

Image Watermarking Menggunakan Metode Henon-Map dan AES-256 Bit

Yoyok Darmanto

Program Studi Teknik Informatika S-2, Universitas Pamulang

e-mail: yoyok.darmanto@bssn.go.id

Abstrak—Seiring dengan meningkatnya penyebaran informasi gambar, ancaman terhadapnya juga semakin besar. Sehingga perlindungan data menjadi prioritas utama, terutama pada teknik watermarking citra. Makalah ini membahas penerapan metode Discrete Wavelet Transform (DWT), Singular Value Decomposition (SVD), serta enkripsi Henon Map dan AES untuk menyisipkan watermark pada citra digital secara aman. Proses dimulai dengan dekomposisi citra host menggunakan kombinasi DWT dan SVD, diikuti oleh enkripsi watermark menggunakan Henon Map dan AES. Prosedur penyisipan dan ekstraksi watermark diuraikan, bersama dengan pengukuran kualitas citra yang mencakup PSNR, NC, dan AR. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam menyisipkan dan melindungi watermark dengan PSNR sebesar 31,81 dB, nilai NC sebesar 1, dan AR sebesar 90,45%.

Kata Kunci— SVD, DWT, Henon Map, AES, Watermarking.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi, penyebaran informasi dalam bentuk tulisan, gambar, video, atau suara semakin meluas. Seiring dengan meningkatnya penyebaran informasi gambar, ancaman terhadapnya juga semakin besar. Oleh karena itu, penting untuk melindungi gambar sebagai hak cipta dan mencegah pembajakan. Gambar mudah dimodifikasi, diduplikasi, dan direproduksi ulang, yang membuat keamanan gambar dan privasi menjadi kekhawatiran utama dalam revolusi multimedia yang semakin berkembang. Penggunaan digital watermarking menjadi solusi untuk masalah ini [1].

Dalam penerapan image watermarking, terdapat metode domain hybrid yang menggabungkan dua atau lebih domain transformasi, seperti yang diterapkan dalam penelitian A. Alzahrani [2]. Metode ini terbukti lebih imperceptible dan lebih kuat dalam hal keamanan dan perlindungan dibandingkan dengan menggunakan satu jenis teknik saja. Oleh karena itu, penelitian ini akan membandingkan metode image watermarking berbasis domain transformasi hybrid SVD+DWT untuk mengevaluasi performa robust dari metode hybrid tersebut.

Gambar yang telah diwatermark akan dikirim melalui saluran internet, yang rentan terhadap kemungkinan serangan. Oleh karena itu, permasalahan utama yang perlu diatasi adalah transmisi, penyimpanan, dan komunikasi data digital. Beberapa metode telah dikembangkan untuk komunikasi rahasia guna melindungi informasi dari hacking, seperti kriptografi, steganografi, dan digital watermarking [3]. Kriptografi adalah teknik enkripsi dan dekripsi. Banyak enkripsi watermark berbasis chaos menggunakan peta chaos klasik seperti logistic map atau Arnold map [4], [5], [6]. Namun, jenis peta ini kurang aman karena memiliki masalah keamanan dan perilaku periodik. Penelitian J Liu et al. [7] menggunakan kombinasi DTCWT-DCT dan Henon Map dengan hasil ketahanan serangan yang baik sehingga henon map bisa menjadi pilihan dalam penelitian ini. Menurut Fkirin et al., menggunakan two-level security dengan kombinasi SVD + DWT serta AES + 2 dimensi logistic map, menghasilkan skema yang efisien dan mampu menghadapi berbagai serangan seperti Gaussian, Blur, Wrap, dan Cropping[3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan keamanan dua tingkat pada gambar grayscale melalui kombinasi teknik watermarking dan enkripsi. Tingkat pertama menggunakan teknik watermarking seperti SVD, DWT, atau gabungan SVD+DWT, sedangkan tingkat kedua melibatkan enkripsi menggunakan AES-256 yang dikombinasikan dengan metode enkripsi berbasis Henon Map yang dianalisis berdasarkan hasil pengujian PSNR, NC, dan AR untuk menganalisis performa terbaik dalam aspek robustness dan imperceptibility.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Discrete Wavelet Transform (DWT)

Discrete Wavelet Transform (DWT) adalah suatu teknik transformasi yang digunakan untuk menganalisis sinyal atau data dengan memecahnya menjadi komponen frekuensi yang berbeda menggunakan filter bank. DWT mengubah sinyal menjadi representasi yang lebih sederhana dengan memisahkan informasi yang ada pada berbagai skala atau resolusi. Proses ini dilakukan dengan menerapkan filter lowpass dan bandpass pada sinyal, menghasilkan koefisien yang menggambarkan komponen

frekuensi rendah dan tinggi dari sinyal tersebut. DWT banyak digunakan dalam pemrosesan sinyal, kompresi data, dan analisis gambar karena kemampuannya untuk menangani sinyal dengan variasi lokal dalam waktu dan frekuensi. [8].

B. Singular Value Decomposition (SVD)

Singular Value Decomposition (SVD) adalah metode faktorisasi matriks penting yang digunakan untuk berbagai tujuan, seperti memperoleh pendekatan peringkat rendah dan menyelesaikan sistem persamaan. SVD juga merupakan dasar dari analisis komponen utama (PCA) untuk mengurai data berdimensi tinggi menjadi faktor-faktor statistik utama. SVD lebih fleksibel dan berbasis data dibandingkan dengan FFT, yang bekerja dalam pengaturan ideal. Seringkali, data yang dihasilkan oleh sistem kompleks memiliki peringkat rendah, dan SVD adalah metode yang efisien untuk mengidentifikasi pola-pola dominan dalam data tersebut [9].

C. Henon Map

Henon map adalah sistem dinamis yang digunakan untuk menggambarkan perilaku chaos dalam matematika, terutama dalam bidang teori chaos. Henon Map merupakan peta iteratif dua dimensi yang menghasilkan serangkaian titik berdasarkan dua parameter, yaitu koefisien a dan b . Rumus Henon map adalah

$$x_{n+1} = 1 - \alpha x_n^2 + y_n \quad (1)$$

$$y_{n+1} = \beta x_n \quad (2)$$

di mana x_n dan y_n adalah koordinat pada langkah ke- n . Ketika nilai parameter a dan b disesuaikan, Henon Map dapat menghasilkan pola yang sangat sensitif terhadap kondisi awal, yang menjadi ciri khas dari sistem chaos. Henon map sering digunakan dalam simulasi sistem dinamis dan analisis chaos [10].

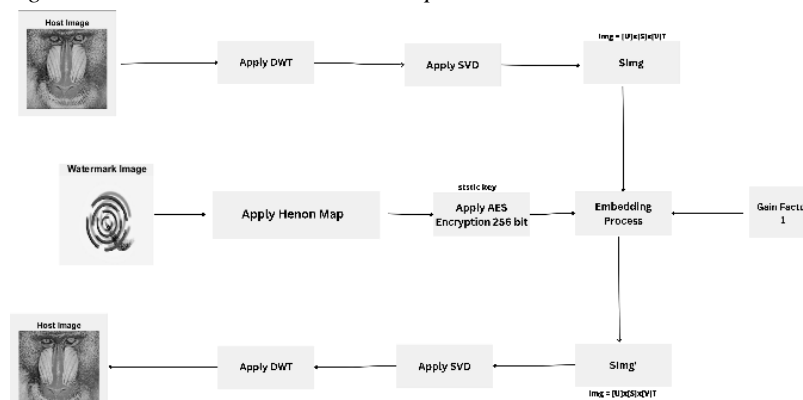
D. AES-256 Bit

AES (Advanced Encryption Standard) adalah algoritma enkripsi simetris yang digunakan untuk mengamankan data elektronik. AES ditetapkan oleh National Institute of Standards and Technology (NIST) melalui dokumen FIPS 197 pada tahun 2001 sebagai standar enkripsi yang aman dan efisien. AES menggunakan kunci dengan panjang 128, 192, atau 256 bit dan beroperasi dalam blok data berukuran 128 bit. Proses enkripsi AES terdiri dari serangkaian langkah, termasuk penggantian byte (substitution), penggeseran baris (shift rows), pencampuran kolom (mix columns), dan penambahan kunci (add round key). AES memiliki sejumlah putaran (rounds) yang bervariasi tergantung panjang kunci yang digunakan: 10 putaran untuk kunci 128-bit, 12 putaran untuk 192-bit, dan 14 putaran untuk 256-bit. AES dikenal karena keamanannya, efisiensinya, dan ketahanannya terhadap serangan kriptanalisis, menjadikannya standar yang banyak digunakan untuk enkripsi data dalam berbagai aplikasi, termasuk komunikasi, penyimpanan, dan transaksi digital [11].

III. METODOLOGI

Penelitian ini mengusulkan metode watermarking berbasis kombinasi SVD, DWT, Henon Map, dan AES untuk meningkatkan keamanan dan ketahanan watermark. SVD dan DWT digunakan untuk menyisipkan watermark pada domain frekuensi yang lebih stabil terhadap serangan, sementara Henon Map menghasilkan pola acak untuk meningkatkan keunikan dan AES melindungi watermark dengan enkripsi. Metode ini akan dievaluasi dan dibandingkan dengan metode lain berdasarkan parameter PSNR, NC, dan AR untuk menilai kualitas visual, ketahanan, dan kemampuan pemulihan watermark.

A. Watermarking Embedding Scheme with SVD-DWT-Henon Map-AES



Gambar 1 Embedding Scheme

1) Pengolahan Gambar Host

Gambar host, dalam penelitian ini berupa gambar "baboon", diubah menjadi tipe grayscale dan diubah ukurannya menjadi matriks 256×256 dengan tipe data double dari ukuran asli matriks 512×512 bertipe uint8. Selanjutnya, dilakukan transformasi wavelet dua tingkat (2-level DWT) pada gambar host untuk menghasilkan subband sebagai berikut:

$$[LL1, HL1, LH1, HH1] = \text{dwt2}(\text{host}) \quad (3)$$

$$[LL2, HL2, LH2, HH2] = \text{dwt2}(LL1) \quad (4)$$

LL2 merupakan subband hasil transformasi yang akan digunakan untuk proses embedding watermark.

2) Penerapan Teknik SVD pada LL2

LL2 dibagi menjadi tiga matriks menggunakan dekomposisi SVD:

$$[Uy, Sy, Vy] = \text{svd}(LL2) \quad (5)$$

3) Pengolahan Gambar Watermark

Gambar watermark yang berwarna diubah menjadi grayscale. Gambar tersebut diacak menggunakan algoritma Henon Map untuk meningkatkan keamanan. Gambar watermark yang telah diacak kemudian dienkripsi menggunakan algoritma AES 256 sebagai bagian dari two-level security. Gambar watermark yang telah diproses dibagi menjadi tiga matriks menggunakan dekomposisi SVD:

$$[Uw, Sw, Vw] = \text{svd}(\text{watermark}) \quad (6)$$

dan dihitung matriks S baru:

$$S_New = Sy + (\alpha * Sw) \quad (7)$$

4) Rekonstruksi dan Inverse DWT

Subband LL2 direkonstruksi menggunakan matriks S baru:

$$LL2_1 = Uy * S_New * Vy' \quad (8)$$

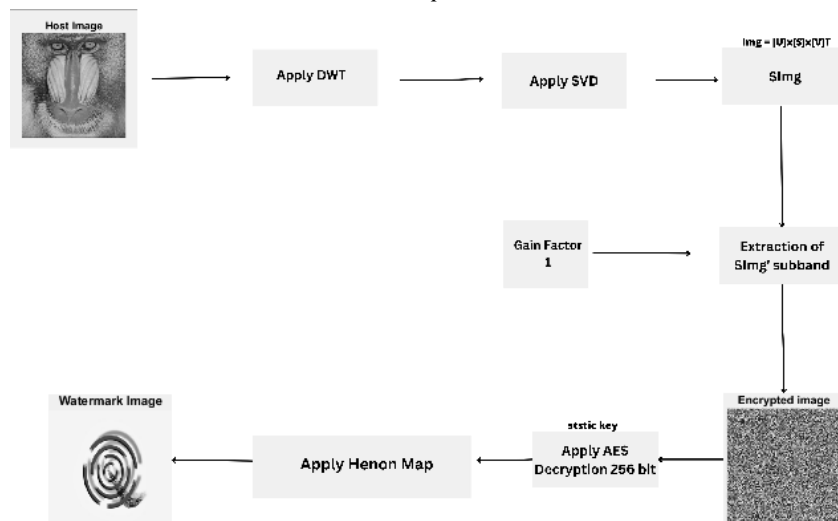
Transformasi wavelet inverse diterapkan untuk memperoleh gambar host yang telah disisipkan watermark:

$$LL1_1 = \text{idwt2}(LL2_1, HL2, LH2, HH2) \quad (9)$$

$$WI = \text{idwt2}(LL1_1, HL1, LH1, HH1) \quad (10)$$

Hasil akhirnya adalah gambar host dengan watermark yang telah disisipkan.

B. Watermarking Extraction Scheme with SVD-DWT-Henon Map-AES



Gambar 2 Extraction Scheme

1) Transformasi Wavelet

Gambar host dengan watermark dibagi menjadi empat subband menggunakan transformasi wavelet dua tingkat:

$$[LL1W, HL1W, LH1W, HH1W] = \text{dwt2}(WI) \quad (11)$$

$$[LL2W, HL2W, LH2W, HH2W] = dwt2(LL1W) \quad (12)$$

2) Penerapan Teknik SVD

Subband LL2W dibagi menjadi tiga matriks menggunakan dekomposisi SVD:

$$[Uy_W, SW, Vy_W] = svd(LL2W) \quad (13)$$

3) Ekstraksi Watermark

Gambar watermark yang masih terenkripsi diekstrak menggunakan persamaan berikut:

$$W_NEW = U_w * SW * V_w' \quad (14)$$

Gambar watermark yang telah diekstrak masih dalam keadaan terenkripsi oleh algoritma Henon Map dan AES 256.

4) Dekripsi dan Descrambling

Gambar watermark didekripsi menggunakan AES 256 dan di-descrambling menggunakan algoritma Henon Map untuk menghasilkan gambar watermark yang asli.

C. Parameter Evaluasi

PSNR: Salah satu aspek penting dalam metode watermarking adalah imperceptibility, yang merujuk pada sejauh mana watermark tidak terlihat pada gambar. Aspek ini diukur dengan menggunakan nilai PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) yang dihitung dalam satuan dB. PSNR digunakan untuk menilai kualitas gambar setelah diterapkan noise atau serangan [12]. Secara matematis, PSNR dapat dihitung dengan rumus berikut[13]:

$$PSNR = 10 \times \log \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (15)$$

NC: Aspek penting lainnya dalam metode watermarking adalah robustness, yaitu kemampuan metode tersebut untuk mempertahankan informasi watermark meskipun gambar terpapar noise atau serangan. Dalam penelitian ini, parameter NC digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan antara gambar watermark hasil ekstraksi akhir dengan gambar watermark asli. Semakin mendekati nilai NC ke angka 1, semakin tinggi tingkat kemiripan antara kedua gambar tersebut. Nilai NC dapat dihitung dengan rumus berikut[13]:

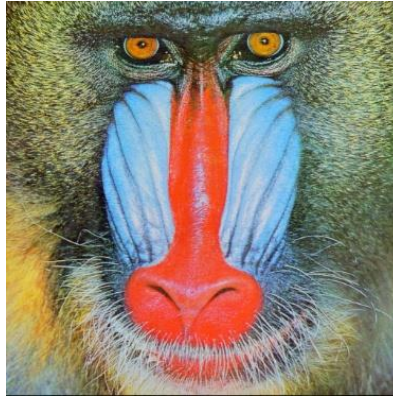
$$NC = \frac{\sum_i w_i w_i^*}{\sum_i w_i^2} \quad (16)$$

AR: Parameter AR digunakan untuk mengevaluasi akurasi antara metode watermarking yang diterapkan. AR menghitung tingkat kecocokan antara gambar watermark hasil ekstraksi dengan gambar watermark asli dalam bentuk persentase. Semakin tinggi persentase yang dihasilkan, semakin akurat perbandingan kedua gambar tersebut. Nilai AR dihitung dengan rumus berikut[13]:

$$AR = \left(\frac{\text{No.of pixels in processed image}}{\text{No.of pixels in original image}} \right) \times 100\% \quad (17)$$

IV. PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, gambar baboon.png berformat RGB digunakan sebagai gambar host (host image). Gambar ini memiliki dimensi 512x512x3 yang kemudian dikonversi menjadi gambar grayscale berukuran 512x512 untuk memudahkan proses penyisipan watermark. Sebagai watermark, digunakan gambar logo bertuliskan huruf "Q", juga berformat RGB dengan dimensi asli 512x512x3, yang dikonversi menjadi gambar grayscale dengan ukuran yang sama sebelum disisipkan ke dalam gambar host. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas hasil watermarking dengan mengukur parameter analisis berupa Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) untuk membandingkan gambar host yang telah tersisipkan watermark dengan gambar host asli. Selain itu, analisis juga dilakukan terhadap hasil ekstraksi watermark, dengan menghitung nilai Normalized Correlation (NC) untuk mengevaluasi tingkat kesamaan watermark hasil ekstraksi dengan watermark awal, serta Accuracy Rate (AR) untuk mengukur tingkat keberhasilan proses ekstraksi watermark secara keseluruhan.



Gambar 3 Baboon.png



Gambar 4 Q.png

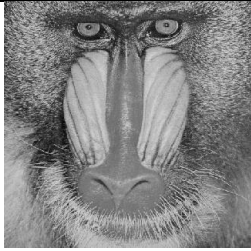


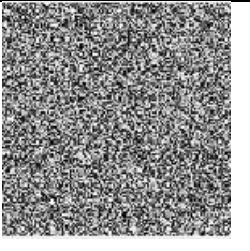
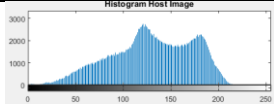
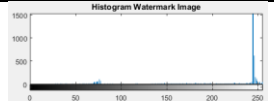
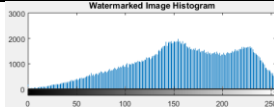
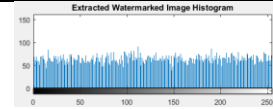
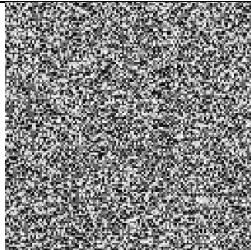
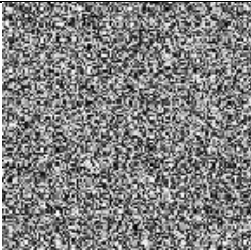
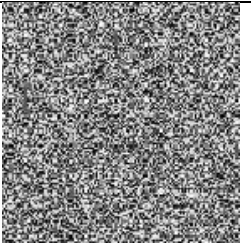

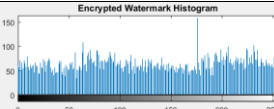
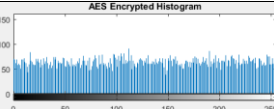
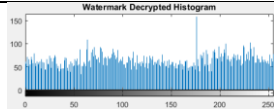
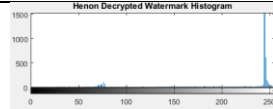
Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode watermarking berbasis SVD-DWT-Henon Map-AES menghasilkan performa yang baik dalam aspek kualitas gambar dan keamanan data. Berdasarkan PSNR yang dihasilkan sebesar 31.8112 dB berada dalam rentang kualitas yang diterima untuk aplikasi watermarking. Nilai ini menunjukkan bahwa gambar host setelah disisipkan watermark masih memiliki kualitas visual yang baik dan dapat diterima oleh mata manusia.

Hasil ekstraksi watermark menunjukkan nilai NC sebesar 1, yang berarti watermark yang diekstraksi identik dengan watermark asli. Hal ini membuktikan bahwa algoritma yang digunakan sangat efektif dalam mempertahankan integritas watermark selama proses embedding dan ekstraksi. Proses enkripsi dan pengacakan watermark menggunakan algoritma AES 256 dan Henon Map memberikan tingkat keamanan yang tinggi. Kombinasi ini memastikan bahwa watermark sulit untuk diserang atau direkonstruksi tanpa kunci enkripsi yang tepat.

Nilai AR yang diperoleh adalah 90.4480%, yang menunjukkan tingkat keberhasilan tinggi dalam autentikasi watermark meskipun terdapat kemungkinan kehilangan informasi selama proses embedding dan ekstraksi. Hal ini menegaskan bahwa metode ini robust terhadap berbagai serangan atau gangguan. Penggunaan SVD dan DWT secara bersamaan memungkinkan watermark disisipkan pada subband frekuensi rendah, yang lebih tahan terhadap kompresi dan serangan. Metode ini juga memanfaatkan properti singular value yang stabil terhadap gangguan. Integrasi Henon Map dan AES memberikan dua lapisan keamanan, menjadikan watermark lebih sulit untuk diakses atau diubah oleh pihak yang tidak berwenang.

Metode yang diusulkan ini memiliki implikasi signifikan untuk aplikasi yang membutuhkan keamanan dan kualitas visual tinggi, seperti perlindungan hak cipta digital atau autentikasi dokumen. Nilai NC dan AR yang tinggi menunjukkan bahwa metode ini dapat diandalkan dalam menjaga integritas data bahkan dalam kondisi lingkungan yang tidak ideal. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode watermarking berbasis SVD-DWT-Henon Map-AES mampu menghasilkan performa yang unggul dalam aspek kualitas, keamanan, dan keandalan. Namun, pengujian lebih lanjut terhadap berbagai jenis serangan dan variasi parameter diperlukan untuk memastikan generalisasi metode ini dalam kondisi dunia nyata.

Tabel 1 Hasil SVD-DWT-Henon Map-AES

Host Image	Watermark Image	Watermarked Image	Extracted Watermarked Image
			
			
Henon Encrypt Watermark	Encrypted Watermark	Watermark Decrypted	Henon Decrypt Watermark
			
			

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan metode watermarking berbasis SVD-DWT-Henon Map-AES untuk melindungi informasi digital. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode ini mampu menghasilkan PSNR sebesar 31.8112 dB, yang mengindikasikan bahwa kualitas visual gambar setelah proses embedding watermark tetap terjaga. Selain itu, nilai NC sebesar 1 membuktikan bahwa watermark yang diekstraksi identik dengan watermark asli, menegaskan efektivitas metode ini dalam menjaga integritas watermark. Penggunaan algoritma Henon Map dan AES 256 memberikan lapisan keamanan tambahan, memastikan watermark tetap terlindungi dari serangan atau akses tidak sah. Sementara itu, tingkat keberhasilan autentikasi yang diukur melalui AR mencapai 90.4480%, menunjukkan bahwa metode ini robust terhadap berbagai gangguan atau kehilangan informasi selama proses embedding dan ekstraksi.

Secara keseluruhan, metode ini efektif untuk diterapkan pada aplikasi yang membutuhkan perlindungan hak cipta digital, autentikasi dokumen, atau pengamanan data multimedia. Namun, untuk mengoptimalkan performa, pengujian lebih lanjut dengan berbagai jenis serangan dan variasi parameter diperlukan. Dengan demikian, metode yang diusulkan ini dapat menjadi solusi yang andal dalam menjaga keamanan dan kualitas data digital.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Begum and M. S. Uddin, "Analysis of Digital Image Watermarking Techniques through Hybrid Methods," *Advances in Multimedia*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/7912690.
- [2] "Retracted: Enhanced Invisibility and Robustness of Digital Image Watermarking Based on DWT-SVD," *Appl Bionics Biomech*, vol. 2023, pp. 1–1, Nov. 2023, doi: 10.1155/2023/9809482.
- [3] A. Fkirin, G. Attiya, and A. El-Sayed, "Two-level security approach combining watermarking and encryption for securing critical colored images," *Opt Quantum Electron*, vol. 53, no. 5, May 2021, doi: 10.1007/s11082-021-02875-2.
- [4] M. Alawida, A. Samsudin, J. Sen Teh, and W. H. Alshoura, "Digital Cosine Chaotic Map for Cryptographic Applications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 150609–150622, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2947561.

- [5] J. Sen Teh, M. Alawida, and Y. C. Sii, "Implementation and practical problems of chaos-based cryptography revisited," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 50, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.jisa.2019.102421.
- [6] M. Alawida, J. Sen Teh, A. Samsudin, and W. H. Alshoura, "An image encryption scheme based on hybridizing digital chaos and finite state machine," *Signal Processing*, vol. 164, pp. 249–266, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.sigpro.2019.06.013.
- [7] J. Liu, J. Li, J. Ma, N. Sadiq, U. A. Bhatti, and Y. Ai, "A robust multi-watermarking algorithm for medical images based on DTCWT-DCT and henon map," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 4, Feb. 2019, doi: 10.3390/app9040700.
- [8] R. T. Shearer, "The Discrete Wavelet Transform," Jun. 1991.
- [9] S. L. Brunton and J. N. Kutz, "Singular Value Decomposition (SVD)," in *Data-Driven Science and Engineering*, Cambridge University Press, 2019, pp. 3–46. doi: 10.1017/9781108380690.002.
- [10] T.J. Asbroek and dr. A.E. Sterk, "The Hénon Map Bachelor's Project Mathematics," 2023.
- [11] "Advanced Encryption Standard (AES)," May 2023. doi: 10.6028/NIST.FIPS.197-upd1.
- [12] Sudhanshu Suhas Gonge and Vilas M.Thakare, *Combined DWT Image Watermarking and AES Technique for Digital 2-D Image*. IEEE, 2017.
- [13] T. Rathi, R. P. Maheshwari, M. Tripathy, R. Saraswat, and X. F. Joseph, "A comparative analysis of watermarked and watermark images using DCT and SVD based multiple image watermarking," in *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, Springer Verlag, 2019, pp. 574–581. doi: 10.1007/978-3-030-15357-1_46.