

KOMPARASI FILTER HAAR DAN FILTER DAUBECHIES DALAM WAVELET TRANSFORM BERBASIS SINGULAR VALUE DECOMPOSITION

Christy Atika Sari¹, Wellia Shinta Sari²

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro
e-mail: ¹christy.atika.sari@dsn.dinus.ac.id, ²wellia.shinta.sari@dsn.dinus.ac.id

ABSTRAK

Terdapat dua buah filter dalam Discrete Wavelet Transform (DWT) yaitu Low pass filter dan high pass filter. Low pass filter terbagi menjadi banyak koefisien yaitu haar, daubechies, symlet, coiflet, dan lainnya. Dibanding ketiga jenis yang lain, haar dikenal paling sederhana dengan jumlah tapis sebanyak 2 sedangkan daubechies memiliki jumlah tapis sebanyak 4. Dalam makalah ini, watermarking citra keabuan akan diterapkan dengan mengkomparasi basis filter yang digunakan yaitu haar dan daubechies. Untuk meningkatkan kualitas citra, telah diimplementasikan Singular Value Decomposition (SVD). Keunggulan SVD selain dapat digunakan untuk mencapai aspek imperceptibility, juga tahan terhadap serangan citra. Hasil citra watermarking akan dianalisa berdasarkan nilai Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) yang dihasilkan serta komparasi histogram citra asli dengan citra hasil watermarking. Nilai PSNR yang dihasilkan pada seluruh dataset citra telah memenuhi imperceptibility dengan nilai di atas 40 dB. Di sisi lain, ketahanan citra watermarking terhadap serangan telah diuji menggunakan noise salt and paper dan bluring yang diukur dengan nilai Normalized Correlation (NC). Dengan demikian akan diketahui filter mana yang lebih baik dalam menghasilkan citra watermarking yang impercept dan tahan serangan.

Kata Kunci: Watermarking, Discrete Wavelet Transform (DWT), Singular Value Decomposition (SVD), filter Haar, filter Daubechies

1. PENDAHULUAN

Internet menjadi sarana distribusi yang baik untuk media digital karena harganya yang murah, mengurangi penyimpanan data, dan pengiriman data yang hampir seketika. Bersama dengan hal tersebut, terjadi peningkatan besar dalam hal berbagi media digital seperti gambar, audio, dan video melalui internet sehingga timbul masalah yang perlu diperhatikan untuk melindungi media/data digital tersebut. Salah satu contoh masalah yang ditimbulkan adalah tentang perlindungan hak cipta. Watermarking memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan atas masalah tersebut karena melakukan penyisipan informasi dalam media/data digital yang tidak pernah dihapus selama penggunaan normal, sehingga pemilik media/data digital dapat mengklaim data tersebut adalah miliknya dengan mengekstraksi informasi yang telah disisipkan sebelumnya [1]. Penggunaan watermarking jauh lebih aman dibandingkan dengan teknik yang sudah ada untuk mengirim data digital dengan aman. Tantangan utama untuk watermarking itu sendiri adalah keamanan watermark, ketahanan watermark dan kualitas media cover yang menyembunyikan informasi yang melekat padanya. Pada umumnya, watermarking pada citra digital dapat dilakukan dalam domain spasial atau domain frekuensi (transformasi). Watermarking berbasis domain frekuensi lebih banyak digunakan karena robustness dan invisibility-nya yang merupakan persyaratan utama teknik watermarking [2], sedangkan watermarking berbasis domain spasial mudah dipengaruhi oleh serangan dan memiliki masalah dalam hal kapasitas [3].

Watermarking yang paling umum digunakan berbasis frekuensi domainnya adalah Discrete Cosine Transform (DCT), Discrete Fourier Transform (DFT), dan Discrete Wavelet Transform (DWT). Teknik watermarking DCT dan DWT diimplementasikan dengan sangat efektif dalam skema citra digital watermarking. DWT merupakan teknik pemrosesan sinyal (gelombang) yang merupakan kombinasi dari waktu (skala) dan frekuensi. Teknik DWT merupakan salah satu teknik watermarking yang sedang berkembang disebabkan teknik ini menyediakan deskripsi frekuensi dan spasial dari suatu citra. Pada teknik DWT terdapat banyak filter, 2 diantaranya yaitu Haar dan Daubechies. Haar filter merupakan orthogonal filter, sedangkan daubechies mempunyai dua bentuk yakni orthogonal dan bi-orthogonal [4]. Haar filter mempunyai cara kerja sangat sederhana dengan jumlah tapis sebanyak 2 sedangkan daubechies orthogonal mempunyai tapis sebanyak 6.

Salah satu teknik watermarking berbasis domain frekuensi domain lainnya adalah Singular Value Decomposition (SVD). SVD merupakan analisis numerik aljabar linier yang digunakan dalam banyak aplikasi dalam pengolahan citra. Algoritma SVD melakukan penyisipan watermark dalam bentuk matriks yang terpecah ke dalam citra asli (host), sehingga dapat menjaga kualitas citra asli. Hingga saat ini, telah banyak metode yang telah diusulkan untuk menyisipkan watermark. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh [5] yang juga menggabungkan konsep DWT dan SVD dalam watermarking. Dalam penelitian tersebut, algoritma yang digunakan difokuskan untuk meningkatkan kualitas citra watermark dan ketahanan watermark yang akan disisipkan. Teknik yang diusulkan mampu mencapai sifat imperceptibility [6], robustness [7] dan keamanan [8] watermark. Baik hasil kuantitatif maupun kualitatif menunjukkan bahwa watermark tidak terlihat, kuat dalam serangan dan aman. Dalam penelitian ini, teknik watermarking yang digunakan merupakan penggabungan dari Discrete Wavelet Transform (DWT) level 2 dan Singular Value Decomposition (SVD) untuk perlindungan hak

cipta suatu media/data digital. Dengan dilakukannya penggabungan kedua teknik ini diharapkan hasil watermarking yang lebih *robust* dan *imperceptible*.

2. TINJAUAN PUSTAKA (BILA DIPERLUKAN)

Dalam [9], dilakukan penelitian watermarking citra digital dengan menggunakan teknik Discrete Wavelet Transform (DWT) level 2. Citra digital berukuran 512 x 512 digunakan sebagai citra asli (host). PSNR dan NCC dijadikan tolak ukur untuk performa dari teknik watermarking ini. Peneliti melakukan perbandingan nilai PSNR dan NCC pada level DWT yang berbeda dan dengan variasi faktor visibilitas watermark (α). Dengan faktor visibilitas bervariasi dari 0.05 sampai 0.009, jika nilai faktor visibilitas diturunkan, nilai PSNR meningkat namun pada saat yang sama nilai NCC menurun sehingga mendapatkan hasil terbaik yang kita tetapkan nilainya. faktor visibilitas pada 0,025 untuk kedua level DWT.

Kemudian dalam [10], dilakukan penelitian watermarking pada citra digital dengan menggunakan teknik gabungan Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Singular Value Decomposition (SVD). Algoritma yang diusulkan dalam penelitian ini divalidasi secara kuantitatif dengan menggunakan tiga metrik kinerja, Correlation Coefficient (CC), Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), dan Structural Similarity Index Matrix (SSIM). Hasil menunjukkan dengan teknik ini didapatkan nilai PSNR sebesar 68.79, nilai CC sebesar 0.9707 dan nilai SSIM sebesar 0.6472 dengan tanpa dilakukan serangan pada citra. Sehingga dapat disimpulkan bahwa teknik yang diusulkan mampu mencapai sifat imperceptibility, robustness dan keamanan watermark.

Dalam [11], dilakukan komparasi teknik watermarking antara IWT (Integer Wavelet Transform)-SVD dengan DWT-SVD. Perbandingan dilakukan dengan menyertakan variasi dalam nilai factor visibilitas watermark (α). Kualitas dari watermarking diukur dengan menggunakan PSNR dan NCC. Dengan variasi nilai α dari 0,1 sampai 1, diketahui bahwa semakin kecil nilai α maka semakin besar nilai PSNR namun sebaliknya dengan nilai NCC. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kualitas citra watermark dan watermark yang diekstraksi bergantung hanya pada faktor penskalaan. Hal ini juga dapat dilihat dari hasil simulasi bahwa untuk faktor penskalaan yang sama, watermarking berbasis IWT-SVD menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan DWT-SVD sejauh menyangkut nilai PSNR.

Sedangkan dalam [12], dilakukan penelitian blind watermarking berbasis domain spasial dengan algoritma SVD. Citra asli (host) yang digunakan merupakan citra greyscale dengan ukuran 512 x 512 dan citra watermark yang digunakan merupakan citra biner dengan ukuran 64 x 64 piksel. Dalam penelitian ini, NCC digunakan untuk menganalisis pengidentifikasi watermark yang telah diekstrak. Peneliti melakukan eksperimen pada robustness, seperti serangan kompresi JPEG, cropping, rotasi dan filtering. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma ini memiliki ketahanan yang kuat dan visibilitas yang baik.

Tabel 1. Penelitian Terkait

Nama	Tahun	Judul	Metode	Hasil
Rita Choudhary; Girish Parmar	2016	A Robust image Watermarking Technique using 2-level Discrete Wavelet Transform (DWT)	DWT	Dengan variasi factor visibilitas 0.05 sampai 0.009, didapatkan nilai PSNR tertinggi sebesar 52.05 pada level 2 DWT dan 52.02 di level 1 DW
Zhang Nana	2016	Watermarking Algorithm Of Spatial Domain Image Based On SVD	SVD	Didapatkan nilai NCC = 1 pada percobaan attack kompresi JPEG dengan factor kualitas 70% dan shearing di daerah ½ bagian atas
Jasdip Kaur, Narwant Singh, Chahat Jain	2016	An Improved Image Watermarking Technique Implementing 2DWT and SVD	DWT-SVD	Dengan variasi factor visibilitas 0.01 sampai 1, didapatkan nilai PSNR tertinggi sebesar 45.52 pada DWT-SVD dan 45.06 pada IWT-SV
Prerna Gupta; Girish Parmar	2017	Image Watermarking using IWT-SVD and its Comparative Analysis with DWT-SVD	IWT-SVD	Tanpa dilakukan attack didapatkan nilai PSNR sebesar 68.79 dan SSIM sebesar 0.6472. Sedangkan dengan dilakukan attack didapatkan nilai PSNR tertinggi sebesar 61.44 dan SSIM sebesar 0.7521 pada percobaan filtering

3. METODE PENELITIAN

3.1 Discrete Wavelet Transform (DWT)

Metode watermarking berbasis wavelet digunakan untuk mendapatkan ketahanan yang juga menjaga kedua jenis informasi data yang ditransformasikan yaitu frekuensi dan informasi spasial. Bandwidth koefisien

determinasi (LL) memberikan koefisien DWT yang lebih besar pada setiap tingkat dekomposisi dan pita lainnya (HH, HL dan LH) yang memberikan nilai koefisien yang lebih kecil [13]. Oleh karena itu penyisipan watermark pada sub band lainnya (HH, HL dan LH) dapat menurunkan kualitas gambar. Sedangkan, menyisipkan watermark di sub band LL dapat meningkatkan ketahanan gambar.

Dalam analisis rekonstruksi, invers DWT dilakukan oleh struktur yang sama dengan sub-image sintesis yang sesuai, yang terdiri dari invers koefisien kuadran dan koefisien detail [14]. Fitur ini membuat watermark lebih kuat dibandingkan dengan metode spasial terhadap berbagai distorsi. Penerapan DWT efisien karena dua alasan penting, yaitu [15]:

- 1) DWT memiliki distribusi nilai invers transformasi yang tidak beraturan dalam domain wavelet piramidal.
- 2) DWT memiliki kompleksitas linier rendah yang membutuhkan biaya komputasi rendah $O(n)$ bila dibandingkan dengan biaya komputasi yang dikonsumsi oleh transformasi Fourier dan kosinus $O(n \log(n))$.

3.2 Filter Haar

Fungsi Haar dikenal sejak ahli matematika Hongaria bernama Alfred Haar pertama kali menemukannya. Filter Haar sangat populer dan sering digunakan pada pengolahan citra digital khususnya pengkodean citra ekstraksi fitur [16]. Haar dapat didefinisikan sebagai sistem ortogonal [17] yang mengambil nilai-nilai umumnya dari himpunan $\{0, 2^{-1} \in \mathbb{R}\}$, dengan domain generalisasi $0, 1, \infty$.

3.3 Filter Daubechies

Gelombang ini pertama kali diperkenalkan oleh Ingrid Daubechies. Definisi transformasi wavelet Daubechies menyerupai definisi transformasi wavelet Haar, namun yang berbeda adalah banyaknya tapis [18]. Pada daubechies, terdapat 4 tapis. Daubechies mempunyai waktu tempuh lebih lama dibanding Haar.

3.4 Singular Value Decomposition (SVD)

Singular Value Decomposition (SVD) adalah teknik matematika populer yang menyediakan alat untuk analisis matriks. SVD merupakan analisis numerik aljabar linier yang menjadi topik penting dikalangan matematikawan. SVD pertama kali diperkenalkan oleh Beltrami dan Jordan pada tahun 1870 untuk matriks persegi dan kemudian Eckart dan Young pada tahun 1936 diperluas ke matriks persegi panjang. SVD mempunyai fitur khusus yang dapat dilakukan pada matriks real berordo (m,n) [14]. Misal, terdapat matriks A dengan baris matriks m dan panjang kolom matriks n . Maka, A dapat difaktorisasi menjadi 3 (tiga) matriks U , S dan V dengan komposisi sesuai persamaan (1) berikut:

$$A = U_{mm} S_{nn} V_{nn}^T \quad (1)$$

Dimana:

Matriks U merupakan matriks ortogonal berordo $m \times m$ yang bersifat

Matriks V merupakan matriks ortogonal berordo $n \times n$ yang bersifat

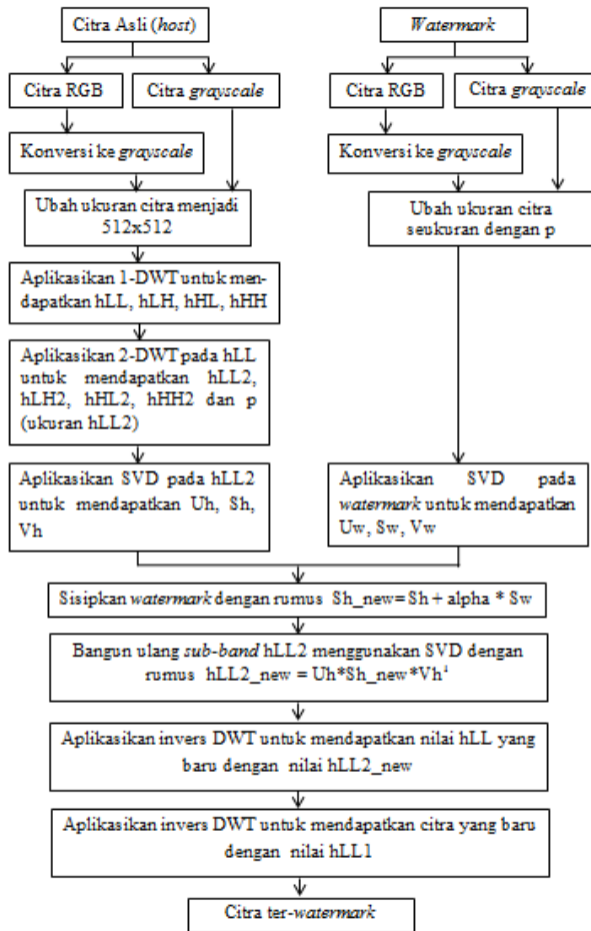
Kolom dari U merupakan *eigenvector* ortonormal dari

Kolom dari V merupakan *eigenvector* ortonormal dari

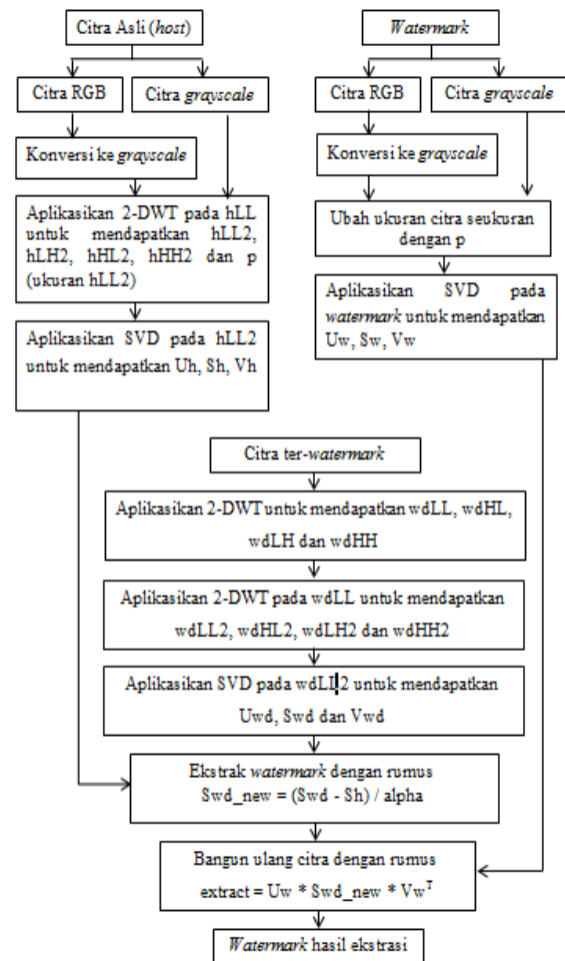
S merupakan matriks diagonal yang berisikan akar *eigenvalue* dari U dan V yang disusun secara urut dari nilai terbesar hingga terkecil.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang diusulkan dalam penelitian ini adalah *image watermarking* dengan penggabungan teknik 2 level *Digital Wavelet Transform (DWT)* dan *Singular Value Decomposition (SVD)* dan mengkomparasi filter Haar dan filter Daubechies. Sebelum dilakukan proses *embedding*, citra *digital* yang di-input-kan sebagai citra asli (*host*) dan citra *watermark* berupa citra berwarna (RGB) namun dalam prosesnya citra tersebut akan diubah menjadi citra *grayscale* (abu-abu) dengan proses *grayscale* seperti dalam. Kemudian, citra *host* akan diubah ukurannya menjadi 512 x 512 piksel. Berikut merupakan cara kerja dari penggabungan teknik *watermarking* yang terdiri dari proses penyisipan *watermark* ke dalam citra asli (*host*) dan proses ekstraksi citra ter-*watermark* untuk mendapatkan kembali *watermark* yang telah disisipkan dalam citra asli (*host*).



Gambar 1. Flowchart penyisipan watermark



Gambar 2. Flowchart ekstraksi watermark

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada makalah ini, digunakan 20 citra grayscale berukuran 512x512 piksel dengan ekstensi .jpg sebagai host dan 1 buah citra pesan grayscale berukuran 128x128 piksel sesuai Gambar 3 dan Gambar 4.





















Gambar 3. Citra host: (1) baby, (2) black, (3) girl, (4) graffiti, dan (5) palm.



Gambar 4. Warak (watermark)

Tabel 2. Hasil watermarking dengan DWT-SVD pada Filter Haar dan Daubechies

Citra host	Watermark	DWT-SVD pada filter Haar		DWT-SVD pada filter Daubechies	
		Citra ter-watermark	Watermark hasil ekstraksi	Citra ter-watermark	Watermark hasil ekstraksi
 baby.jpeg	 warak.jpg				
 black.jpeg	 warak.jpg				
 girl.jpeg	 warak.jpg				

Setelah dilakukan proses watermarking, pengujian kualitas citra dilakukan dengan mencari nilai Structural Similarity Index Measurement (SSIM) dan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) untuk mengetahui kualitas citra setelah dilakukan proses watermarking secara visual. Untuk mengukur ketahanan citra, dalam makalah ini digunakan Normalized Cross Correlation (NCC).

Tabel 3 Nilai PSNR, SSIM, NC setelah proses penyisipan pesan dengan 1L-DWT Haar filter

Host	Filter Haar			Filter Daubechies		
	PSNR	SSIM	NCC	PSNR	SSIM	NCC
Baby	45.04975	0.9928	1	45.03213	0.9902	1
Black	45.04975	0.9928	1	45.03213	0.9902	1
Girl	45.04975	0.9928	1	45.03213	0.9902	1
Graffiti	45.04975	0.9928	1	45.03213	0.9902	1
Palm	45.04974	0.9926	1	45.03116	0.9897	1
Women	45.04974	0.9926	1	45.03116	0.9897	1
Moon	45.04974	0.9926	1	45.03116	0.9897	1
clock	45.05804	0.9939	1	45.03913	0.9948	1
Plane	45.05804	0.9939	1	45.03913	0.9948	1
Bridge	45.05804	0.9939	1	45.03913	0.9948	1
Rata-rata	45.05223	0.99307	1	45.03394	9.9143	1

PSNR merupakan metrik yang digunakan untuk mengevaluasi perbedaan antara citra asli dan citra ter-watermark yang mengukur kualitas citra dan dideskripsikan dalam desibel (db). PSNR digunakan untuk memperkirakan *impedibility*, sebuah istilah yang digunakan untuk mengevaluasi kesamaan antara citra *host* dan gambar yang ter-watermark. *Imperceptibility* yang baik berarti bahwa gambar watermark terlihat hampir identik dengan gambar aslinya. Nilai PSNR yang biasa di dapatkan adalah antara 30 hingga 50 dB. SSIM merupakan alat ukur kualitas citra yang pengukurannya berdasarkan karakteristik HVS (Human Visual System). SSIM merupakan sebuah metrik yang digunakan untuk mendeteksi seberapa jauh perbedaan gambar terdistorsi bila dibandingkan dengan citra asli dari segi informasi struktur dengan nilai terbaik yaitu 1. Di sisi lain, pengukuran yang dilakukan untuk mengukur ketahanan citra hasil ekstraksi telah digunakan NCC. Berdasarkan Tabel 3, nilai PSNR yang dihasilkan lebih dari standard, sehingga citra asli dengan citra ter-watermark tidak berbeda terlalu jauh.

Berikut merupakan perbandingan kualitas citra yang dilakukan watermarking dengan citra host berformat citra JPEG dan citra watermark berformat citra JPG menggunakan algoritma Level 1 DWT, Level 2 DWT, Level 1 DWT-SVD dan algoritma yang diusulkan dalam penelitian ini dengan nilai $\alpha = 0.050$.

Tabel 4. Perbandingan nilai PSNR

Citra	PSNR					
	1LDWT	2LDWT	2LDWT-SVD	2LDWT-SVD	2LDWT-SVD (Haar)	2LDWT-SVD (Daubechies)
baby	33.00848	39.02778	45.04975	45.04975	45.08221	45.06711
black	33.00848	39.02778	45.04975	45.04975	45.08221	45.06711
girl	33.00848	39.02778	45.04975	45.04975	45.08221	45.06711
graffiti	33.00848	39.02778	45.04975	45.04975	45.08221	45.06711
palm	33.00848	39.02778	45.04975	45.04975	45.08221	45.06711
Rata-rata	33.00848	33.01289	39.02778	45.04975	45.08221	45.06711

Tabel 5. Perbandingan nilai NCC

Citra	NCC					
	1DWT	2DWT	1DWT-SVD	2DWT-SVD	2LDWT-SVD (Haar)	2LDWT-SVD (Daubechies)
baby	0.99961	0.99871	1	1	1	1
black	0.99978	0.99910	1	1	1	1
girl	0.99959	0.99867	1	1	1	1
graffiti	0.99926	0.99756	1	1	1	1
palm	0.99755	0.99485	1	1	1	1
Rata-rata	0.999142	0.997778	1	1	1	1

Dari Tabel 5 diatas dapat diketahui bahwa algoritma watermarking 2 level DWT-SVD dengan filter haar memiliki nilai PSNR paling tinggi dibandingkan dengan algoritma watermarking lainnya. Sedangkan untuk nilai NCC, tidak memiliki selisih yang signifikan walaupun nilai NCC watermarking 2 level DWT lebih kecil dibandingkan dengan 1 level DWT maupun dengan penerapan filter haar dan daubechies. Beberapa serangan dilakukan untuk mengukur kekuatan watermarking. Serangan-serangan tersebut antara lain yaitu, Salt & Pepper noise, Gaussian noise, Blur dan Resize.

Tabel 6. Sampel citra ter-watermark hasil ekstraksi setelah dilakukan serangan

Keterangan	Haar Filter				Daubechies Filter			
	Salt & Pepper noise	Gaussian noise	Blur	Resize	Salt & Pepper noise	Gaussian noise	Blur	Resize
Citra ter-watermark								
Ekstraksi citra watermark								

Seperti yang terlihat pada Tabel 6, citra hasil haar filter dan daubechies, keduanya menghasilkan citra yang tidak berbeda menurut mata manusia. Citra watermark sedikit ber-noise, sedangkan citra ekstraksi watermark terlihat lebih rusak pada noise salt and peper dan Gaussian noise. Untuk mengetahui ketahanan citra hasil watermark, telah dihitung nilai NCC untuk beberapa serangan antara lain salt and pepper, Gaussian noise, blur dan resize seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai NCC setelah dilakukan serangan pengolahan citra

Citra	Haar Filter				Daubechies Filter			
	Salt & Pepper 0.01	Gaussian 0.01	Blur	Resize	Salt & Pepper 0.01	Gaussian 0.01	Blur	Resize
baby	0.608184	0.724472	0.713710	0.719386	0.401082	0.738633	0.712111	0.718666
black	0.608474	0.726358	0.713710	0.719386	0.677232	0.746550	0.718897	0.712300

girl	0.620856	0.727530	0.713710	0.719386	0.672111	0.702677	0.713716	0.723888
graffiti	0.621466	0.725818	0.713668	0.719306	0.669201	0.723222	0.709655	0.712100
palm	0.608990	0.726964	0.713668	0.719306	0.609289	0.726500	0.728888	0.736544
Rata-rata	0.613594	3.631142	3.568466	3.59677	3.028915	3.637582	3.583267	3.603498

5. KESIMPULAN

Penerapan watermarking dengan menggunakan gabungan metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Singular Value Decomposition (SVD) terbukti menghasilkan citra dengan mperceptibility dan robustness yang tinggi. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil rata-rata nilai PSNR seluruh percobaan, haar filter memperoleh nilai lebih tinggi dibanding daubechies filter. Namun nilai NCC yang diperoleh kedua filter tersebut mempunyai nilai sempurna yaitu 1. Untuk nilai SSIM, nilai rata-rata yang diperoleh pada 2L-DWT dengan filter haar memiliki rata-rata 0.99307, mendekati 1 yang artinya citra sebelum dan setelah penyisipan tidak jauh berbeda jika dilihat oleh mata manusia. Nilai PSNR tertinggi yang diperoleh yaitu 45.08221 dB, dimana nilai tersebut dihasilkan dari DWT-SVD pada filter haar. Proses ekstraksi diuji dengan sejumlah serangan pengolahan citra yaitu salt and pepper, bluring, resize, dan Gaussian filer. Nilai NCC, secara umum menghasilkan nilai yang tidak sedikit berbeda antara haar dan daubechies. Nilai NCC tertinggi yaitu 0.746550 pada citra black dengan serangan Gaussian filter pada penerapan filter daubechies.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. K. Singh, M. Dave dan A. Mohan, "Hybrid Technique for Robust and Imperceptible Image Watermarking in DWT–DCT–SVD Domain," *National Academy Science Letters*, pp. 351-358, 2014.
- [2] A. Mishra, C. Agarwal, A. Sharma dan P. Bedi, "Optimized gray-scale image watermarking using DWT–SVD and Firefly Algorithm," *Expert Systems with Applications*, pp. 7858-7867, 2014.
- [3] Q. Su dan B. Chen, "Robust color image watermarking technique in the spatial domain," *Soft Computing*, p. 91–106, 2018.
- [4] A. K. Singh, B. Kumar, M. Dave dan A. Mohan, "Robust and Imperceptible Dual Watermarking for Telemedicine Applications," *Wireless Personal Communications*, p. 1415–1433, 2015.
- [5] M. Ali dan C. W. Ahn, "An optimized watermarking technique based on self-adaptive DE in DWT–SVD transform domain," *Signal Processing*, pp. 545-556, 2014.
- [6] D. Vaishnavi dan T. Subashini, "Robust and Invisible Image Watermarking in RGB Color Space Using SVD," *Procedia Computer Science*, vol. 46, p. 2015, 1770-1777.
- [7] "SVD Based Image Watermarking Scheme," *International Journal of Computer Applications*, pp. 21-24, 2010.
- [8] H. Zhang, C. Wang dan X. Zhou, "A Robust Image Watermarking Scheme Based on SVD in The Spatial Domain," *Future Internet*, vol. 9, no. 45, pp. 1-16, 2017.
- [9] R. Choudhary dan G. Parmar, "A Robust image Watermarking Technique using 2-level Discrete Wavelet Transform (DWT)," dalam *IEEE 2nd International Conference on Communication, Control and Intelligent Systems (CCIS)*, Mathura, India, 2016.
- [10] J. Kaur, N. Singh dan C. Jain, "An improved image watermarking technique implementing 2-DWT and SVD2016," dalam *International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, Bangalore, India, 2016.
- [11] P. Gupta dan G. Parmar, "Image Watermarking using IWT-SVD and its Comparative Analysis with DWT-SVD," dalam *International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix)*, Jaipur, 2017.
- [12] T. T. Takore, P. R. Kumar dan G. L. Devi, "A Modified Blind Image Watermarking Scheme Based on DWT, DCT and SVD domain Using GA to Optimize Robustness," dalam *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, Chennai, 2016.
- [13] Y. Pathak dan S. Dehariya, "A more secure transmission of medical images by two label DWT and SVD based watermarking technique," dalam *International Conference on Advances in Engineering & Technology Research (ICAETR - 2014)*, Unnao, 2014.
- [14] A. Furqa dan M. Kumar, "Study and Analysis of Robust DWT-SVD Domain Based Digital Image Watermarking Technique Using MATLAB," dalam *International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology*, Ghaziabad, 2015.
- [15] U. Sudibyo, F. Eranisa, E. H. Rachmawanto, D. Setiadi dan C. A. Sari, "A Secure Image Watermarking

- using Chinese Remainder Theorem Based on Haar Wavelet Transform,” dalam *4th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Yogyakarta, Indonesia, 2017.
- [16] C. Naforita, I. Firoiu, J.-M. Boucher dan A. Isar, “A New Watermarking Method Based on The Use of The Hyperanalytic Wavelet Transform,” dalam *Proceedings Vol 7000, Optical and Digital Image Processing*, Strasbourg, France, 2008.
- [17] A. Susanto, D. Setiadi, E. H. Rachmawanto dan C. A. Sari, “Hybrid Method Using HWT-DCT for Image Watermarking,” dalam *5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, Denpasar, Indonesia, 2017.
- [18] P. Saravanan, M. Sreekara dan K. Manikantan, “Digital Image Watermarking using Daubechies Wavelets,” dalam *3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, Noida, India, 2016.