

PENYISIPAN *INVISIBLE WATERMARKING* PADA CITRA GAMBAR MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET DISKRIT HAAR

Mifta Fadila¹, Syamsul Bahri², Nuzla Af'idatur Robbaniyyah^{3*}

^{1,2,3}Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Mataram, Indonesia

Korespondensi author: nuzla@unram.ac.id

ABSTRAK

Watermarking dilakukan untuk melindungi hak cipta citra digital yang dilakukan dengan menyisipkan informasi yang bersifat rahasia pada data digital baik berupa gambar, video, teks, maupun audio. Salah satu metode yang digunakan dalam menyisipkan *watermark* adalah metode transformasi wavelet diskrit (DWT) dengan filter Haar. Adapun tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui penerapan metode DWT dalam menyisipkan *watermark* pada citra gambar dan mengetahui pengaruh intensitas *watermark* terhadap jenis file dalam menentukan nilai kualitas citra yang telah disisipi *watermark*. Pada penelitian ini diperoleh hasil penerapan proses DWT dalam penyisipan *invisible watermark* dilakukan dengan mendekomposisi citra asli menjadi empat subband LL, LH, HL, HH. Penyisipan *watermark* pada subband LL dengan nilai alfa yang bervariasi antara 0.00001-0.1. Pengaruh nilai alfa berdasarkan jenis file, yaitu apabila nilai alfa semakin besar maka kualitas citra berdasarkan nilai SC (*Structural Content*) semakin kasar. Citra yang dihasilkan dari proses penyisipan *watermark* pada format .tiff menghasilkan citra yang lebih kasar sedangkan format .gif menghasilkan nilai SC yang paling kecil karena memiliki citra yang lebih tajam. Kemudian berdasarkan nilai MSE dan PSNR dihasilkan nilai yang sama untuk semua jenis file. Alfa yang semakin kecil akan menghasilkan nilai MSE yang kecil dan nilai PSNR akan semakin baik atau besar begitupun sebaliknya.

Kata kunci: Citra digital, Transformasi Wavelet Diskrit (DWT), *Watermarking*.

ABSTRACT

Watermarking is done to protect the copyright of digital images by inserting confidential information into digital data in the form of images, videos, text, or audio. One of the methods used in inserting watermarks is the discrete wavelet transform (DWT) method with the Haar filter. The purpose of this study is to determine the application of the DWT method in inserting watermarks into image images and to determine the effect of watermark intensity on file types in determining the quality value of images that have been watermarked. In this study, the results of the application of the DWT process in inserting unknown watermarks were obtained by decomposing the original image into four subbands LL, LH, HL, HH. Watermark insertion in the LL subband with an alpha value varying between 0.00001-0.1. The effect of the alpha value is based on the file type, namely if the alpha value is greater, the image quality based on the SC (*Structural Content*) value is coarser. The image produced from the watermark insertion process in the .tiff format produces a rougher image while the .gif format produces the smallest SC value because it has a sharper image. Then based on the MSE and PSNR values, the same value is produced for all types of files. The smaller the alpha, the smaller the MSE value and the better or larger the PSNR value, and vice versa.

Keywords: Digital image, Discrete Wavelet Transform (DWT), *Watermarking*.

Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat memberikan banyak manfaat kepada masyarakat. Fitur teknologi yang diberikan memudahkan dalam mengakses dan menyebarkan informasi salah satunya penyebaran citra digital. Citra digital merupakan gambar suatu objek yang dapat diolah menggunakan komputer (Munantri dkk., 2019). Penyebaran informasi citra digital yang begitu

mudah dapat dimanfaatkan sebagai sarana bisnis dan seni komersil yang hak ciptanya perlu dilindungi. Namun, di era teknologi saat ini terdapat banyak karya digital yang digunakan secara ilegal, seperti plagiasi dan *copyright* ditambah kurang pedulinya masyarakat terhadap hak milik sebuah karya menyebabkan pelaku secara tidak sadar melakukan penyalahgunaan hak cipta (Sinaga dan Jatmoko, 2021). Oleh karena itu, perlu dilakukan perlindungan terhadap data citra digital agar tidak disalahgunakan oleh pihak lain yang tidak bertanggung jawab.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk melindungi hak cipta citra digital di era teknologi ini, yaitu dengan *watermarking*. *Watermarking* adalah teknik penyisipan atau menyembunyian informasi yang bersifat rahasia pada suatu data digital baik berupa gambar, video, teks, maupun audio (Putro dan Febriani, 2016). *Invisible Watermarking* adalah teknik penyisipan *watermark* yang tidak dapat dilihat secara visual, artinya orang lain tidak menyadari adanya *watermark* dan perbedaan antara data yang telah disisipi *watermark* dengan data yang belum disisipi *watermark* tanpa merusak citra digital yang dilindungi (Suheryadi, 2017).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dengan filter Haar. Alasan digunakan metode DWT karena memiliki kelebihan dalam mengidentifikasi bagian-bagian citra, dimana *watermark* dapat disisipkan secara efektif. Selain itu, *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dapat memberikan informasi mengenai frekuensi dan waktu terjadinya sinyal (Putra, 2010). Hal ini dilakukan dengan cara membagi sebuah dimensi sinyal menjadi dua bagian, yaitu *low pass filter* dan *high pass filter*. Adapun alasan dipilihnya domain DWT Filter Haar digunakan karena kemampuannya melakukan komputasi secara efisien dan efektif pada dimensi rendah dengan tetap mempertahankan energi sinyalnya (Primasiwi dkk., 2018).

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu untuk mengetahui penerapan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dalam menyisipkan *watermark* pada citra gambar dan mengetahui pengaruh intensitas *watermark* terhadap jenis file dalam menentukan nilai kualitas citra pada citra gambar yang telah disisipi *watermark*.

Metode Penelitian

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan yang bertujuan untuk menyisipkan *invisible watermark* ke dalam citra gambar *grayscale* sebagai salah satu cara untuk menjaga hak cipta citra gambar. Penyisipan *invisible watermark* dilakukan menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dengan filter

Haar. Citra yang telah disisipi *watermark* kemudian diukur kualitas citra gambarnya berdasarkan jenis file yang dimiliki.

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra gambar yang diambil dari situs <http://sipi.usc.edu/database/database.php>. USC-SIPI adalah salah satu organisasi penelitian di dunia yang didedikasikan untuk pengolahan gambar. Citra asli yang digunakan adalah citra *grayscale* dengan jenis file tiff, jpg, png, dan gif berukuran 1024 x 1024 piksel. *Watermark* yang digunakan berupa citra *grayscale* dengan jenis file jpg yang di desain melalui aplikasi Canva berukuran 512 x 512 piksel. Citra asli dan *watermark* yang digunakan harus berukuran $2n$. Jika data tidak berukuran $2n$, maka metode transformasi wavelet diskrit (DWT) tidak dapat digunakan.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi literatur

Studi literatur atau studi kepustakaan merupakan langkah yang penting untuk melakukan kajian data dan informasi yang berkaitan dengan topik penelitian. Dalam pencarian teori, peneliti akan mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya dari kepustakaan yang berhubungan. Sumber-sumber kepustakaan dapat diperoleh dari: buku, jurnal, majalah, hasil-hasil penelitian (tesis dan disertasi), dan sumber-sumber lainnya yang sesuai.

2. Memilih citra gambar

Citra gambar yang dipilih diambil dari situs <http://sipi.usc.edu/database/database.php> berjenis citra *grayscale* dengan jenis file tiff, jpg, png, dan gif berukuran 1024 x 1024 piksel. *Watermark* yang digunakan berupa citra gambar RGB yang diubah menjadi *grayscale* dengan jenis file jpg yang di desain melalui aplikasi Canva berukuran 512 x 512 piksel.

3. Konstruksi sintaks

Proses perancangan sintaks untuk masalah penyisipan *watermarking* dan pengukuran kualitas citra. Algoritma *watermarking* pada citra digital dalam penelitian ini terdiri dari proses penyisipan dan rekonstruksi *watermark*. Langkah-langkah proses penyisipan *watermark* sebagai berikut.

- a. Memilih citra asli (*host*) dan citra *watermark*, jenis citra yang digunakan adalah citra RGB yang diubah ke bentuk citra *grayscale*. Ukuran citra *watermark* lebih kecil daripada citra *host*.

- b. Mendekomposisikan citra *host* menggunakan DWT dan filter Haar. Pada proses ini citra yang digunakan adalah citra 2 dimensi 1 level. Dekomposisi menghasilkan LL, LH, HL, dan HH.
- c. Setelah citra *host* didekomposisi menggunakan metode DWT, citra *watermark* kemudian disisipkan ke dalam *sub-band* LL.
- d. Menjalankan *Inverse Discrete Wavelet Transform* (IDWT) untuk membentuk citra ber-*watermark*.

Langkah-langkah proses rekonstruksi *watermark* sebagai berikut.

- a. Memilih citra asli dan citra ber-*watermark*
- b. Mendekomposisikan citra ber-*watermark* dengan metode DWT dan filter Haar. Proses ini berfungsi untuk mendapatkan kembali koefisien-koefisien dari citra ber-*watermark* terutama koefisien aproksimasinya.
- c. Mencari kembali koefisien *watermark* dari proses transformasi citra ber-*watermark* dengan metode DWT. Koefisien *watermark* didapat dari selisih antara koefisien citra ber-*watermark* dengan koefisien awal citra asli lalu dibagi dengan α . Kemudian didapat koefisien aproksimasi citra *watermark*.
- d. Setelah itu, koefisien aproksimasi dan koefisien detil yang didapatkan dari proses sebelumnya diinverskan menggunakan IDWT.
- e. Setelah diinvers menggunakan IDWT, didapatkan matriks citra *watermark* terekstrak dengan ukuran watermark sebelum disisipi (*watermark* asli).
- f. Menampilkan citra *watermark* dari hasil pengekstrakan.

4. Penyisipan *Watermark*

Setelah sintaks berhasil dijalankan, dilakukan percobaan dengan citra gambar dan *watermark* yang asli.

5. Uji intensitas *watermark* (α) dalam menentukan kualitas citra dengan $PSNR > 40$. Setelah *watermark* disisipkan, sintaks yang telah dibuat kemudian dimasukkan nilai alfa (α) untuk menguji intensitas *watermark* untuk menentukan nilai kualitas citra berdasarkan nilai PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*). Jika nilai $PSNR > 40$ kualitas citra sudah tergolong bagus maka penelitian dapat dilanjutkan ke tahap analisis hasil. Jika nilai $PSNR < 40$ maka percobaan diulang pada tahapan konstruksi sintaks dengan mengganti nilai alfa.

6. Analisis hasil

Setelah dilakukan percobaan, maka didapatkan nilai kualitas citra menggunakan transformasi DWT pada masing-masing gambar. Kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui citra yang memiliki nilai kualitas citra yang paling baik.

7. Menarik kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan secara keseluruhan.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada bagian ini dilakukan pengujian serta pembahasan terhadap program yang telah dibuat. Pengujian sistem ini merupakan pengujian *invisible watermarking* pada citra *grayscale* dalam format file tiff, jpg, png, dan gif berukuran 1024 x 1024 piksel. *Watermark* yang digunakan berupa citra gambar RGB yang diubah menjadi *grayscale* dengan jenis file jpg yang di desain melalui aplikasi Canva berukuran 512 x 512 piksel.



Gambar 1. Data Uji Coba

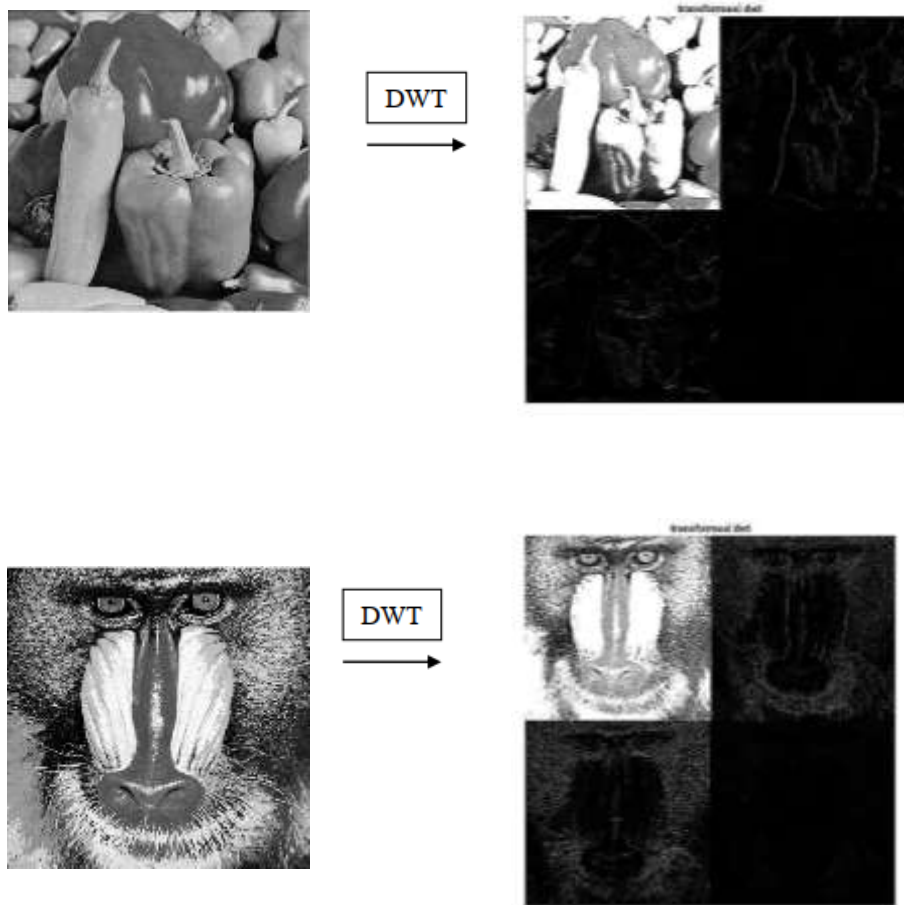
Pada penelitian ini dianalisis penyisipan citra *watermark* terhadap citra asli. Proses pengujian transformasi citra asli dilakukan dengan menggunakan transformasi *wavelet* diskrit dengan filter diskrit Haar pada dekomposisi satu level.



Gambar 2. Citra *Watermark*

Penyisipan Watermark pada *sub-band* LL (koefisien aproksimasi)

Pada percobaan ini langkah awal yang dilakukan, yaitu citra *original* didekomposisi dengan DWT. Secara umum, dekomposisi DWT menghasilkan *subband* komponen aproksimasi (LL) dan tiga *subband* komponen detail (LH, HL, dan HH) yang mencerminkan frekuensi dan perubahan dalam berbagai arah.



Gambar 3. Hasil Proses Dekomposisi

Pada Gambar 2 merupakan hasil dekomposisi citra dengan format .jpg sedangkan format jenis lain dapat dilihat pada lampiran. Proses dekomposisi dilakukan pemisahan citra menjadi empat *subband* yang berbeda, yaitu subband LL (*low-low*) yang mengandung informasi dengan frekuensi rendah dalam arah horizontal dan vertikal, subband LH (*low-high*) yang mengandung frekuensi rendah dalam arah horizontal dan frekuensi tinggi dalam arah vertikal, subband HL (*high-low*) mengandung frekuensi tinggi dalam arah horizontal dan frekuensi rendah dalam arah vertikal, serta subband HH (*high-high*) yang mengandung frekuensi tinggi dalam arah horizontal dan vertikal. Kemudian citra *watermark* disisipkan pada bagian *sub-band* LL atau koefisien aproksimasi pada citra *asli*. Hal ini terlihat pada Gambar 2 bahwa subband LL mempertahankan banyak struktur dan bentuk umum dari citra asli. Oleh karena itu, dengan menyisipkan *watermark* di *subband* ini perubahan yang terjadi pada citra tidak akan terlalu terlihat oleh mata manusia. Penyisipan *watermark* pada subband ini biasanya dilakukan untuk perlindungan hak cipta atau keaslian citra.



Gambar 4. Penyisipan Watermark ke Subband LL


Setelah citra asli disisipi *watermark* kemudian di rekontruksi kembali dengan IDWT menjadi gambar citra ter-*watermark*.









Gambar 5. Citra Ter-*watermark*

Kemudian untuk mengetahui kualitas citra ter-*watermark* dilakukan perhitungan secara objektif untuk melihat perbandingan nilai SC (*Structural Content*) pada setiap citra yang sudah di dekomposisi terhadap nilai parameter yang digunakan.

Tabel 1 Perbandingan Nilai SC terhadap Alfa

No	Citra	Format	Nilai SC				
			Alfa 0,1	Alfa 0,01	Alfa 0,001	Alfa 0,0001	Alfa 0,00001
1.		tiff	1.2121	1.0203	1.0020	1.0002	1.0000

SEMNASDIKA 2 TAHUN 2024
PROSIDING SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN MATEMATIKA

2.		jpg	1.2120	1.0203	1.0020	1.0002	1.0000
3.		png	1.2121	1.0203	1.0020	1.0002	1.0000
4.		gif	1.2104	1.0201	1.0020	1.0002	1.0000
5.		tiff	1.1981	1.0190	1.0019	1.0002	1.0000
6.		jpg	1.1981	1.0190	1.0019	1.0002	1.0000
7.		png	1.1981	1.0190	1.0019	1.0002	1.0000

8. gif 1.1971 1.0189 1.0019 1.0002 1.0000



Pada Tabel 1 di atas diperoleh hasil bahwa Nilai SC (*Structural Content*) dengan parameter alfa antara 0.00001 – 0.1 menghasilkan nilai SC berkisar antara 1.2121 – 1.0000. Terlihat nilai SC akan semakin besar jika alfa yang digunakan juga semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai alfa maka kualitas citra semakin kasar sehingga struktur detail berupa ketajaman terlihat lebih kabur atau kurang jelas. Pada Tabel 1 nilai SC yang paling besar terletak pada citra berformat .tiff dan nilai SC terkecil terletak pada citra berformat.gif untuk citra ‘sayur’ dan ‘hewan’. Pada dasarnya kualitas citra dengan format .tiff memiliki kualitas yang lebih baik daripada .gif karena .tiff memiliki kedalaman warna yang lebih tinggi yang memungkinkan untuk menghasilkan gradasi warna yang halus atau detail warna yang kompleks sehingga kualitas gambar yang dihasilkan lebih halus. Akan tetapi, setelah diproses dengan menyisipkan *watermark* citra berformat .tiff lebih mudah mengalami distorsi karena .tiff lebih sensitif terhadap perubahan. Distorsi inilah yang dapat mengubah informasi visual dan kualitas citra. Pada percobaan Tabel 1 nilai SC paling tinggi diperoleh oleh citra ‘sayur’ berformat .tiff dengan nilai SC sebesar 1,2121. Di sisi lain, nilai SC yang paling kecil dihasilkan oleh citra berformat .gif untuk setiap nilai alfa yang digunakan. Dengan demikian, citra dengan format .gif lebih mampu menghasilkan gambar dengan detail struktur gambar yang tajam.

Perbandingan Kualitas Citra

Setelah dilakukan pengujian kualitas citra berupa SC (*Structural Content*), kini dilakukan pengujian kualitas citra berdasarkan nilai MSE (*Mean Squared Error*) dan PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*). Nilai PSNR yang menyatakan kualitas citra berisi *watermark*. Nilai PSNR akan semakin baik jika *error* dari MSE yang dihasilkan semakin kecil. Pengujian dilakukan dengan variasi nilai alfa 0,00001-0.1. Nilai alfa adalah faktor intensitas yang menentukan kekuatan *watermark* yang akan disisipkan. Nilai alfa yang kecil tentu saja akan lebih tersembunyi jika dibandingkan dengan nilai alfa yang lebih besar. Namun di sisi lain, nilai alfa yang terlalu kecil akan menurunkan tingkat

kemampuan citra yang telah disisipkan *watermark* tersebut dimanipulasi. Kualitas Citra berdasarkan nilai PSNR dapat dikategorikan sebagai berikut (Simanjutak dkk., 2015).

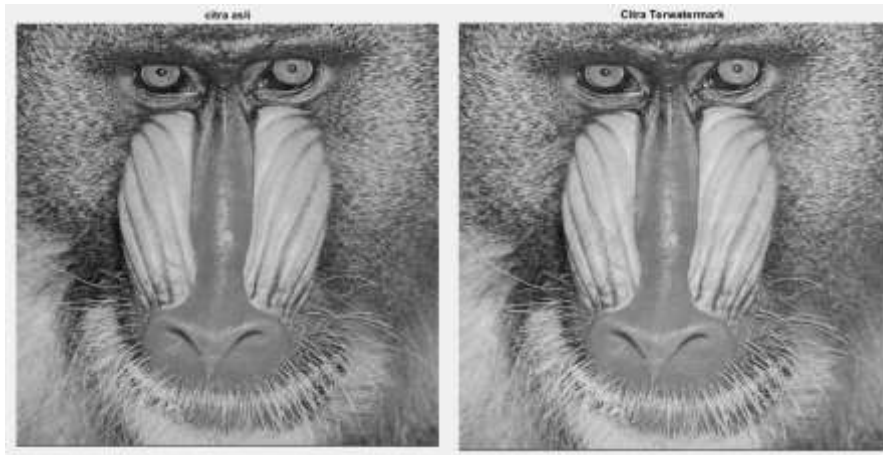
Tabel 2 Nilai MSE dan PSNR

Alfa 0.1				
No.	Citra Gambar (1024 x 1024 piksel)	Watermark (512 x 512 piksel)	MSE	PSNR
1.	Sayur.tiff	Watermark.jpg	1.6339e+08	-34.0014
2.	Sayur.jpg	Watermark.jpg	1.6339e+08	-34.0014
3.	Sayur.png	Watermark.jpg	1.6339e+08	-34.0014
4.	Sayur.gif	Watermark.jpg	1.6339e+08	-34.0014
5.	Hewan.tiff	Watermark.jpg	1.6339e+08	-34.0014
6.	Hewan.jpg	Watermark.jpg	1.6339e+08	-34.0014
7.	Hewan.png	Watermark.jpg	1.6339e+08	-34.0014
8.	Hewan.gif	Watermark.jpg	1.6339e+08	-34.0014
Alfa 0.00001				
No.	Citra Gambar (1024 x 1024 piksel)	Watermark (512 x 512 piksel)	MSE	PSNR
1.	Sayur.tiff	Watermark.jpg	1.6339	45.9986
2.	Sayur.jpg	Watermark.jpg	1.6339	45.9986
3.	Sayur.png	Watermark.jpg	1.6339	45.9986
4.	Sayur.gif	Watermark.jpg	1.6339	45.9986
5.	Hewan.tiff	Watermark.jpg	1.6339	45.9986
6.	Hewan.jpg	Watermark.jpg	1.6339	45.9986
7.	Hewan.png	Watermark.jpg	1.6339	45.9986
8.	Hewan.gif	Watermark.jpg	1.6339	45.9986

Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil percobaan pengujian penyisipan citra *watermark* dengan nilai alfa yang berbeda terhadap beberapa jenis file citra asli. Dari hasil pengujian citra *watermark* didapatkan bahwa penyisipan *watermark* dengan alfa yang berbeda masing-masing memiliki kualitas citra ter-*watermark* yang berbeda pula. Hal ini dapat dilihat dari nilai MSE dan PSNR yang bervariasi tergantung dengan alfa yang digunakan. Nilai MSE yang kecil akan menghasilkan nilai PSNR yang baik. Penyisipan *watermark* dengan alfa 0.1 terhadap citra gambar berjenis file tiff, jpg, png, dan gif menghasilkan nilai MSE yang sangat besar, yaitu 1.6339×10^8 sehingga menghasilkan nilai PSNR yang negatif, yaitu -34.0014 dB. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas citra menjadi tidak baik dengan kata lain terdapat perbedaan yang signifikan antara citra asli dengan citra gambar setelah diproses. Namun, apabila dilihat secara visual perbedaan antar citranya tidak begitu terlihat. Perbedaan citra yang signifikan dapat dilihat berdasarkan nilai MSE. Nilai MSE yang begitu besar akan membuat nilai PSNR semakin kecil yang berarti kualitas citra tidak bagus.

Pengujian terakhir dilakukan dengan penyisipan *watermark* dengan alfa 0.00001 terhadap citra gambar berjenis file tiff, jpg, png, dan gif menghasilkan nilai MSE yang lebih kecil, yaitu 1.6339 sehingga menghasilkan nilai PSNR yang positif sebesar 45.9986 dB. Nilai PSNR sebesar 45.9986 dB tergolong bagus. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara citra asli dengan citra gambar yang telah diproses. Berdasarkan Tabel 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai alfa maka semakin kecil nilai PSNR yang diperoleh. Dengan kata lain kualitas citra berisi *watermark* hasil penyisipan akan semakin menurun apabila nilai alfa yang dipilih semakin besar. Pada pengujian dengan alfa yang besar didapatkan hasil bahwa citra sebelum diproses dengan citra setelah diproses memiliki perbedaan yang signifikan. Namun, apabila dilihat secara visual perbedaan antar citranya tidak begitu terlihat. Perbedaan citra yang signifikan dapat dilihat berdasarkan nilai MSE. Nilai MSE yang begitu besar akan membuat nilai PSNR semakin kecil yang berarti kualitas citra tidak bagus.

Berdasarkan pembahasan-pembahasan sebelumnya bahwa citra asli didekomposisi menggunakan metode DWT yang menghasilkan empat bagian yaitu LL, LH, HL, dan HH. *Watermark* kemudian disisipkan di bagian LL. Setelah itu, dilakukan proses rekonstruksi untuk mendapatkan kembali citra asli dan citra *watermark* yang telah disisipkan.



Gambar 6. Perbandingan Citra Hewan



Gambar 7. Perbandingan Citra Sayur

Pada Gambar 5.5 dan 5.6 terlihat bahwa citra asli dengan citra yang telah disisipkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan secara visual. Setelah itu citra ter-*watermark* yang telah direkonstruksi juga bertujuan untuk mendapatkan kembali *watermark* yang telah disisipkan. Pada Gambar 5.7 terlihat bahwa citra *watermark* asli dengan citra watermark hasil rekonstruksi tidak mengalami perubahan.



Gambar 8. Perbandingan Citra *Watermark*

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil dan pembahasan sebagai berikut.

1. Penerapan proses DWT dalam penyisipan *invisible watermark* memiliki langkah-langkah sebagai berikut.

langkah awal yang harus dilakukan ialah menginput citra asli dan citra *watermark* yang digunakan.

 - a. Setelah itu, dilakukan proses transformasi DWT dengan mendekomposisi citra asli sehingga menghasilkan empat *subband* LL, LH, HL, HH.
 - b. Penyisipan *watermark* dilakukan pada *subband* LL dengan nilai alfa yang bervariasi antara 0.00001-0.1.
 - c. Setelah dilakukan penyisipan *watermark* dan parameter alfa, maka dihasilkan citra ter-*watermark*.
 - d. Langkah akhir yang dilakukan, yaitu mengukur kualitas citra berdasarkan nilai MSE, PSNR, dan SC dengan jenis file dan nilai alfa yang berbeda.
2. Berdasarkan jenis file diperoleh kualitas citra dengan jenis file tiff memiliki nilai SC yang lebih tinggi daripada citra dengan jenis file yang lain. Hal tersebut menunjukkan bahwa bahwa citra yang dihasilkan dari proses penyisipan *watermark* pada format tiff menghasilkan citra yang lebih kasar sedangkan format gif menghasilkan nilai SC yang paling kecil karena memiliki citra yang lebih tajam. Apabila nilai alfa semakin besar maka kualitas citra berdasarkan nilai SC semakin kasar sehingga struktur detail berupa ketajaman terlihat lebih kabur atau kurang jelas. Kemudian berdasarkan nilai MSE dan PSNR dihasilkan nilai yang sama untuk semua jenis file. Alfa yang semakin kecil akan menghasilkan nilai MSE yang kecil sedangkan nilai PSNR akan semakin baik atau besar begitupun sebaliknya.

Daftar Pustaka

- Agustina, R., dan Asmara, R. A., 2015, Penyisipan Watermark Menggunakan Metode Discrete Cosine Transform pada Citra Digital, Jurnal Informatika Polinema 2(1): 29-34, DOI: <https://doi.org/10.33795/jip.v2i1.51>.
- Andono, P. N., 2017, Pengolahan Citra Digital, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Darwis, D., dan Pasaribu, A. F., 2020, Komparasi Metode DWT dan SVD untuk Mengukur Kualitas Citra Steganografi, Jurnal Ilmiah NERO 5(2): 100-108, DOI: <http://dx.doi.org/10.21107/nero.v5i2.175>.
- Gani, S., dan Setiyono, B., 2018, Teknik Invisible Watermarking Digital Menggunakan Metode DWT (Discrete Wavelet Transform), JURNAL SAINS DAN SENI ITS 7(2) 2337-3520, DOI: [10.12962/j23373520.v7i2.29845](https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.29845).
- Moonlight, L. S., Sugiarto, Irfansyah, A., dan Widyarini, R., 2021, Digital Watermarking Pada Citra Medis Menggunakan Discrete Cosine Transform (DCT), dan Metode Spread Spectrum, SCAN 16(1): 27-33, DOI: <https://doi.org/10.33005/scan.v16i1.2548>.

SEMNASDIKA 2 TAHUN 2024
PROSIDING SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN MATEMATIKA

- Munantri, N. Z., Sofyan, H., dan F. M. Y., 2019, Aplikasi Pengolahan Citra Digital untuk Identifikasi Umur Pohon, *TELEMATIKA* 16(2): 97-104, DOI: <https://doi.org/10.31315/telematika.v16i2.3183>.
- Primasiwi, C., Tjandrasa, H., dan Navastara, D. A., 2018, Deteksi Ekspresi Wajah Menggunakan Fitur Gabor dan Haar Wavelet, *JURNAL TEKNIK ITS* 7(1): 2337-3520, DOI: [10.12962/j23373539.v7i1.28706](https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.28706).
- Purwandari, E. P., Puspitaningrum, D., dan Sastra, M. Y., 2015, Kinerja Skema Pemberian Tanda Air pada Citra Digital Berbasis Kombutasi Numerik. *Jurnal Pseudocode* 2(1): 10-19, DOI: <https://doi.org/10.33369/pseudocode.2.1.10-19>.
- Putra, D., 2010, Pengolahan Citra Digital, C.V ANDI OFFSET, Yogyakarta.
- Putro, B. W., dan Febriani, 2016, Aplikasi Watermarking dengan Metode Least Significant Bit Menggunakan Matlab, *Jurnal Informatika dan Komputer* 21(3): 1-7.
- Rahmat, Bahri, M., dan Hendra, 2018, Digital Watermarking dengan Menggunakan Metode Transformasi Hessenberg, Departement of Mathematics Hasanudin University 1-5.
- Salamah, U. G., dan Ekawati, R., 2021, Pengolahan Citra Digital, Media Sains Indonesia, Bandung.
- Setiadikarunia, D., Saragih, R. A., Susanthi, Y., dan Liu, V., 2022, Watermarking Citra Digital Menggunakan Contourlet Transform, Discrete Cosine Transform, dan Noise Visibility Function, *TELKA* 8(1): 24-35, DOI: <https://doi.org/10.15575/telka.v8n1.24-35>.
- Sianipar, R. H., Mangiri, H. S., dan Wiryajati, I. K., 2013, Matlab untuk Pemrosesan Citra Digital, Informatika BANDUNG, Bandung.
- Simanjutak, A. C., Hidayatno, A., dan Riyadi, M. A., 2015, Watermarking Citra Digital pada Ruang Warna YUV dengan Kombinasi Metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Singylar Value Decomposition (SVD), *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 4(1): 2302-9927, DOI: <https://doi.org/10.14710/transient.v4i1.44-50>
- Sinaga, D., dan Jatmoko, C., 2021, Watermaking Citra Grayscale Menggunakan Discrete Cosine Transform, *Proceeding SENDIU* 468-473.
- Suheryadi, A., 2017, Penerapan Digital Watermarking Sebagai Validasi Keabsahan Gambar Digital dengan Skema Blind Wartermark, *Jurnal Teknologi Terapan*, 3(2): 1-6, DOI: <https://doi.org/10.31884/jtt.v3i2.54>.
- Utami, M., Rismawan, T., dan Ristian, U., 2022, Implementasi Metode Discrete Wavelet Transform (DWT) pada Watermarking Citra Digital Keaslian Berbasis Web, *Jurnal Komputer dan Aplikasi* 10(1): 124-135, DOI: <http://dx.doi.org/10.26418/coding.v10i01.52736>.

