

Analisis Kualitas Citra *Foveal Avascular Zone* (FAZ) Dengan Teknik Kombinasi Pengacakan Piksel

^{1*}Dewi Purnamasari, ²Didin Herlinudinkhaji, dan ³Muhammad Zairon Mauludin

^{1,2,3}Prodi Sistem dan Teknologi Informasi, Universitas Ivet
Jl.Pawiyatan Luhur IV No.17 Semarang

e-mail: ^{*1}dewipurnamasari@ivet.ac.id, ²didnt.yusuf@gmail.com, muizai97@gmail.com

Abstract —Securing important data or information is done to prevent the leakage of a message or information to people who are not entitled to receive it not entitled to receive. Securing data can be done by using an encoding technique called cryptography. In this research, the data used is a message/information in the form of an RGB Fovea Avascular Zone (FAZ) image as many as 15 images. The message or information in the research is encoded using the Pixel Scrambling Combination Technique. The purpose of encrypting this RGB image is to find out how the encryption and decryption steps and the results of the security of the image encryption against attacks security of image encoding against cryptanalysis attacks. The method used to analyze the encryption results is differential analysis. The results of the image encryption and decryption process can be done well but still produces a cipher image that forms part of the pattern of the original image so that it is easily guessed by someone so that it is easily guessed by someone. In the differential analysis, parameter used to evaluate with Unified Averaged Changed Intensity (UACI). In this study, the average UACI value of the FAZ image tested was 79.67%. The UACI is used to determine how large the interval of difference in pixel values of the two images.

Keywords: *Cryptoanalysis; Cryptography; Decryption; Encryption; UACI.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia saat ini sedang memasuki era Revolusi Industri 5.0. Hal ini membuktikan beragamnya revolusi dan inovasi dari masa ke masa yang berkembang sangat pesat. Kemajuan teknologi yang pesat telah mengaburkan batas antara media fisik dan media digital. Kemajuan teknologi ini memberikan dampak, baik dampak positif maupun dampak negatif, termasuk di bidang kesehatan. Dampak negatif dunia medis yang terjadi adalah pencurian dan penyalahgunaan data medis khususnya citra/image. Berdasarkan dampak negatif tersebut para penjahat digital melancarkan aksinya dan merugikan banyak pihak dengan memanfaatkan kelemahan sistem penglihatan manusia. *Crypthographers* tertarik dalam bidang kesehatan dibanding di dunia perbankan karena bila ada pencurian data di *mastercards*, data lebih mudah dirusak dan bank dapat melacak dengan mudah sedangkan di kesehatan belum adanya sistem yang dapat menjaga keamanan data medis dengan aman [1].

Menurut Cyber Patrol, pencurian data di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Selama lima tahun terakhir, pencurian data meningkat sebesar 80% dari 20 laporan pada tahun 2016. Pada tahun 2023, terdapat 182 kasus pencurian data yang dilaporkan oleh masyarakat atau rumah sakit. Jumlah ini meningkat 27,3% dibandingkan tahun sebelumnya sebanyak 143 laporan. Tren pencurian data meningkat, maka masalah keamanan data menjadi lebih serius. Kasus pencurian data kesehatan di Indonesia bukanlah hal baru. Pada tahun 2020 terdapat data 30.000 pasien virus corona di Indonesia diduga dicuri dan dijual. Hal ini tidak hanya menimbulkan kerugian materil namun juga psikologis bagi para korbannya dan dapat menimbulkan diskriminasi di masyarakat. Pada Januari 2022, catatan pasien juga diduga terbongkar di beberapa rumah sakit di Indonesia berupa data 720 GB dijual di forum online *Raidforums* [2]. *Foveal Avascular Zone* (FAZ) adalah zona visi yang paling akurat pada retina tanpa kapiler di pusat *macula* yang merupakan zona gelap [3]. FAZ memegang peranan penting dalam mengidentifikasi perkembangan DR. Karena letaknya tertutup pembuluh darah maka sulit untuk mendeteksi FAZ. Pada tahun 2022, data penyedia layanan kesehatan *Eye Care Leaders* untuk *diabetes retinopathy* mengalami serangan *ransomware*. Setiap entitas yang tercakup melaporkan pelanggaran tersebut. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengamankan data gambar medis [4]. Salah satu

metode pengamanan data dikenal dengan kriptografi. Kriptografi adalah teknik untuk menyembunyikan isi data atau pesan sehingga tidak dapat lagi dimengerti atau dibaca oleh pihak ketiga atau pihak yang tidak diinginkan [5] [6] [7].

Analisis diferensial adalah parameter untuk evaluasi kekuatan algoritma dalam mengenkripsi citra dari serangan diferensial. Serangan ini biasanya dianalisis dengan *Unified Averaged Changed Intensity* (UACI). Parameter ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar interval perbedaan nilai piksel dari kedua citra. Serangan diferensial atau kriptanalisis adalah teknik untuk melacak perbedaan yang bertujuan untuk menemukan *cipher* yang menunjukkan ketidakacakan pada suatu citra yang terenkripsi. Parameter UACI nilai yang paling umum untuk mengevaluasi keacakan algoritma enkripsi atau citra cipher yang berhubungan dengan serangan differensial. Secara konvensional skor UACI yang tinggi biasanya diartikan memiliki resistensi yang tinggi terhadap serangan deferensial. Jadi dapat dikatakan UACI merupakan parameter yang utama untuk mengukur sensitive kualitas citra yang digunakan untuk menganalisa perubahan satu piksel dalam *plain image* yang menyebabkan perubahan besar pada *cipher image* dengan syarat ada batasan nilai yang dijadikan standar terendah untuk menilai keberhasilan performa metode algoritma tersebut.

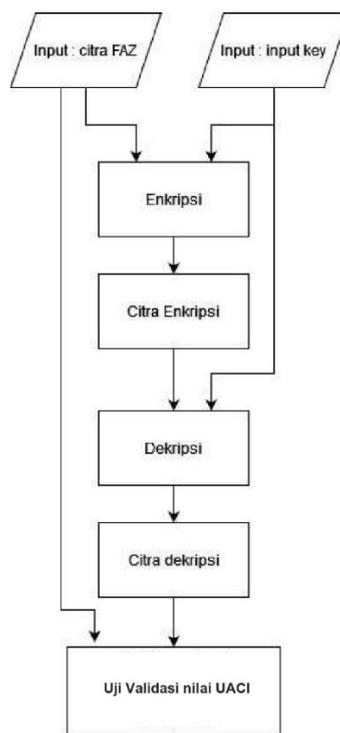
Pada penelitian sebelumnya oleh Hanung Adi Nugroho *et al.* dilakukan pendeteksian FAZ dan evaluasi yang diukur adalah korelasi dari luas area FAZ dengan membandingkan luas area FAZ metode peneliti dengan dan luas area FAZ menurut *ophthalmology* [8] [9]. Penelitian sebelumnya hanya membahas deteksi FAZ saja, tidak membahas sampai kriptografi. Penelitian Dewi *et.al* meneliti FAZ dengan metode kombinasi pengacakan piksel dan parameter yang diukur adalah waktu enkripsi [10]. Penelitian Alwa Benlashram *et.al* menggunakan metode *pixel shuffling* (operasi XOR) dan *3D chaotic map* pada citra lena, *paper* dan *mandril* validasi menggunakan *Uniform Average Change Intensity* (UACI) [11]. Surya R *et.al* meneliti menggunakan metode *random shuffling of pixels and permutation, substitution process* dan validasi yang diukur UACI [12]. Zhongyun Hua *et.al* meneliti *high-speed scrambling and pixel adaptive diffusion* pada citra otak dan paru-paru validasi menggunakan UACI [13]. Jianeng Tang *et.al* meneliti menggunakan metode *Cosine Logistic Compound Chaotic map* (1DCLC) pada citra *grayscale* lena, jam, dan pesawat, validasi menggunakan UACI [14]. Iqbal *et.al* meneliti membandingkan nilai UACI dengan menggunakan metode *Arnold Cat Map* dan *Logistic Map* pada citra *grayscale* tutup lensa kamera [15]. Hidayet meneliti dengan pengacakan matriks yang ditentukan posisi piksel dan *hybrid chaotic map*, validasi yang digunakan nilai UACI 33,33% [16]. Pada penelitian Janoe *et.al* diteliti citra sidik jari menggunakan citra sidik jari ibu jari, telunjuk kanan dan kiri, tengah kanan dan kiri, manis kanan dan kiri, kelingking kanan dan kiri dengan nilai UACI 40.996 % [17]. Yulia Fatma *et.al* meneliti algoritma Simon dan *Vigenere Cipher* pada citra digital, parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas citra menggunakan nilai UACI dengan nilai di bawah ambang batas [18].

State of the art dalam penelitian ini adalah penelitian sebelumnya hanya mendeteksi FAZ tidak sampai dengan kriptografi [8] [9]. Subjek citra menggunakan citra FAZ yang susah dideteksi oleh mata dimana untuk mendapatkan perlu tahap *enhancement* dan segmentasi. Pada penelitian sebelumnya berkaitan dengan FAZ untuk pengamanan data menggunakan *Vigenere Cipher* validasi menggunakan waktu enkripsi dan hasil citra enkripsi [19], sedangkan pada penelitian ini subjek sama-sama menggunakan citra FAZ tetapi perbedaan dengan penelitian sebelumnya di pemakaian metode. Penelitian ini menggunakan metode kombinasi pengacakan piksel *mean* dan *standard deviasi* dengan validasi berupa parameter nilai UACI.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari enam tahap. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian.

Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian yang terdiri dari input citra FAZ dan juga terdapat input *key* dengan memasukkan data teks, tahap enkripsi, tahap citra enkripsi, tahap dekripsi, tahap citra dekripsi, serta tahap uji validasi menghitung nilai UACI.

2.1.1. Input Citra FAZ dan Input Key

Pada tahap ini dilakukan proses input citra FAZ yang didapatkan dari citra fundus retina *diabetic retinopathy* di <http://messidor.crihan.fr>. Penelitian ini menggunakan *database* MESSIDOR citra fundus retina dengan citra berformat TIF yang mempunyai 4 grade yaitu grade 0, 1, 2, dan 3. Untuk mendapatkan citra FAZ diperoleh melalui tahap *pre processing*, ekstraksi *blood vessels*, serta deteksi FAZ dengan menghubungkan *endpoint blood vessels* berbentuk *polygon* sedangkan area menurut *ophthalmology* berbentuk lingkaran. Penelitian ini menggunakan 15 citra FAZ, sedangkan input *key* dengan memasukkan nilai teks.

2.1.2. Enkripsi

Tahap ini memasukan input citra hasil FAZ sebagai *plain image* kemudian memasukan *key* berbentuk teks dengan panjang karakter 256. Enkripsi citra FAZ adalah mengubah *plain image* menjadi citra yang tidak bisa dibaca (*cipher image*). Tahap ini menggunakan kombinasi pengacakan piksel *mean* dan standar deviasi dimulai dengan memasukan citra FAZ kemudian *split* menjadi tiga *channel* yaitu *red*, *green*, dan *blue*. Ketiga *channel* tersebut disatukan dengan *key* yang didapatkan dari memasukkan input teks kemudian konversi teks menjadi *integer* dilanjutkan dengan menghitung nilai *mean* dan standar deviasi. *Generate Key* kemudian diolah dengan distribusi normal sehingga didapatkan *key* baru. Kemudian *key* masuk ke dalam *channel* baru dan didapatkan citra enkripsi yang sudah ter-*split* menjadi tiga bagian yaitu citra terenripsi *red*, citra terenripsi *green*, dan citra terenripsi *blue*. Setelah itu dilakukan proses *merging* sehingga didapatkan citra enkripsi baru dengan ketiga *channel* citra enkripsi *red*, *green*, dan *blue* disatukan menjadi satu *channel*. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung *mean*.

$$Mean = \bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n} \quad (1)$$

dimana \bar{x} adalah rata rata, n adalah nomor piksel, dan x_i adalah piksel yang terdapat di kolom i .

Standar deviasi adalah salah satu teknik statistik dasar yang digunakan untuk menjelaskan homogenitas kelompok. Persamaan untuk menghitung standar deviasi dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}} \quad (2)$$

dimana σ adalah populasi standar deviasi, N adalah ukuran populasi, x_i adalah setiap nilai dari populasi, dan μ adalah populasi rata-rata.

2.1.3. Citra Enkripsi

Pada tahap ini didapatkan citra FAZ yang tidak dapat diketahui keberadaan letak FAZ karena letak FAZ tidak terlihat sama sekali.

2.1.4. Dekripsi

Proses dekripsi adalah proses mengubah citra yang tidak dapat dibaca (*cipher image*) menjadi citra yang dapat dibaca (*plain image*). Tahap dekripsi merupakan kebalikan dari tahap enkripsi.

2.1.5. Citra Dekripsi

Penelitian ini menghasilkan citra FAZ melalui proses dekripsi. Citra yang dihasilkan seperti citra asal FAZ karena yang semula citra tidak dapat dibaca menjadi citra yang dapat dibaca (hasil sama seperti citra awal FAZ).

2.1.6. Uji Validasi dengan UACI

Pada tahap uji dan evaluasi digunakan parameter UACI untuk mengetahui seberapa besar interval perbedaan nilai piksel dari kedua citra. *Unified Averaged Changed Intensity* (UACI) adalah formula untuk melakukan analisis diferensial dari dua buah citra. UACI digunakan untuk mengetahui seberapa besar interval perbedaan nilai piksel dari kedua citra. Misal I dan I_0 adalah dua citra yang berbeda, secara berurutan $I(x,y,z)$ dan $I_0(x,y,z)$ adalah nilai piksel citra I dan I_0 pada baris ke- x , kolom ke- y dan kanal ke- z . Dengan demikian UACI dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 3.

$$UACI = \frac{1}{WXH} \left[\sum_{i,j} \frac{|C_1(i,j) - C_2(i,j)|}{255} \right] \times 100 \quad (3)$$

dimana $D(i,j)$ didefinisikan sebagaimana pada Persamaan 4.

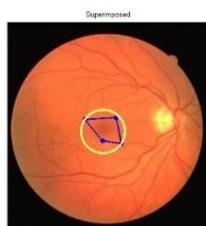
$$D(i,j) = \begin{cases} 0, & \text{if } (C_1(i,j) = C_2(i,j)) \\ 1, & \text{if } (C_1(i,j) \neq C_2(i,j)) \end{cases} \quad (4)$$

Citra *cipher* dikatakan baik atau aman jika nilai UACI untuk citra *grayscale* atau RGB memenuhi batas bawah nilai UACI=33% [20].

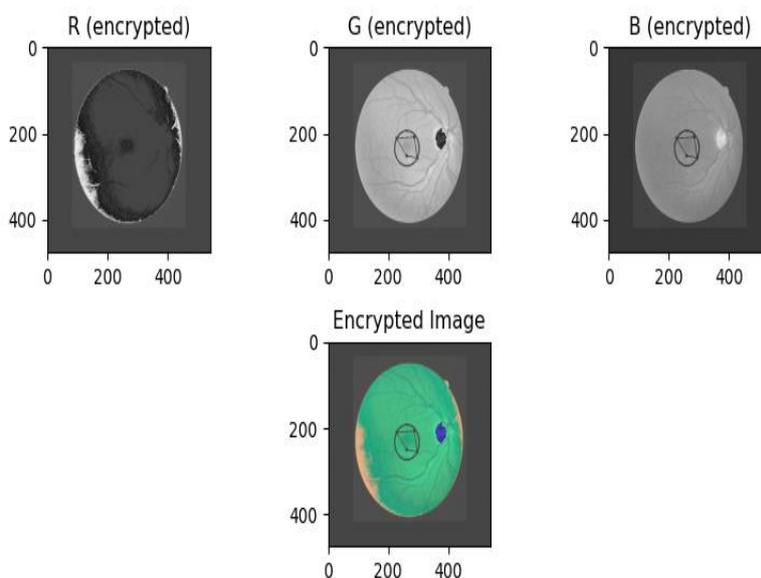
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Citra Enkripsi

Enkripsi merupakan suatu proses mengubah *plain image* menjadi *cipher image*. Citra hasil enkripsi FAZ dengan metode *Vigenere Cipher* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



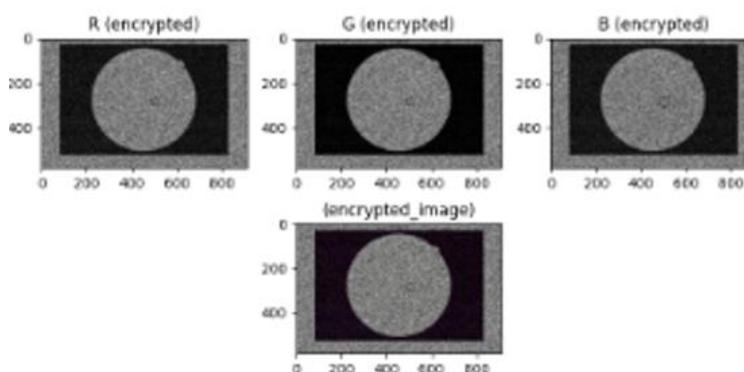
(a) Citra asli.



(b) Citra enkripsi.

Gambar 2. Citra enkripsi *Vigenere Cipher*

Gambar 2 menunjukkan bahwa citra asal merupakan citra *superimposed* FAZ yang dapat dilihat pada Gambar 2(a). Citra *superimposed* FAZ yang berbentuk *polygon* (pada penelitian ini) dan berbentuk lingkaran menurut *ophamology*. Pada penelitian sebelumnya digunakan metode *Vigenere Cipher* untuk enkripsi yang ditunjukkan pada Gambar 2(b) [19]. Citra FAZ dengan metode *Vigenere Cipher* menghasilkan citra yang keberadaan FAZ masih terlihat tampak lebih jelas dengan bentuk area FAZ berbentuk *polygon*, sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode kombinasi pengacakan piksel yang dapat dilihat pada Gambar 3.

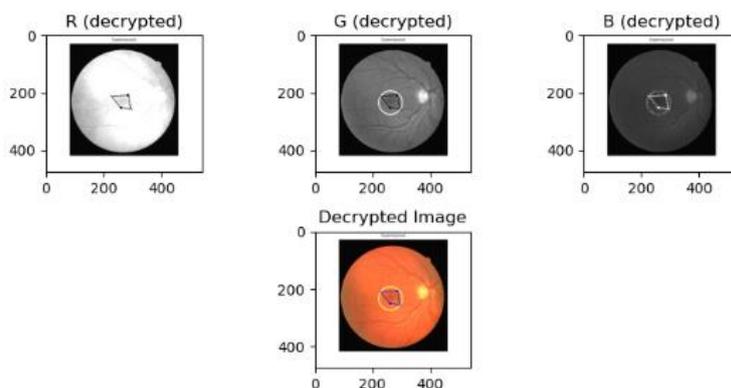


Gambar 3. Citra enkripsi metode kombinasi pengacakan piksel (*proposed method*).

Gambar 3 menunjukkan bahwa citra FAZ dengan metode kombinasi pengacakan piksel, keberadaan FAZ tidak terlihat jelas dengan bentuk area FAZ berbentuk *polygon* tidak terlihat sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa *proposed method* lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan *Vigenere Cipher*. Hasil dari *proposed method* cenderung tampak seperti segmentasi citra fundus retina.

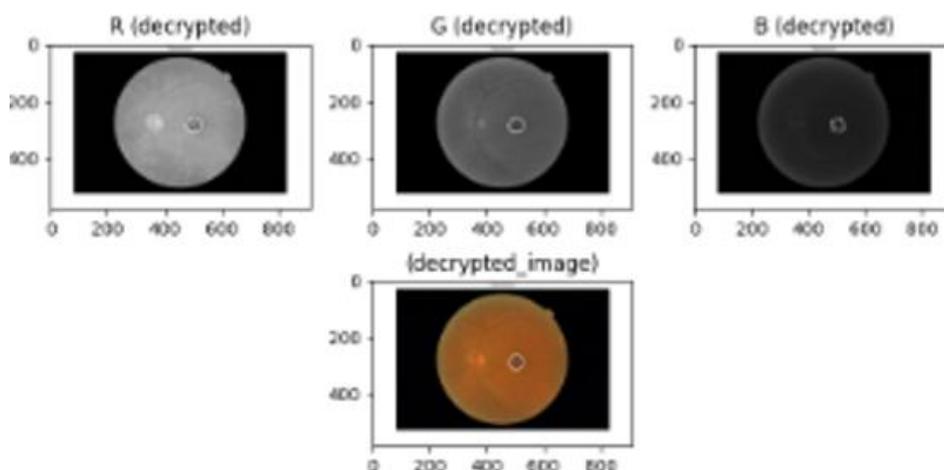
3.2. Citra Dekripsi

Dekripsi merupakan suatu proses mengubah *cipher image* menjadi *plain image*. Citra hasil enkripsi FAZ dengan metode *Vigenere Cipher* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Citra dekripsi *Vigenere Cipher*.

Pada Gambar 4 ditunjukkan bahwa dekripsi citra menunjukkan hasil citra yang sama persis dengan citra *plain image*. Hal ini membuktikan bahwa proses deskripsi berhasil dilakukan. Proses deskripsi didapatkan dari citra tiga *channel* yaitu *red*, *green*, dan *blue* yang digabungkan menjadi satu komponen hasil akhir citra RGB. Pada penelitian ini proses dekripsi *proposed method* menggunakan metode kombinasi pengacakan piksel dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Citra dekripsi *proposed method*

Gambar 5 menunjukkan bahwa dekripsi citra menunjukkan hasil citra yang sama persis dengan *citra plain image*. Hal ini membuktikan bahwa proses deskripsi berhasil untuk mengembalikan citra sesuai dengan citra asal. Proses deskripsi didapatkan dari citra tiga *channel red*, *green*, dan *blue* yang digabungkan menjadi satu komponen hasil akhir citra RGB. Proses dekripsi pada *channel red*, *green*, dan *blue* pada *proposed method* menghasilkan citra yang lebih gelap. Hal ini dapat terjadi karena masing-masing citra fundus retina pada *database messidor* mempunyai tingkat gelap dan terang yang berbeda-beda.

3.3. Validasi UACI

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui UACI dari masing-masing citra dengan memasukkan kunci teks INDONESIA JAYA. Hasil validasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel UACI citra FAZ.

No	Image	Luas area (piksel)	UACI (%)
1	Image 1.tif	3747	80.85
2	Image 2.tif	4133	80.08
3	Image 3.tif	2743	73.84
4	Image 4.tif	6579	81.25
5	Image 5.tif	4572	81.94
6	Image 6.tif	5050	74.39
7	Image 7.tif	5515	81.37
8	Image 8.tif	5672	83.18
9	Image 9.tif	3421	81.48
10	Image 10.tif	4332	80.64
11	Image 11.tif	4474	73.14
12	Image 12.tif	4902	81.51
13	Image 13.tif	5151	80.87
14	Image 14.tif	5340	79.51
15	Image 15.tif	3738	80.95

Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata nilai parameter UACI dalam pengujian 15 citra FAZ adalah 79.67%. Hal ini menunjukkan bahwa *cipher image* hasil pengujian dikatakan baik atau aman karena berada di atas batas acuan nilai UACI sebesar 30% [21] [22]. *Image 1* sampai *Image 15* menunjukkan nilai UACI berada di atas nilai batas acuan yang digunakan. UACI digunakan untuk mengetahui seberapa besar interval perbedaan nilai piksel dari kedua citra tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan keberhasilan metode kombinasi pengacakan piksel terbukti dari validasi parameter nilai UACI melebihi dari nilai ambang batas. Kualitas perbedaan hasil citra asal jelas jauh berbeda dengan citra hasil enkripsi dengan persentase mendekati 100%.

4. KESIMPULAN

Enkripsi adalah proses mengubah citra asli (*plain image*) menjadi citra terenkripsi (*cipher image*), sementara dekripsi mengubah citra terenkripsi kembali menjadi citra asli. Dalam penelitian ini, parameter UACI menunjukkan nilai sebesar 79.67%. Citra *Grayscale* atau RGB yang dihasilkan dapat disebut citra terenkripsi yang baik jika nilai UACI melebihi batas bawah 33%. Secara visual, citra terenkripsi yang baik akan sangat berbeda dari citra aslinya, membuat citra asli sulit dikenali secara langsung. Keberhasilan metode kombinasi pengacakan piksel terbukti dengan nilai UACI yang melebihi ambang batas, menunjukkan bahwa citra terenkripsi jelas berbeda dari citra asli. Hal ini menunjukkan bahwa metode ini tahan terhadap serangan kriptanalisis, sehingga pihak ketiga tidak dapat mengakses data citra asli, yang sangat penting dalam keamanan citra medis, khususnya citra FAZ. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi metode kriptografi modern lainnya dengan menambahkan citra uji dan validasi parameter seperti NPCR, histogram, dan MSE untuk mengukur kualitas citra.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) Kementerian Riset dan Teknologi Tahun 2023 yang telah memberikan dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Tjandrawinata, "Industri 4.0: revolusi industri abad ini dan pengaruhnya pada bidang kesehatan dan bioteknologi," *Medicinus*, vol. 29, no. 1, pp. 31–39, 2016, doi: 10.5281/zenodo.49404.
- [2] S. Sofia, E. T. Ardianto, N. Muna, & S. Sabran, "Analisis Aspek Keamanan Informasi Data Pasien Pada Penerapan RME di Fasilitas Kesehatan," *J. Rekam Med. Manaj. Inf. Kesehat.*, vol. 1, no. 2, pp. 94–103, 2022, doi: 10.47134/rmik.v1i2.29.
- [3] H. Adi Nugroho, D. Purnamasari, I. Soesanti, W. K. Z. Oktoeberza, & D. Arief Dharmawan, "Segmentation of foveal avascular zone in colour fundus images based on retinal capillary endpoints detection," *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 3–8, pp. 107–112, 2017.
- [4] G. C. M. Purba & A. ID Hadiana, "Pengamanan Citra Medis Berbasis Steganografi dan Kriptografi Dengan Menggunakan Metode End Of File Dan Advanced Encryption Standard," *Informatics Digit. Expert*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: 10.36423/index.v4i1.878.
- [5] D. Purnamasari, "Implementasi Algoritma Kriptografi Caesar Cipher dan Rail Fence Cipher untuk Keamanan Data Teks Menggunakan Python," *E-Journal.Ivet.Ac.Id*, vol. 4, pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: <http://e-journal.ivet.ac.id/index.php/jiptika/article/view/1697>
- [6] D. Purnamasari, A. K. Dewi, & A. N. Trisetiyanto, "Analisis Performansi Kriptografi Berbasis Caesar Cipher Untuk Keamanan Data Menggunakan Python Pada Tembang Macapat," vol. 1, no. 2, pp. 50–54, 2022.
- [7] D. Purnamasari & H. Prasetyani, "Analisis Performansi Kriptografi Berbasis Algoritma Caesar Cipher dan Rail Fence Cipher pada Tembang Macapat," *Joined J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [8] H. A. Nugroho, D. Purnamasari, I. Soesanti, W. KZ, & D. Dharmawan, *Detection of foveal avascular zone in colour retinal fundus images*. 2015. doi: 10.1109/ICSITech.2015.7407808.
- [9] H. Adi Nugroho, D. Purnamasari, I. Soesanti, W. K. Z. Oktoeberza, & D. Arief Dharmawan, "Segmentation of foveal avascular zone in colour fundus images based on retinal capillary endpoints detection," *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 3–8, pp. 107–112, 2017.
- [10] D.Purnamasari, D.Herlinudinkhaji, & A.K.Dewi, "Foveal Avascular Zone (FAZ) Image Encryption Using Pixel Scrambling Combination Technique for Medical Image Security," *Infotel*, vol. 16, no. 1, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.itelkom-pwt.ac.id/index.php/infotel/article/view/1029>
- [11] A. Benlashram, M. Al-ghamdi, R. Altalhi, & P. Kaouther, "A novel approach of image encryption using pixel shuffling and 3D chaotic map A novel approach of image encryption using pixel shuffling and 3D chaotic map," *J. Phys. Conf. Ser.*, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1447/1/012009.
- [12] R. Surya & R. Premkumar, "Efficient Image Encryption with Pixel Scrambling and Genetic Algorithm," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 3241–3248, 2019.
- [13] Y. Chen, C. Tang, & R. Ye, "Cryptanalysis and improvement of medical image encryption using high-speed scrambling and pixel adaptive diffusion," *Signal Processing*, vol. 167, 107286, 2020, doi: 10.1016/j.sigpro.2019.107286.
- [14] J. Tang, Z. Zhang, Z. Huang, P. Chen, F. Zhang, & H. Ni, "An image layered scrambling encryption algorithm based on a novel discrete chaotic map," *IET Image Process. by John Wiley Sons Ltd behalf Inst. Eng. Technol.*, pp. 518–532, 2022, doi: 10.1049/ipr2.12651.
- [15] Iqbal, Kusrini & A. Nasiri, "Komparasi Hasil Enkripsi Arnold Cat Map Dan Logistic Map Pada Citra Digital," *D'computare J. Ilm. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 10–16, 2020, doi:

10.30605/dcomputare.v10i2.30.

- [16] H. Ogras, “An efficient color image encryption scheme based on a matrix scrambling method and a new hybrid chaotic map An efficient color image encryption scheme based on a matrix scrambling method and a new,” *Cogent Eng.*, vol. 8, no. 1, 2021, doi: 10.1080/23311916.2021.1940638.
- [17] J. Hendarto & E. Eko Wahyudi, “Pengamanan Citra Sidik Jari Menggunakan Kriptografi Dan Steganografi Fraktal,” *J. Mnemon.*, vol. 6, no. 2, pp. 89–95, 2023, doi: 10.36040/mnemonic.v6i2.5784.
- [18] Y. Fatma, Reny Medikawati T, Yoze Rizki, & Bagas Tri Ramadana, “Perbandingan algoritma kriptografi simon dan vigenere dalam mengamankan citra digital,” *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 299–305, 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i1.4958.
- [19] D. Purnamasari & N. Erwanti, “Enkripsi Citra Fovea Avascular Zone (FAZ) Menggunakan Kriptografi Vigenere Cipher,” *Pseudocode*, vol. 9, no. 2, pp. 114–121, 2022. <https://doi.org/10.33369/pseudocode.9.2.114-121>
- [20] B. Harjo & D. R. I. M. Setiadi, “Improved Color Image Encryption using Hybrid Modulus Substitution Cipher and Chaotic Method,” *INASS*, vol. 14, no. 2, 2021, pp. 157-166, doi: 10.22266/ijies2021.0430.14.
- [21] H. Movafegh, A. Nodehi, & R. Enayatifar, “An overview of encryption algorithms in color images,” *Signal Processing*, vol. 164, November 2019, pp. 163–185, 2019, doi: 10.1016/j.sigpro.2019.06.010.
- [22] A. R. Santoso, A. Riski, & A. Kamsyakawuni, “Implementasi Algoritma Reversed Vigenere Encryption pada Pengamanan Citra ”. *BERKALA SAINTEK*, vol. 6 no. 2, pp. 61-66, 2018.