

Jurnal Teknik, Kesehatan dan Ilmu Sosial

PENGACAKAN CITRA DIGITAL DENGAN MENGGUNAKAN LOGISTIC MAP DAN PIECEWISE LINEAR CHAOTIC MAP

Andrew¹⁾, Andrian²⁾, Steven Kuantan³⁾, Rifin Setia⁴⁾, Christnatis⁵⁾
^{1,2,3,4,5)}Program Studi Teknik Informatika Universitas Prima Indonesia Medan
Jl. Brigjend. Katamso, No. 282-283, Medan. Telp 061-4578870
e-mail : andrewou94@gmail.com

Abstrak

Transfer *file* citra dapat dilakukan melalui jaringan *internet* yang tidak aman, sehingga citra pada bidang medis, penelitian, bisnis, militer dan bidang lainnya yang mengandung kerahasiaan membutuhkan proteksi. Pengacakan citra dapat dilakukan untuk mengamankan informasi yang terkandung pada citra digital. Metode *chaotic map* yang dapat digunakan untuk mengacak citra digital adalah *Logistic Map* dan *Piecewise Linear Chaotic Map*. Kedua metode *chaotic map* ini diketahui memiliki siklus yang besar dan memiliki distribusi keseragaman yang acak. Pengacakan citra dengan menggunakan kedua *chaotic map* ini adalah dengan mengacak nilai intensitas piksel citra menggunakan fungsi gerbang logika *xor* dan nilai acak yang dihasilkan oleh kedua metode *chaotic map*. Pengacakan dengan *Logistic Map* dengan menggunakan nilai parameter $\lambda = 4$ memperoleh hasil pengacakan citra paling baik secara visual dengan nilai $MSE = 9496.75862$, sedangkan pengacakan dengan *Piecewise Linear Chaotic Map* dengan menggunakan nilai parameter $p = 0.5$ memperoleh hasil pengacakan citra paling baik secara visual dengan nilai $MSE = 9803.35705$.

Kata kunci : Pengacakan, Citra, *Logistic Map*, *Piecewise Linear Chaotic Map*

1. PENDAHULUAN

Gambar atau citra sangat bermanfaat dalam media komunikasi saat ini. Terdapat kepercayaan bahwa citra berbicara lebih banyak tentang suatu kejadian daripada yang dapat diungkapkan dengan kata-kata. Pada zaman teknologi informasi saat ini, citra sangat mudah dibuat dengan perangkat yang murah. Proses perekaman, penyimpanan dan *sharing* citra digital sangat mudah dilakukan (Shwetha and Sathyanarayana, 2016). Transfer *file* citra dapat dilakukan melalui jaringan *internet* yang tidak aman, sehingga citra pada bidang medis, penelitian, bisnis, militer dan bidang lainnya yang mengandung kerahasiaan membutuhkan proteksi (Madhu, Holi, and Srikanta, 2016).

Enkripsi citra adalah teknik untuk mengacak citra awal (*plain image*) ke dalam bentuk citra yang tidak dapat dimengerti (*cipher image*). Teknik enkripsi harus disertai dengan proses dekripsi untuk dapat mengembalikan citra awal (*plain image*) tanpa kehilangan data (Shakarchy, Al-Eqabie and Al-Shahad, 2015). Citra terenkripsi diubah dari data digital menjadi data yang bersifat rahasia, dengan implementasi pada citra medis melalui koneksi internet, komunikasi militer dan sistem multimedia (Alrababah and Alrasheedi, 2017).

Pengacakan citra digital merupakan hal yang penting untuk mengamankan informasi yang terkandung pada citra digital (Wang, Chang, Liu, Song and Liu, 2015). Pengamanan citra dapat dilakukan dengan mengacak intensitas warna citra

melalui *channel* warna *Red*, *Green* dan *Blue*, sehingga warna setiap piksel pada citra berubah dan pada akhirnya citra tidak memiliki makna (Shakarchy, Al-Eqabie and Al-Shahad, 2015). Metode *chaotic map* yang dapat digunakan untuk mengacak citra digital adalah *Logistic Map* dan *Piecewise Linear Chaotic Map*. Kedua metode *chaotic map* ini diketahui memiliki siklus yang besar dan memiliki distribusi keseragaman yang acak. *Logistic map* merupakan bentuk *chaotic map* yang sederhana (Awad and Saadane, 2010).

Logistic map adalah sistem iteratif matematika yang digunakan untuk menghasilkan bilangan acak (Banthia and Tiwari, 2013). Oleh karena kesederhanaan perhitungannya, metode ini masih dipakai hingga saat ini untuk banyak aplikasi kriptografi (Awad and Saadane, 2010). *Piecewise Linear Chaotic Map* adalah *chaos map* yang terdiri dari beberapa segmen linier. *Piecewise Linear Chaotic Map* memiliki densitas pengacakan dan fungsi korelasi yang baik (Wang and Chen, 2013). Bila dibandingkan dengan *Logistic Map*, *Piecewise Linear Chaotic Map* memiliki *range* yang lebih luas, karena *Logistic Map* hanya akan acak apabila nilai parameter α mendekati nilai 4, sedangkan nilai parameter pada *Piecewise Linear Chaotic Map* dapat ditentukan antara nilai 0 hingga 0.5 (Awad and Saadane, 2010). Pengacakan citra dengan menggunakan kedua *chaotic map* ini adalah dengan mengacak nilai intensitas piksel citra menggunakan fungsi gerbang logika *xor* dan nilai acak yang dihasilkan oleh kedua metode *chaotic map*.

Jurnal Teknik, Kesehatan dan Ilmu Sosial

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini akan disusun dalam bentuk skripsi dengan judul "Pengacakan Citra Digital dengan Menggunakan Logistic Map dan Piecewise Linear Chaotic Map".

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logistic Map

Logistic map merupakan bentuk chaotic map yang sederhana. Oleh karena kesederhanaan perhitungannya, metode ini masih dipakai hingga saat ini untuk banyak aplikasi kriptografi (Awad and Saadane, 2010).

Logistic Map merupakan generator yang cepat dan mudah diimplementasikan, serta banyak digunakan untuk membangun sebuah pembangkit nilai acak kriptografi. Logistic Map dapat ditulis dengan notasi matematika seperti terlihat pada persamaan 1 berikut.

$$x(n) = \lambda \cdot x(n-1) \cdot (1 - x(n-1)) \quad (1)$$

dimana λ merupakan parameter pengontrol dengan nilai antara 0 sampai 4 dan x_n merupakan bilangan acak dengan nilai antara 0 dan 1.

2.2 Metode Piecewise Linear Chaotic Map

Piecewise Linear Chaotic Map adalah chaos map yang terdiri dari beberapa segmen linier. Piecewise Linear Chaotic Map memiliki densitas pengacakan dan fungsi korelasi yang baik (Wang and Chen, 2013).

Bila dibandingkan dengan Logistic Map, Piecewise Linear Chaotic Map memiliki range yang lebih luas, karena Logistic Map hanya akan acak apabila nilai parameter α mendekati nilai 4, sedangkan nilai parameter pada Piecewise Linear Chaotic Map dapat ditentukan antara nilai 0 hingga 0.5 (Awad and Saadane, 2010).

Rumus pengacakan yang dihasilkan oleh Piecewise Linear Chaotic Map dapat dilihat pada persamaan 2 berikut.

$$x(n) = F[x(n-1)] = \begin{cases} x(n-1) \cdot \frac{1}{p} & \text{if } 0 \leq x(n-1) < p \\ [x(n-1) - p] \cdot \frac{1}{0.5 - p} & \text{if } p \leq x(n-1) < 0.5 \\ F[1 - x(n-1)] & \text{if } 0.5 \leq x(n-1) < 1 \end{cases} \quad (2)$$

2.3 Proses Enkripsi dan Dekripsi

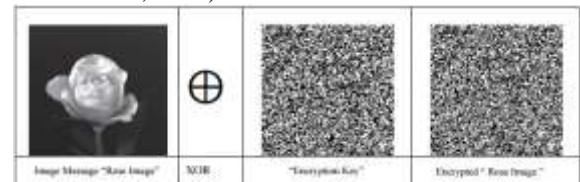
Proses enkripsi dan dekripsi terhadap citra dilakukan dengan menggunakan operasi XOR antara bilangan acak yang dihasilkan oleh LM dan PWLCM dengan nilai intensitas red, green dan blue dari piksel citra. Operasi XOR dapat dilihat pada tabel 1 berikut (Das and Bist, 2015).

Tabel 1. Operasi XOR

| | | |
|---|---|-------|
| A | B | A ⊕ B |
|---|---|-------|

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Contoh citra yang dienkripsi dengan menggunakan operasi XOR dapat dilihat pada gambar 1 (Singh and Dhanda, 2015).



Gambar 1. Enkripsi Citra Menggunakan Fungsi XOR

Untuk mendekripsi citra, citra terenkripsi dilakukan perhitungan fungsi XOR kembali dengan kunci enkripsi. Proses ini akan mengembalikan citra ke awal (Singh and Dhanda, 2015).

2.4 Proses Pengujian Mean Square Error

Mean Square Error (MSE) merupakan kumulatif error kuadrat antara citra asli dengan citra yang telah ditambahkan noise. Semakin rendah nilai MSE, maka semakin rendah nilai error (Kumar, Sharma and Sanduja, 2018).

Mean Square Error (MSE) merupakan metode pengukuran yang paling umum untuk mengukur kualitas citra. Nilai yang lebih kecil atau mendekati nol menandakan kedua citra mirip. MSE mengukur rata-rata kuadrat kesalahan. Mean Squared Error (MSE) antara dua citra seperti $g(x, y)$ dan $\hat{g}(x, y)$ dapat didefinisikan seperti persamaan 3 (Sara, Akter and Uddin, 2019).

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^M \sum_{m=1}^N [\hat{g}(n, m) - g(n, m)]^2 \quad (3)$$

3. METODE PENELITIAN

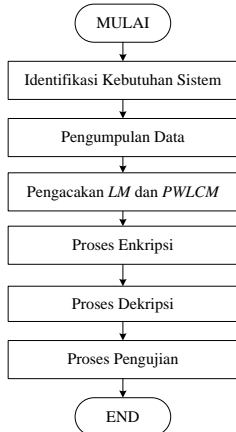
3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian kualitatif, dimana penelitian ini merupakan penelitian tentang riset yang melakukan analisis terhadap cara kerja metode Logistic Map (LM) dan Piecewise Linear Chaotic Map (PWLCM) dalam mengacak citra digital, disertai dengan pengujian terhadap hasil pengacakan.

3.2 Prosedur Kerja

Langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian ditunjukkan pada gambar 2.

Jurnal Teknik, Kesehatan dan Ilmu Sosial

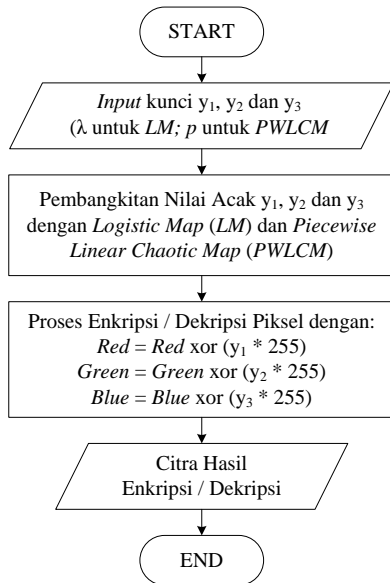


Gambar 2. Langkah-Langkah Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Tahapan proses pengacakan citra digital dengan menggunakan *Logistic Map (LM)* dan *Piecewise Linear Chaotic Map (PWLCM)* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Proses Penelitian

A. Input Kunci

Misalkan, diberi nilai awal kunci sebagai berikut:

$$y_1 = 0.7506565610$$

$$y_2 = 0.6063732213$$

$$y_3 = 0.7219217855$$

$\lambda = 4$ (nilai parameter *Logistic Map*)

$p = 0.5$ (nilai parameter *PWLCM*)



(a) (b)
Gambar 4. Nilai Awal Kunci

(a) *Logistic Map* (b) *PWLCM*

B. Pembangkitan Nilai Acak

Dengan menggunakan nilai awal $y_1 = 7506565610$, dan rumus pembangkitan nilai acak *LM* pada persamaan 4,

$$x(n) = \lambda \cdot x(n-1) \cdot (1 - x(n-1)) \quad (4)$$

dan rumus pembangkitan nilai acak *PWLCM* pada persamaan 5,

$$x(n) = F[x(n-1)] = \begin{cases} x(n-1) \cdot \frac{1}{p} & \text{if } 0 \leq x(n-1) < p \\ [x(n-1) - p] \cdot \frac{1}{0.5-p} & \text{if } p \leq x(n-1) < 0.5 \\ F[1 - x(n-1)] & \text{if } 0.5 \leq x(n-1) < 1 \end{cases} \quad (5)$$

maka hasil pembangkitan nilai acak y_1 dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai Acak y_1

| No. | Nilai Acak y_1 (LM) | Nilai Acak y_1 (PWLCM) |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Nilai Awal (Seed) | 0.7506565610 | 0.7506565610 |
| 1 | 0.7486851537 | 0.6988716828 |
| 2 | 0.7526227773 | 0.8440168092 |
| 3 | 0.7447269296 | 0.4371971265 |
| 4 | 0.7604349198 | 0.5614936915 |
| 5 | 0.7286946102 | 0.5706347472 |
| 6 | 0.7907951010 | 0.5068094735 |
| 7 | 0.6617528369 | 0.9524544512 |
| 8 | 0.8953440790 | 0.1332629318 |
| 9 | 0.3748122369 | 0.3735157010 |
| 10 | 0.9373120959 | 0.1168531001 |
| 11 | 0.2350325232 | 0.3275214421 |
| 12 | 0.7191689450 | 0.9179927185 |
| 13 | 0.8078598941 | 0.2298539198 |
| 14 | 0.6208891424 | 0.6442455289 |
| 15 | 0.9415432610 | 0.9971255987 |
| 16 | 0.2201581945 | 0.0080565091 |
| 17 | 0.6867542556 | 0.0225811679 |
| 18 | 0.8604913920 | 0.0632915744 |
| 19 | 0.4801838250 | 0.1773966433 |
| 20 | 0.9984292768 | 0.4972157725 |
| 21 | 0.0062730240 | 0.9805597856 |
| 22 | 0.0249346925 | 0.0544879601 |
| 23 | 0.0972518145 | 0.1527214533 |
| 24 | 0.3511755962 | 0.4280549731 |
| 25 | 0.9114051873 | 0.4976607534 |
| 26 | 0.3229830874 | 0.9836667602 |
| 27 | 0.8746600506 | 0.0457795835 |
| 28 | 0.4385193859 | 0.1283132000 |
| 29 | 0.9848805364 | 0.3596423566 |
| 30 | 0.0595634618 | 0.0199857324 |

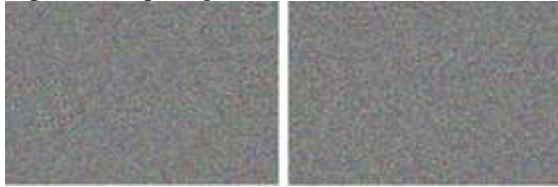
C. Proses Enkripsi (Pengacakan Citra Digital)

Proses enkripsi atau pengacakan citra digital dengan menggunakan nilai acak *LM* dan *PWLCM*, dilakukan dengan persamaan 6.

Jurnal Teknik, Kesehatan dan Ilmu Sosial

$$\begin{aligned}
 Red &= Red \text{ xor } (y_1 * 255) \\
 Green &= Green \text{ xor } (y_2 * 255) \\
 Blue &= Blue \text{ xor } (y_3 * 255)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Hasil pengacakan citra dengan *LM* dan *PWLCM* dapat dilihat pada gambar 5.



(a) (b)
Gambar 5. Hasil Pengacakan
 (a) *Logistic Map* (b) *PWLCM*

D. Proses Dekripsi

Proses dekripsi atau rekonstruksi citra digital dengan menggunakan nilai acak *LM* dan *PWLCM*, dilakukan dengan cara yang sama atau persamaan 6. Dengan menggunakan nilai kunci yang sama, maka hasil dekripsi kedua metode akan kembali ke citra awal seperti terlihat pada gambar 6.



(a) (b)
Gambar 6. Hasil Dekripsi (a) *Logistic Map*
 (b) *PWLCM* dengan Nilai Kunci Sama dengan Kunci Enkripsi

4.2 Pembahasan

Sub bab ini melakukan pembahasan terhadap beberapa nilai parameter yang berbeda dan proses dekripsi dengan nilai kunci yang berbeda sedikit (selisih nilai 10^{-10}). Pengukuran hasil pengacakan menggunakan *Mean Squared Error (MSE)*.

A. Pengujian Pengaruh Nilai Parameter λ pada *LM*





Pengujian berikut menampilkan pengaruh penggunaan nilai λ yang berbeda-beda pada *LM*. Hasil pengujian pengaruh nilai λ pada *LM* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh Nilai λ pada Pengacakan *LM*

| Nilai λ | Citra Hasil Pengacakan | MSE |
|-----------------|------------------------|---------|
| 1.0 | | 0.07099 |

| Nilai λ | Citra Hasil Pengacakan | MSE |
|-----------------|------------------------|------------|
| 1.5 | | 4312.0994 |
| 2.0 | | 4803.14195 |
| 2.5 | | 6454.48657 |
| 3.0 | | 6818.63898 |
| 3.5 | | 7184.41448 |
| 3.6 | | 7696.58744 |
| 3.7 | | 8303.58829 |

Jurnal Teknik, Kesehatan dan Ilmu Sosial

| Nilai λ | Citra Hasil Pengacakan | MSE |
|-----------------|---|------------|
| |  | |
| 3.8 |  | 8359.06314 |
| 3.9 |  | 8138.40644 |
| 4.0 |  | 9496.75862 |



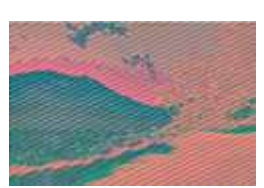
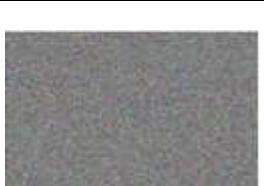
Tabel 3 memperlihatkan bahwa nilai parameter $\lambda = 4$ memperoleh hasil pengacakan citra paling baik, baik secara visual maupun melalui pengukuran *MSE*.

B. Pengujian Pengaruh Nilai Parameter p pada PWLCM

Pengujian berikut menampilkan pengaruh penggunaan nilai parameter p pada PWLCM. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh Nilai p pada Pengacakan PWLCM

| Nilai λ | Citra Hasil Pengacakan | MSE |
|-----------------|---|------------|
| 0.1 |  | 9240.57994 |

| Nilai λ | Citra Hasil Pengacakan | MSE |
|-----------------|--|------------|
| 0.2 |  | 9791.25872 |
| 0.3 |  | 9661.35067 |
| 0.4 |  | 8580.23582 |
| 0.5 |  | 9803.35705 |

Tabel 4 memperlihatkan bahwa nilai parameter $p = 0.5$ memperoleh hasil pengacakan citra paling baik dengan metode PWLCM, baik secara visual maupun melalui pengukuran *MSE*.

C. Pengujian Proses Dekripsi dengan Selisih Nilai Kunci 10^{-10}

Pengujian berikut menampilkan proses dekripsi dengan selisih nilai kunci 10^{-10} atau 0.0000000001. Sebagai contoh, diberi nilai awal kunci sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 7506565610 \\
 y_2 &= 6063732213 \\
 y_3 &= 7219217855 \\
 \lambda &= 4 \text{ (nilai parameter Logistic Map)} \\
 p &= 0.5 \text{ (nilai parameter PWLCM)}
 \end{aligned}$$

Kemudian proses dekripsi menggunakan nilai awal kunci dengan selisih nilai kunci 0.0000000001 sebagai berikut:

Jurnal Teknik, Kesehatan dan Ilmu Sosial

$$y_1 = 0.7506565610 + 0.0000000001 = 0.7506565611$$

$$y_2 = 0.6063732213 + 0.0000000001 = 0.6063732214$$

$$y_3 = 0.7219217855 + 0.0000000001 = 0.7219217856$$

Hasil dekripsi citra dapat dilihat pada gambar 7



Gambar 7. Hasil Dekripsi (a) *Logistic Map* (b) *PWLCM* dengan Selisih Nilai Kunci 0.0000000001 dari Kunci Enkripsi

Gambar 7 memperlihatkan bahwa proses dekripsi tidak berhasil mengembalikan citra bila nilai kunci tidak sama dengan kunci enkripsi. Tabel 5 memperlihatkan pengacakan dengan nilai awal (*seed*) yang berbeda.

Tabel 5. Pengacakan dengan Nilai Awal (*Seed*) yang Berbeda 10^{-10}

| No. | Logistic Map (LM) | | Piecewise Linear Chaotic Map (PWLCM) | |
|------|-------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|
| | Nilai Acak-1 | Nilai Acak-2 | Nilai Acak-1 | Nilai Acak-2 |
| seed | 0.7506565610 | 0.7506565611 | 0.7506565610 | 0.7506565611 |
| 1 | 0.7486851537 | 0.7486851535 | 0.6968716825 | 0.6968716825 |
| 2 | 0.7521622773 | 0.7521622777 | 0.8440188592 | 0.8440188510 |
| 3 | 0.7447269296 | 0.7447269288 | 0.4371971267 | 0.4371971240 |
| 4 | 0.7604348198 | 0.7604348214 | 0.7614936951 | 0.7614936974 |
| 5 | 0.7289441052 | 0.7289440969 | 0.5726347472 | 0.5706348687 |
| 6 | 0.7907951010 | 0.7907951070 | 0.5068294735 | 0.5068298252 |
| 7 | 0.6617518369 | 0.6617528229 | 0.9524344022 | 0.9524603742 |
| 8 | 0.6953440790 | 0.6953440971 | 0.3323429318 | 0.3323463302 |
| 9 | 0.7748122369 | 0.7748122398 | 0.3731170500 | 0.3731469170 |
| 10 | 0.9375120959 | 0.9375120285 | 0.6000000000 | 0.6000000000 |
| 11 | 0.2103121212 | 0.2103121240 | 0.3272144211 | 0.3268101218 |
| 12 | 0.7191889450 | 0.7191889705 | 0.9179821183 | 0.9154403885 |
| 13 | 0.6078598941 | 0.6078591481 | 0.2386539188 | 0.2370371120 |
| 14 | 0.6208891424 | 0.6208897979 | 0.6442455289 | 0.6442965189 |
| 15 | 0.9415432610 | 0.9415414341 | 0.8971255769 | 0.8969257276 |
| 16 | 0.2201881945 | 0.2201644712 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 17 | 0.6586754256 | 0.6586753074 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 18 | 0.8604913920 | 0.8604703974 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 19 | 0.4801838250 | 0.4802443705 | 0.3773864633 | 0.3702878401 |
| 20 | 0.9984292788 | 0.9984188604 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 21 | 0.0062730240 | 0.0062348099 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 22 | 0.0249346802 | 0.0249374803 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 23 | 0.3907211814 | 0.3907211814 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 24 | 0.3511755962 | 0.3511755962 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 25 | 0.9114851873 | 0.9114851873 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 26 | 0.3229882874 | 0.3229882874 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 27 | 0.8744860106 | 0.8744860106 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 28 | 0.4383191859 | 0.4383191859 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 29 | 0.9848059564 | 0.9848059564 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 30 | 0.0595834658 | 0.0595834658 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 31 | 0.2249826234 | 0.2249826234 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 32 | 0.6914942587 | 0.6914942587 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 33 | 0.8472218002 | 0.8472218002 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 34 | 0.3177480720 | 0.3177480720 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 35 | 0.9967400238 | 0.9967400238 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |

Tabel 5 memperlihatkan bahwa dengan nilai awal (*seed*) 0.7506565610 dan 0.7506565611 (atau berbeda sebesar 10^{-10} , bilangan *LM* mulai

menunjukkan selisih nilai yang cukup besar pada iterasi ke-31 yaitu dengan selisih sebesar 0.2318770791, sedangkan *PWLCM* pada iterasi ke-17 menghasilkan bilangan acak dengan selisih sebesar 0.4415036690. Ini menunjukkan bahwa *PWLCM* menunjukkan performa pengacakan yang lebih cepat dan lebih baik daripada metode *LM*.

5. KESIMPULAN

Setelah menyelesaikan penelitian mengenai pengacakan citra digital dengan menggunakan *Logistic Map (LM)* dan *Piecewise Linear Chaotic Map (PWLCM)*, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat ditarik sebagai berikut:

- Metode pengacakan *Logistic Map* dan *Piecewise Linear Chaotic Map* dapat digunakan untuk mengacak citra digital yang bersifat rahasia, sehingga terhindar dari aksi pencurian dan akses ilegal.
- Pengacakan dengan *Logistic Map* dengan menggunakan nilai parameter $\lambda = 4$ memperoleh hasil pengacakan citra paling baik secara visual dengan nilai *MSE* = 9496.75862.
- Pengacakan dengan *Piecewise Linear Chaotic Map* dengan menggunakan nilai parameter $p = 0.5$ memperoleh hasil pengacakan citra paling baik secara visual dengan nilai *MSE* = 9803.35705.
- Perbedaan nilai kunci sebesar 0.0000000001 atau 10^{-10} akan menyebabkan proses dekripsi gagal mengembalikan citra teracak kembali ke citra awal. Ini menunjukkan sensitivitas yang cukup baik.
- Berdasarkan pengujian dengan selisih nilai kunci sebesar 0.0000000001 atau 10^{-10} , *PWLCM* menunjukkan performa pengacakan yang lebih cepat dan lebih baik daripada metode *LM*.

DAFTAR PUSTAKA

Alrababah, A.A.Q., and Alrasheedi, M., 2017, *Digital Image Encryption Implementations Based on AES Algorithm*, VAWKUM Transactions on Computer Sciences, Rabigh.

Awad, A., and Saadane, A., 2010, *New Chaotic Permutation Methods for Image Encryption*, IAENG International Journal of Computer Science, Orleans, France.

Banthia, A.K., and Tiwari, N., 2013, *Image Encryption using Pseudo Random Number Generators*, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), MANIT, Bhopal.

Jurnal Teknik, Kesehatan dan Ilmu Sosial

- Das, P., and Bist, A.S., 2015, *XOR Classification*, Scientific Journal Impact Factor, Graphic Era Hill University, India.
- Kumar, R., Sharma, G. and Sanduja, V., 2018, *A Real Time Approach to Compare PSNR and MSE Value of Different Original Images and Noise (Salt and Pepper, Speckle, Gaussian) Added Images*, International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS), Punjab, India.
- Madhu, B., Holi, G., and Srikanta, M.K., 2016, *An Overview of Image Security Techiques*, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Bengaluru, India.
- Sara, U., Akter, M., and Uddin, M.S., 2019, *Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A Comparative Study*, Journal of Computer and Communications, Dhaka, Bangladesh.
- Shakarchy, N.D.K., Al-Eqabie, H.J., and Al-Shahad, H.F., 2015, *Classical Image Encryption and Decryption*, International Journal of Science and Research (IJSR), Karbala, Iraq.
- Shwetha, B., and Sathyanarayana, S.V., 2016, *Digital image forgery detection techniques: A Survey*, ACCENTS Transactions on Information Security, Karnataka, India.
- Singh, A., and Dhanda, N., 2015, *DIP Using Image Encryption and XOR Operation Affine Transform*, IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), GITM, Lucknow.
- Wang, X., and Chen, D., 2013, *A Parallel Encryption Algorithm Based on Piecewise Linear Chaotic Map*, Hindawi Publishing Corporation, Harbin, China.
- Wang, D., Chang, C.C., Liu, Y., Song, G. and Liu, Y., 2015, *Digital Image Scrambling Algorithm Based on Chaotic Sequence and Decomposition and Recombination of Pixel Values*, International Journal of Network Security, Xian, China.