Vol. 4, No. 1, April 2023, hal. 299-305

Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech)

p-ISSN: 2723-567X
e-ISSN: 2723-5661

http://ejurnal.umri.ac.id/index.php/coscitech/index

# Perbandingan algoritma kriptografi simon dan vigenere dalam mengamankan citra digital

**Yulia Fatma[*1], Reny Medikawati[2], Yoze Rizki[3], Bagas Tri Ramadana[4]**
Email: [1]yuliafatma@umri.ac.id, [2]renymedikawati@umri.ac.id, [3]yozerizki@umri.ac.id

[1234]Teknik Informatika, Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Riau

Diterima: 29 Mei 2023 | Direvisi: - | Disetujui: 1 Juni 2023


**Abstrak**

File citra digital atau gambar terkadang merupakan sesuatu aset yang berharga. Citra digital yang bersifat pribadi dan rahasia sangat rentan terhadap penyadapan oleh pihak-pihak lain, terutama bila citra tersebut didistribusikan melalui internet. Untuk meningkatkan keamanan dari citra digital agar dapat lebih terjaga kerahasian nya, maka dibutuhkan sebuah teknik khusus untuk melindungi pesan citra digital tersebut, yaitu dengan teknik kriptografi. Penelitian ini bertujuan mengetahui performa algoritma SIMON untuk keamanan citra digital. Hasil kinerja algoritma SIMON dibandingkan dengan algoritma vigenere cipher dari segi waktu dan ukuran file gambar yang dihasilkan. Pada penelitian ini digunakan encode base64 untuk proses enkripsi dan decode base64 untuk proses dekripsi. Performa algoritma SIMON dalam pengamanan citra digital menghasilkan rata rata waktu enkripsi selama 969 ms dan rata rata waktu dekripsi 1537 ms. Algoritma SIMON membutuhkan waktu yang lebih lama untuk proses enkripsi dan dekripsi jika dibandingan dengan algoritma vigenere. Cipher image hasil enkripsi algoritma SIMON memiliki ukuran yang lebih besar dari file aslinya sebesar 36%. Namun jika dibandingkan dengan cipher image hasil enkripsi algoritma vigenere tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Nilai UACI yang diperoleh dari cipher image algoritma SIMON didapatkan rata-rata hasil sebesar 18,94%. Berdasarkan teori analisis diferensial dapat dikatakan nilai tersebut masih rentan serangan diferensial. Hal ini didasarkan pada nilai UACI yang belum memenuhi nilai batas minimal yaitu sebesar 33%.

**Kata kunci**: *SIMON, Vigenere, citra digital, UACI, kriptografi*

## *A comparative method for securing digital images: simon lightweight block cipher vs vigenere cipher*

***Abstract***

*Digital image files or images are sometimes a valuable asset. Digital images that are private and confidential are very vulnerable to interception by other parties, especially if the image is distributed via the internet. To increase the security of digital images so that their confidentiality can be maintained, a special technique is needed to protect digital image messages, namely with cryptographic techniques. This study aims to determine the performance of the SIMON algorithm for digital image security. SIMON algorithm performance results are compared with the vigenere cipher algorithm in terms of time and image file size produced. In this study used base64 encode for the encryption process and base64 decode for the decryption process. The performance of the SIMON algorithm in securing digital images results in an average encryption time of 969 ms and an average decryption time of 1537 ms. The SIMON algorithm requires a longer time for the encryption and decryption process when compared to the Vigenere algorithm. The cipher image encrypted by the SIMON algorithm has a size larger than the original file by 36%. However, when compared to the cipher image encrypted by the Vigenere algorithm, there is no significant difference. The UACI value obtained from the SIMON algorithm cipher image obtained an average yield of 18.94%. Based on the theory of differential analysis, it can be said that this value is still vulnerable to differential attack. This is based on the UACI value which has not met the minimum threshold value of 33%.*

**Keywords**: *SIMON, Vigenere, Image, UACI, Cryptography*

## 1. PENDAHULUAN

Citra digital yang bersifat pribadi dan rahasia sangat rentan terhadap penyadapan oleh pihak- pihak lain, terutama bila citra tersebut didistribusikan melalui internet. Tindakan penyadapan dan penyalahgunaan terhadap citra yang sifatnya rahasia tentu saja dapat merugikan pihak pemilik citra [2]. Untuk meningkatkan keamanan dari citra digital agar dapat lebih terjaga kerahasiannya, maka dibutuhkan sebuah teknik khusus untuk melindungi pesan citra digital tersebut, yaitu dengan teknik kriptografi [3]. Kriptografi merupakan salah satu alternatif ilmu matematika yang mentransformasikan data jelas plaintext kedalam bentuk data sandi atau ciphertext [4]. Dalam kriptografi digunakan proses enkripsi dan dekripsi. Enkripsi merupakan proses mengamankan data yang dapat dibaca (plaintext) menjadi data yang rumit untuk dibaca (ciphertext) sedangkan dekripsi adalah mengembalikkan data yang rumit untuk dibaca (ciphertext) menjadi data yang mudah dibaca (plaintext) [5]. Enkripsi diperlukan karena sekarang ini citra digital mudah disimpan atau ditransmisikan melalui saluran publik seperti internet. Pengiriman citra melalui saluran publik rawan terhadap penyadapan dan penyimpanan citra didalam media storage rawan terhadap pengaksesan oleh pihak-pihak yang tidak memiliki otoritas[6].

National Security Agency (NSA) meluncurkan sebuah algoritma kriptografi yang bernama SIMON [9]. Algoritma SIMON merupakan algoritma block cipher yang dapat diterapkan pada perangkat lunak maupun perangkat keras sesuai dengan kebutuhan penggunanya. Algoritma ini memanfaatkan operasi perhitungan seperti XOR, AND, Shift register dan memiliki 10 macam versi berdasarkan ukuran block size maupun key size, algoritma SIMON juga merupakan algoritma yang cukup fleksibel bisa bekerja pada sumber daya rendah yang menjadi keunggulannya [5].

Pengujian nilai keacakan citra dapat dilakukan dengan pengujian UACI. UACI adalah nilai yang paling umum untuk mengevauasi keacakan algoritma enkripsi atau cipher gambar. Secara konvensional skor UACI yang tinggi biasanya diartikan memiliki resistensi yang tinggi terhadap serangan deferensial. Perhitungan nilai UACI diusulkan untuk diterapkan pada berbagai algoritma enkripsi gambar karena berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa banyak dari algoritma yang diuji bermasalah. Oleh karena itu perhitungan UACI diperlukan dalam analisis evaluasi keacakan citra [10].

Dari hasil penelitian sebelumnya terkait pengamanan citra digital hanya berfokus pada keberhasilan algoritma dalam melakukan enkripsi citra dan belum adanya pengujian keacakan citra hasil enkripsi yang digunakan untuk menguji keamanan. Oleh sebab itu menarik bagi peneliti untuk melakukan penelitian ulang pengamanan citra digital menggunakan Algoritma SIMON dan akan melakukan pengujian keacakan citra menggunakan UACI. Dari penelitian ini akan dilihat performa algoritma SIMON dalam pengamanan citra digital dan membandingkannya dengan algoritma vigenere cipher.

Penelitian dilakukan [7] untuk mengamankan citra digital menggunakan vigenere cipher menujukkan ukuran cipher image yang lebih besar rata-rata sebesar 33.34% dibanding dengan ukuran file aslinya. Kemudian [8] melakukan penelitian pengamanan citra digital dengan menggunakan algoritma vigenere cipher dan one time pad, penelitian hanya berfokus pada keberhasilan dalam mengenkripsi citra digital dan belum adanya pengujian keacakan citra digital yang digunakan untuk menguji keamanan citra digital hasil enkripsi.

Penelitian mengenai kriptografi menggunakan Algoritma SIMON pernah dilakukan oleh [5], yang membahas mengenai enkripsi dekripsi berbasis QR Code menggunakan algoritma SIMON. Hasil kinerja waktu proses enkripsi menunjukan total waktu key expansion 5,3 detik. Total waktu enkripsi 4,7 detik. Proses dekripsi meliputi total waktu key expansion 5,3 detik. Waktu proses dekripsi 2,1 detik. Penelitian selanjutnya pernah dilakukan oleh [9], Pada penelitian ini menjelaskan bahwa Algoritma SIMON dapat diterapkan pada arsitektur Amazon Web Services untuk mengamankan data yang akan dikirim. Pada pengujian variasi file, hasil yang didapatkan adalah algoritma SIMON dapat mengenkripsi file dengan ekstensi: .txt, .docx, .pdf, .png, .jpg, .mp3, .m4a, .mp4 dan .mkv dan Algoritma SIMON memiliki tingkat kemanan yang baik terhadap setiap jenis file yang telah diuji.

## 2. METODE PENELITIAN

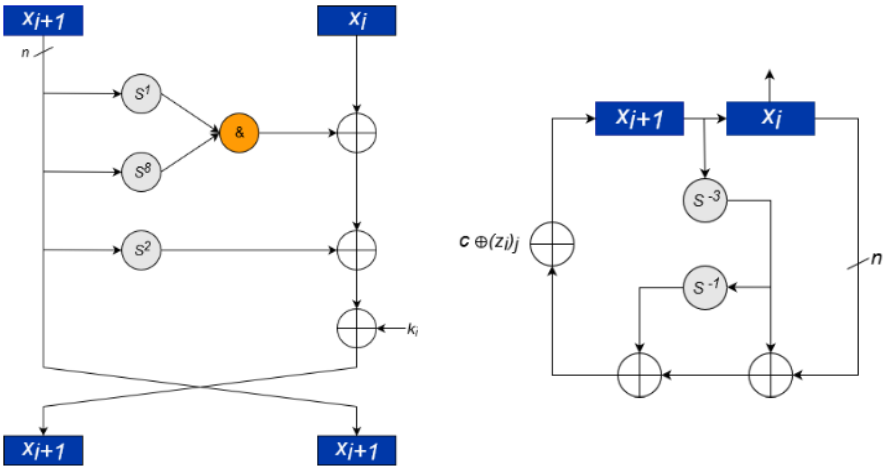
### 2.1. Algoritma SIMON

Algoritma SIMON termasuk dalam kategori block cipher yang cocok untuk aplikasi atau perangkat dengan sumber daya yang terbatas. Algoritma ini memanfaatkan operasi perhitungan seperti XOR, AND, Shift register dan memiliki 10 macam versi berdasarkan ukuran block size maupun key size yang menjadi keunggulan [5]. Pada Tabel 1 merupakan parameter yang terdapat pada Algoritma SIMON yaitu penentuan jumlah panjang block, panjang key, panjang word, panjang key word, panjang urutan dan jumlah round.

**Tabel 1.** Parameter algoritma SIMON

| *Block size* | *Key size* | *Word size* | *Keyword size* | *Sequence* | *Round size* |
|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 64 | 16 | 4 | $Z_0$ | 32 |
| 48 | 72 | 24 | 3 | $Z_0$ | 36 |
| | 96 | | 4 | $Z_1$ | 36 |
| 64 | 96 | 32 | 3 | $Z_2$ | 42 |
| | 128 | | 4 | $Z_3$ | 44 |
| 96 | 96 | 48 | 2 | $Z_2$ | 52 |
| | 144 | | 3 | $Z_3$ | 54 |
| 128 | 128 | 64 | 2 | $Z_2$ | 68 |
| | 192 | | 3 | $Z_3$ | 69 |
| | 256 | | 4 | $Z_4$ | 72 |

Representasi pembentukan round function pada proses dekripsi dengan melakukan kebalikan dari round function pada proses enkripsi. Pada Algoritma SIMON terdapat dua proses utama dalam mengenkripsi dan dekripsi yaitu *round function* dan *key schedule* dapat dilihat pada Gambar 1.




**Gambar 1.** Round function algoritma SIMON and key schedule

Pembentukan round function pada proses enkripsi dan dekripsi didefinisikan sebagai berikut:

$$R_k(x,y) = (y \oplus f(x) \oplus k, x) \quad (1)$$

$$R_k^{-1}(x,y) = (y, x \oplus f(y) \oplus k) \quad (2)$$

Penjadwalan kunci algoritma SIMON menggunakan konstanta ronde untuk mengeliminasi slide properties dan circular shift symmetries yang terjadi saat proses enkripsi maupun dekripsi. Penjadwalan kunci pada algoritme SIMON tergantung pada pasangan ukuran blok dan kunci, seperti yang terlihat pada persamaan:

$$c \oplus (zj) \oplus ki \oplus (I \oplus S-1) -3ki+1 \quad (3)$$

$$c \oplus (zj) \oplus ki \oplus (I \oplus S-1) -3ki+2\,, \quad (4)$$

$$c \oplus (zj) \oplus ki \oplus (I \oplus S-1)(S-3ki+2 \oplus ki+1) \quad (5)$$

2.2. *Unified Averaged Changed Intensity (UACI)*

Makin banyak nilai pixel yang berubah maka makin bagus kualitas keacakan yang dihasilkan pada tiap kali enkripsi dilakukan. Analisis dilakukan dengan membandingkan antara citra asli sebelum dilakukan proses apapun dan hasil enkripsinya. Analisis UACI digunakan untuk menghitung rata-rata perubahan intensitas setiap pixel [10]. 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` adalah dua citra yang berbeda, secara berurutan I(x,y, z) dan I`(x,y, z) adalah nilai piksel citra I dan I` pada baris ke-x, kolom ke-y dan kanal ke-z. Kemudian juga misal D adalah array bipolar dengan nilai 0 atau 1 [11]. Sehingga formula UACI dapat dinyatakan sebagai berikut [12].

$$\text{UACI} = \frac{\sum_{i,j}|C_1(i,j) - C_2(i,j)|}{255 \times T} \times 100\% \quad (6)$$

Secara teori, nilai minimum yang baik pada indikator NPCR adalah sebesar 99,6094% dan pada indikator UACI sebesar 33,4635%. Sedangkan menurut Boriga, dkk. nilai pada indikator NPCR dapat dikatakan tahan terhadap serangan diferensial pada nilai minimal 98,87% dan pada indikator UACI sebesar minimal 32,17% [10].

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk melihat kinerja algoritma SIMON dari segi waktu, ukuran cipher image yang dihasilkan. Kinerja algoritma SIMON juga dibandingkan dengan algoritma vigenere cipher. Berdasarkan percobaan yang dilakukan pada sepuluh file yang berbeda-beda baik dari segi ukuran file maupun dimensi menunjukkan bahwa proses enkripsi dilakukan dengan cepat dan membutuhkan waktu kurang dari 3 detik. Begitu pula dengan waktu yang digunakan untuk proses dekripsi yang tak terpaut jauh dengan proses enkripsi yaitu kurang dari 5 detik diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan waktu proses enkripsi dan dekripsi

| No | Nama File | Dimensi | Lama Enkripsi | Lama Dekripsi |
|---|---|---|---|---|
| **1.** | jpeg1.jpg | 1280 x 853 | 1690 ms | 2590 ms |
| **2.** | jpeg2.jpg | 1280 x 870 | 1310 ms | 2060 ms |
| **3.** | jpeg3.jpg | 1920 x 1080 | 630 ms | 1100 ms |
| **4.** | jpeg4.jpg | 1280 x 854 | 2160 ms | 3340 ms |
| **5.** | jpeg5.jpg | 2480 x 1388 | 2930 ms | 4640 ms |
| **6.** | 1024px.png | 1024 x 1024 | 641ms | 496ms |
| **7.** | 768px.png | 768 x 768 | 656ms | 455ms |
| **8.** | 600px.png | 600 x 600 | 319ms | 317ms |
| **9.** | 480px.png | 480 x 480 | 246ms | 255ms |
| **10.** | 240px.png | 240 x 240 | 109ms | 125ms |

Pengujian berikutnya dilakukan untuk melihat ukuran file cipher image yang dihasilkan dari algoritma SIMON. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan ukuran file citra digital asli atau disebut dengan plain image dengan hasil enkripsi atau file cipher image. Pengujian yang dilakukan pada sepuluh file citra digital yang berbeda-beda baik dari segi ukuran file maupun dimensi menunjukkan bahwa terjadi penambahan ukuran file cipher image dengan rata-rata sebesar 33%. Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perbandingan ukuran plain image dan cipher image

| No | Nama File | Dimensi | Ukuran File Asli | Ukuran File Cipher Image |
|---|---|---|---|---|
| **1.** | jpeg1.jpg | 1280 x 853 | 239 Kb | 318 Kb |
| **2.** | jpeg2.jpg | 1280 x 870 | 180 Kb | 241 Kb |
| **3.** | jpeg3.jpg | 1920 x 1080 | 89 Kb | 118 Kb |
| **4.** | jpeg4.jpg | 1280 x 854 | 309 Kb | 413 Kb |
| **5.** | jpeg5.jpg | 2480 x 1388 | 401 Kb | 535 Kb |
| **6.** | 1024px.png | 1024 x 1024 | 41Kb | 54Kb |
| **7.** | 768px.png | 768 x 768 | 39Kb | 53Kb |
| **8.** | 600px.png | 600 x 600 | 29,5Kb | 39,4Kb |
| **9.** | 480px.png | 480 x 480 | 22Kb | 30,1Kb |
| **10.** | 240px.png | 240 x 240 | 10Kb | 13,3Kb |

Pengujian berikutnya adalah tingkat keacakan file dengan analisis diferensial UACI. UACI adalah formula untuk melakukan analisis diferensial dari dua buah citra. UACI digunakan untuk mengetahui seberapa besar interval perbedaan nilai piksel dari kedua citra. Hasil percobaan menunjukkan nilai UACI yang diperoleh dari cipher image algoritma SIMON didapatkan rata rata hasil sebesar 18,94%. Berdasarkan teori analisis diferensial [10], cipher image yang dihasilkan dapat dikatakan kurang baik terhadap serangan diferensial. Hasil perhitungan UACI dipaparkan pada Table 4.

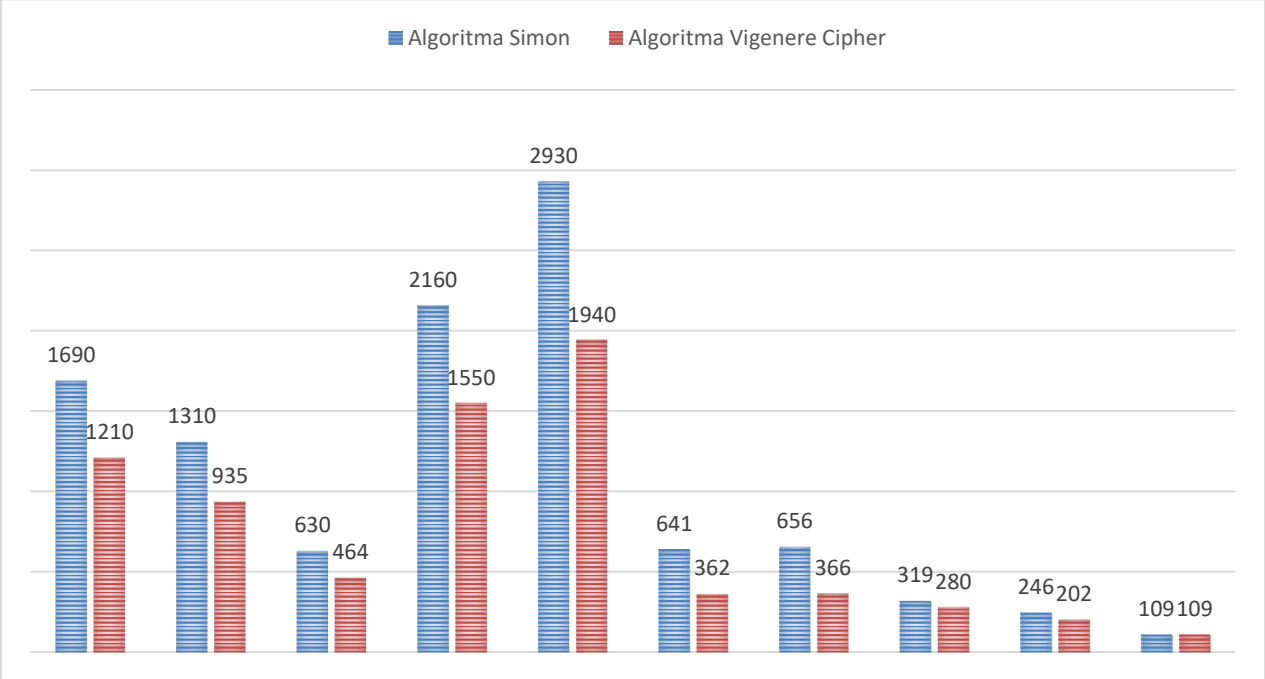
**Tabel 4.** Pengujian tingkat keacakan cipher image menggunakan UACI

| No | Nama File | Nilai UACI |
|---|---|---|
| **1.** | jpeg1.jpg | 6,3 % |
| **2.** | jpeg2.jpg | 7,5 % |
| **3.** | jpeg3.jpg | 9,4 % |
| **4.** | jpeg4.jpg | 5,5 % |
| **5.** | jpeg5.jpg | 4,7 % |
| **6.** | 1024px.png | 49,2 % |
| **7.** | 768px.png | 32,2 % |
| **8.** | 600px.png | 25,0 % |
| **9.** | 480px.png | 24,8 % |
| **10.** | 240px.png | 24,8 % |

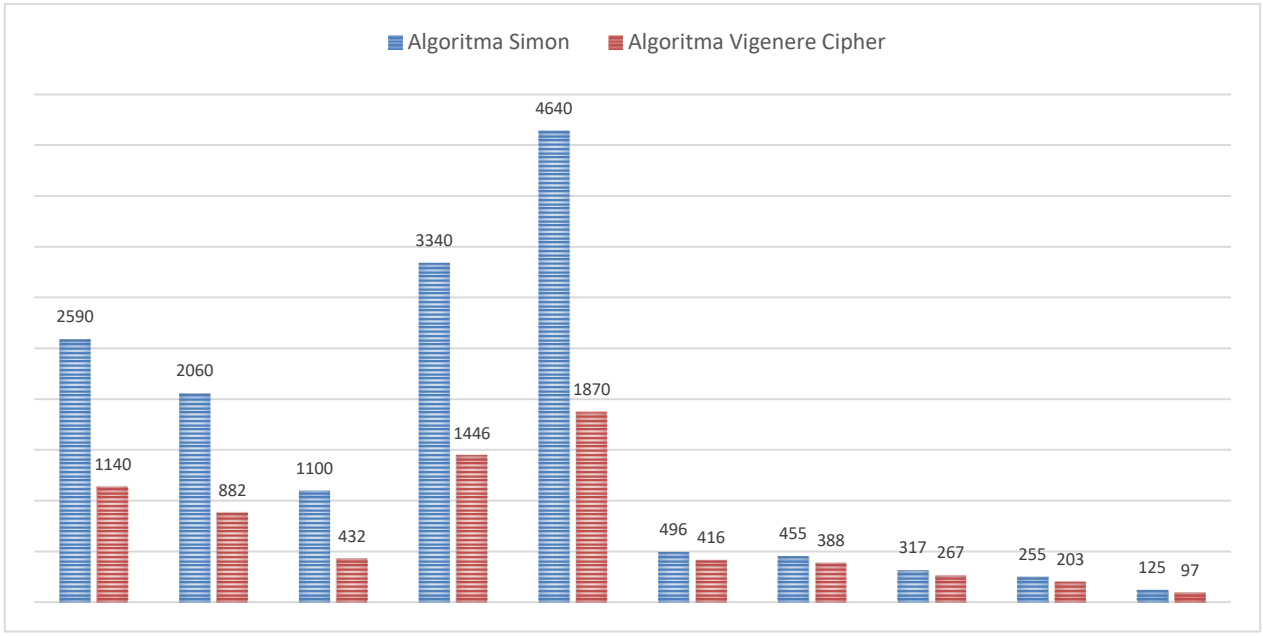
Pengujian berikutnya dilakukan dengan membandingkan kinerja algoritma SIMON dengan vigenere cipher. Adapun proses perbandingan yang dilakukan ialah membandingkan kinerja waktu dan perubahan ukuran file cipher image yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu Riadi pada tahun 2022 [7] yang dipaparkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Perbandingan waktu dan ukuran gambar antara algoritma SIMON dan Vigenere Cipher

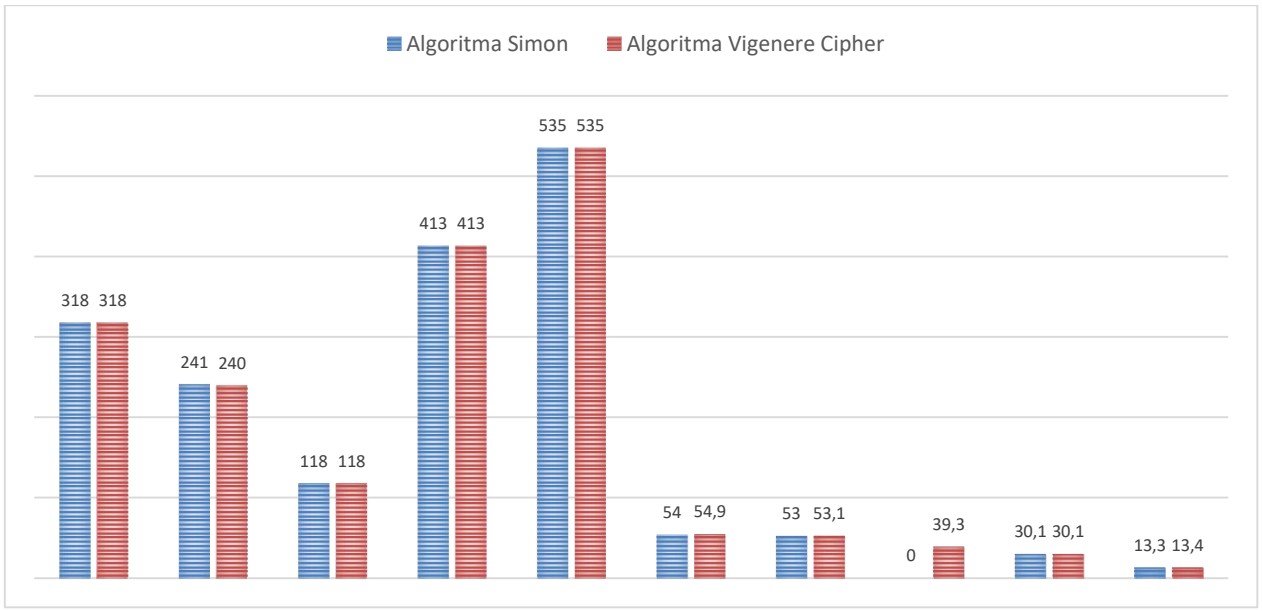
| No | Filename | SIMON | | | Vigenere Cipher | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Encryption time | Decryption time | Cipher image size | Encryption time | Decryption time | Cipher image size |
| **1.** | jpeg1.jpg | 1690 ms | 2590 ms | 318 Kb | 1211 ms | 1140 ms | 318 Kb |
| **2.** | jpeg2.jpg | 1310 ms | 2060 ms | 241 Kb | 935 ms | 882 ms | 240 Kb |
| **3.** | jpeg3.jpg | 630 ms | 1100 ms | 118 Kb | 464 ms | 432 ms | 118 Kb |
| **4.** | jpeg4.jpg | 2160 ms | 3340 ms | 413 Kb | 1550 ms | 1446 ms | 413 Kb |
| **5.** | jpeg5.jpg | 2930 ms | 4640 ms | 535 Kb | 1940 ms | 1870 ms | 535 Kb |
| **6.** | 1024px.png | 641 ms | 496 ms | 54 Kb | 362 ms | 416 ms | 54,9Kb |
| **7.** | 768px.png | 656 ms | 455 ms | 53 Kb | 366 ms | 388 ms | 53,1Kb |
| **8.** | 600px.png | 319 ms | 317 ms | 39,4 Kb | 280 ms | 267 ms | 39,3Kb |
| **9.** | 480px.png | 246 ms | 255 ms | 30,1 Kb | 202 ms | 203 ms | 30,1Kb |
| **10.** | 240px.png | 109ms | 125ms | 13,3Kb | 109ms | 97ms | 13,4Kb |




**Gambar 2.** Grafik perbandingan waktu yang dibutuhkan selama proses enkripsi antara algoritma SIMON dan Vigenere Cipher




**Gambar 3.** Grafik perbandingan waktu yang dibutuhkan selama proses dekripsi antara algoritma SIMON dan Vigenere Cipher




**Gambar 4.** Grafik perbandingan ukuran cipher image antara algoritma SIMON dan Vigenere Cipher

Dari grafik perbandingan dapat dilihat bahwa algoritma vigenere cipher lebih cepat daripada algoritma SIMON dalam proses enkripsi dan dekripsi citra digital. Algoritma vigenere cipher memakan waktu enkripsi rata-rata 121 ms dan waktu dekripsi 115 ms sedangkan algoritma SIMON memiliki rata rata waktu enkripsi 1,7 s dan waktu dekripsi 2,7 s. Perubahan ukuran file cipher image antara algoritma SIMON dan vigenere hampir sama yaitu meningkat sebesar 36% lebih besar jika dibandingan dengan ukuran file aslinya.

## 4. KESIMPULAN

Performa algoritma SIMON dalam pengamanan citra digital menghasilkan rata rata waktu enkripsi selama 969 ms dan rata rata waktu dekripsi 1537 ms. Algoritma SIMON membutuhkan waktu yang lebih lama untuk proses enkripsi dan dekripsi jika dibandingan dengan algoritma vigenere. Cipher image hasil enkripsi algoritma SIMON memiliki ukuran yang lebih besar dari file aslinya sebesar 36%. Namun jika dibandingkan dengan cipher image hasil enkripsi algoritma vigenere tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Nilai UACI yang diperoleh dari cipher image algoritma SIMON didapatkan rata-rata hasil sebesar 18,94%. Berdasarkan teori analisis diferensial dapat dikatakan nilai tersebut masih rentan serangan diferensial. Hal ini didasarkan pada nilai UACI yang belum memenuhi nilai batas minimal yaitu sebesar 33%.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. H. A. Sinaga and L. Sitorus, "Pengamanan File Citra Digital Dengan Menggunakan Metode Least Significant Bit Dan End Of File," *J. Tek. Inform. Unika St. Thomas*, vol. 02, no. 02, pp. 33–41, 2017.
[2] N. Wulandari, "Pengamanan Citra Digital Menggunakan Algoritma Block Cipher OE-CK-RKH," *Inf. dan Teknol. Ilm.*, vol. 4, no. 1, 2020.
[3] T. S. Permana, C. A. Sari, E. H. Rachmawanto, D. R. I. M. Setiadi, and E. R. Subhiyakto, "Implementasi Pengamanan Citra Digital Berbasis Metode Kriptografi Vernam Cipher," *Techno.Com*, vol. 16, no. 4, pp. 337–347, 2017, doi: 10.33633/tc.v16i4.1267.
[4] D. H. Pane, "Implementasi Kriptografi Keamanan Data Resi Pada Pt Jne Perbaungan Menggunakan Metode Merkle Hellman," *Device J. Inf. Syst. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–10, 2020, doi: 10.46576/device.v1i1.695.
[5] N. P. R. N. Asta, A. Kusyanti, and K. Amron, "Implementasi Algoritme SIMON untuk Enkripsi dan Dekripsi Berbasis QR Code," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 11, pp. 10721–10728, 2019.
[6] M. Zunaidi and S. Suharsil, "Pengamanan Citra Digital Menggunakan Kombinasi Antara Algoritma AES Dan Metode LSB," *J-SISKO TECH J. Teknol. Sist. Inf. dan Sist. Komput. TGD*, vol. 1, no. 2, pp. 36–50, 2018.
[7] Imam Riadi, Abdul Fadlil, and Fahmi Auliya Tsani, "Pengamanan Citra Digital Berbasis Kriptografi Menggunakan Algoritma Vigenere Cipher," *JISKA (Jurnal Inform. Sunan Kalijaga)*, vol. 7, no. 1, pp. 33–45, 2022, doi: 10.14421/jiska.2022.7.1.33-45.
[8] R. Maria, U. Br, A. Fauzi, H. Sembiring, and S. Utara, "Kombinasi Algoritma Vigenere Cipher Dan One Time Pad Pada Keamanan Citra Digital," *J. Inform. Kaputama*, vol. 5, no. 1, pp. 137–146, 2021.
[9] S. Ginata, A. Kusyanti, and R. Primananda, "Implementasi Algoritme Kriptografi Simon Pada Arsitektur Amazon Web Services," *... Teknol. Inf. dan Ilmu ...*, vol. 3, no. 8, pp. 7888–7897, 2019.
[10] G. F. Fitriana, L. N. Hidayati, and ..., "Perbandingan Keacakan Citra Enkripsi Algoritma AES dan Camelia Uji NPCR dan UACI," *JURIKOM (Jurnal Ris. ...*, vol. 8, no. 6, pp. 274–283, 2021, doi: 10.30865/jurikom.v8i6.3624.
[11] A. Riski, A. Kamsyakawuni, and M. Z. Arif, "Implementasi Vigenere Cipher Pada Pendahuluan Citra Digital," vol. 02, no. 01, pp. 23–30, 2018.
[12] K. A. Santoso, A. Kamsyakawuni, and M. Seggaf, "Medical Image Encryption Using Dna Encoding and Modified Circular Shift," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 16, no. 1, pp. 235–242, 2022, doi: 10.30598/barekengvol16iss1pp233-240.