses masih mempertahankan banyak aspek struktural dari citra asli. Pada gambar 10 dibawah ini ditunjukkan input citra medis yang ditunjukkan dengan level *threshold* 10, nilai SSIM juga cukup tinggi, berkisar antara 0,8205 hingga 0,9063. Pada level *threshold* 40, nilai SSIM berkisar antara 0,9741 hingga 0,9860.



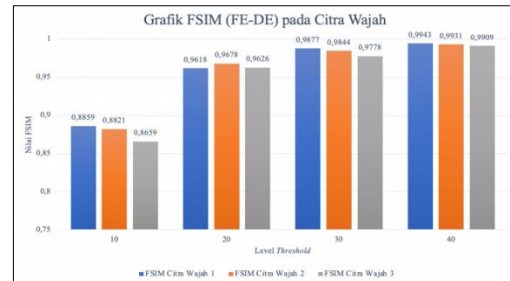
Gambar 10 Grafik SSIM FE-DE pada Citra Medis

Pola yang terlihat adalah bahwa semakin tinggi level *threshold*, nilai SSIM juga cenderung meningkat, meskipun dengan variasi yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya level *threshold* masih mampu mempertahankan kesamaan struktural antara citra yang dikompresi dengan citra asli. Menurut teori, nilai SSIM yang mendekati nilai 1 menggambarkan adanya kemiripan struktur dan kualitas citra yang baik dengan citra yang dibandingkan. Demikian halnya jika sebaliknya. Dari penjelasan diatas, diketahui bahwa ketika level *threshold* meningkat, hasil

kompresi citra medis dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* memiliki kemiripan struktur dengan kualitas citra yang baik.

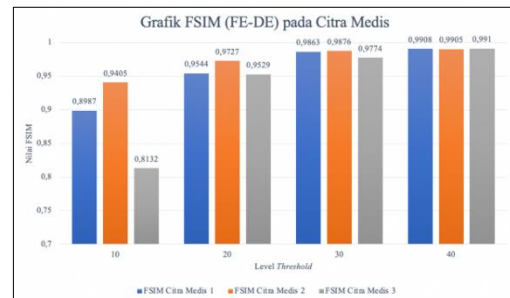
Analisis FSIM

Analisis FSIM dari tabel 1 memberikan gambaran aspek seperti tekstur, detail, dan pola visual lainnya. Dari hasil penelitian tabel 1 dapat ditampilkan grafik FSIM citra wajah pada gambar 11 dibawah ini.



Gambar 11 Grafik FSIM FE-DE pada Citra Wajah

Berdasarkan data yang disajikan pada gambar 11, dapat ditunjukkan bahwa pada citra wajah dengan level *threshold* 10, nilai FSIM berkisar antara 0,8659 hingga 0,8859. Pada level *threshold* 40 nilai FSIM berkisar antara 0,9909 hingga 0,9943. Sedangkan untuk grafik citra medis ditunjukkan pada gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12 Grafik FSIM FE-DE pada Citra Medis

Berdasarkan pada gambar 12, diketahui bahwa dengan level *threshold* 10, nilai FSIM berkisar antara 0,8132 hingga 0,8987. Pada level *threshold* 40 nilai FSIM berkisar 0,9905 hingga 0,9910. Pola yang terlihat seperti halnya pada SSIM, semakin tinggi level *threshold*, nilai FSIM juga cenderung meningkat. Menurut

teori, nilai FSIM yang mendekati nilai 1 memiliki arti bahwa citra yang dibandingkan memiliki kemiripan struktur dan kualitas citra yang baik. Demikian halnya jika sebaliknya. Dari hasil penelitian diperoleh analisis FSIM, dengan meningkatnya level *threshold* maka diperoleh hasil kompresi citra medis dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* memiliki korelasi atau kemiripan fitur dan kualitas citra yang baik. Demikian juga sebaliknya, dengan penggunaan level *threshold* lebih rendah akan diperoleh hasil kompresi yang tidak memiliki korelasi atau kemiripan fitur dan kualitas seperti citra aslinya.

SIMPULAN

Pada penelitian ini, kompresi citra berbasis *multi-level thresholding* dilakukan untuk meninjau kualitas citra terkompresi yang dihasilkan dari kombinasi teknik Multi-Level Thresholding dengan metode *Fuzzy Entropy* dan *Differential Evolution* (FE-DE). Kompresi citra FE-DE menggunakan inputan citra wajah dan citra medis yang telah dikompresi pada level *threshold* 10, 20, 30, dan 40. Hasil dari kompresi dievaluasi berdasarkan pada nilai PSNR, SSIM, dan FSIM sehingga diketahui kualitas visual citra terkompresi. Kompresi citra FE-DE dengan menggunakan dua jenis citra input yang telah dikompresi pada level *threshold* berbeda menghasilkan nilai rata-rata PSNR pada rentang 30 dB hingga 44 dB. Sedangkan nilai rata-rata SSIM berkisar 0,86 hingga 0,98 dan nilai rata-rata FSIM berkisar antara 0,88 hingga 0,99. Kompresi citra FE-DE menghasilkan nilai PSNR, SSIM, dan FSIM yang meningkat seiring dengan kenaikan level *threshold* dengan nilai tertinggi diperoleh pada level *threshold* 40. Adanya peningkatan nilai tersebut memiliki arti bahwa kualitas visual dari citra terkompresi yang dihasilkan juga semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. K. Adi Bayu Adnyana, I. M. Oka Widyantara, and N. Dewi Wirastuti, "ANALISA METODE SHANNON ENTROPY DAN DIFFERENTIAL EVOLUTION UNTUK KOMPRESI GAMBAR," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 8, no. 2, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i02.p25.
- [2] S. I. Murpratiwi and I. M. O. Widyantara, "Pemilihan Algoritma Kompresi Optimal untuk Citra Digital Bitmap," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 94–101, 2018.
- [3] S. Paul and B. Bandyopadhyay, "A novel approach for image compression based on multi-level image thresholding using Shannon Entropy and Differential Evolution," *IEEE TechSym 2014 - 2014 IEEE Students' Technol. Symp.*, no. February 2014, pp. 56–61, 2014.
- [4] E. Maria, Y. Yulianto, Y. P. Arinda, J. Jumiati, and P. Nobel, "Segmentasi Citra Digital Bentuk Daun Pada Tanaman Di Politani Samarinda Menggunakan Metode Thresholding," *J. Rekayasa Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 1, p. 37, 2018.
- [5] S. A. Rather and P. S. Bala, "Constriction coefficient based particle swarm optimization and gravitational search algorithm for multilevel image thresholding," *Expert Syst.*, vol. 38, no. 7, pp. 1–36, 2021.
- [6] L. Farosanti and C. Fatichah, "Perbaikan Segmentasi Pembuluh Darah Tipis Pada Citra Retina Menggunakan Fuzzy Entropy," *JUTI J. Ilm. Teknol. Inf.*, vol. 17, no. 2, p. 135,
- [7] F. Di Martino and S. Sessa, "PSO image thresholding on images compressed via fuzzy transforms," *Inf. Sci. (Ny.)*, vol. 506, pp. 308–324, 2020.
- [8] S. Sarkar, S. Paul, R. Burman, S. Das, and S. S. Chaudhuri, "A fuzzy entropy based multi-level image thresholding using differential evolution," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 8947, no. August, pp. 386–395, 2015.
- [9] U. Sara, M. Akter, and M. S. Uddin, "Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A

- Comparative Study,” *J. Comput. Commun.*, vol. 07, no. 03, pp. 8–18, 2019.
- [10] F. Z. David R.Bull, *Intelligent Image and Video Compression*. 2021.
 - [11] L. Li, A. A. Abd El-Latif, X. Yan, S. Wang, and X. Niu, “A lossless secret image sharing scheme based on steganography,” *Proc. 2012 2nd Int. Conf. Instrum. Meas. Comput. Commun. Control. IMCCC 2012*, no. May 2014, pp. 1247–1250, 2012.
 - [12] I. G. A. Garnita Darma Putri, N. P. Sastra, I. M. O. Widyantara, and D. M. Wiharta, “Kompresi Citra Medis dengan DWT dan Variable Length Code,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 20, no. 2, p. 187, 2021.
 - [13] J. Y. Zhang, X. B. Meng, W. Xu, W. Zhang, and Y. Zhang, “Research on the compression algorithm of the infrared thermal image sequence based on differential evolution and double exponential decay model,” *The Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/601506.
 - [14] J. Rahebi, “Vector quantization using whale optimization algorithm for digital image compression,” *Multimed Tools Appl*, vol. 81, no. 14, 2022, doi: 10.1007/s11042-022-11952-x.
 - [15] I. G. L. Arda Narendra, I. G. N. Putu Krisna Adi, Y. Christanto Nadeak, I. M. Oka Widyantara, and D. M. Wiharta, “KOMPRESI CITRA BERBASIS MULTI-LEVEL THRESHOLDING MENGGUNAKAN DIFFERENTIAL EVOLUTION,” *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 10, no. 4, 2023, doi: 10.24843/spektrum.2023.v10.i04.p7.