

## IMPLEMENTASI DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT) DAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD) PADA IMAGE WATERMARKING

## IMPLEMENTATION DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT) AND SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD) ON IMAGE WATERMARKING

Maretha Ruswiansari<sup>1</sup>, Atik Novianti<sup>2</sup>, Wirawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Informatika, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

<sup>2</sup>D3 Teknik Telekomunikasi, Telkom University

<sup>3</sup>Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

<sup>1</sup>[maretharuswiansari@itats.ac.id](mailto:maretharuswiansari@itats.ac.id) <sup>2</sup>[atiknovianti@telkomuniversity.ac.id](mailto:atiknovianti@telkomuniversity.ac.id) <sup>3</sup>[wirawan@ee.its.ac.id](mailto:wirawan@ee.its.ac.id)

### Abstrak

Keaslian informasi dalam berbagai bentuk dan media tidak lagi terjaga karena setiap orang dapat mengubah dan memodifikasinya untuk kemudian disebarluaskan kembali. Tanda air (*watermarking*) dapat diartikan sebagai suatu teknik penyisipan dan atau penyembunyian informasi yang bersifat rahasia pada suatu data lainnya untuk "ditumpangangi" (kadang disebut dengan *host data*), tetapi orang lain tidak menyadari adanya kehadiran data tambahan pada data *host*-nya (istilah *host* digunakan untuk data atau sinyal digital yang disisipi), sehingga seolah-olah tidak ada perbedaan berarti antara data *host* sebelum dan sesudah proses *watermarking*. Pada penelitian ini dilakukan simulasi algoritma *watermarking* dengan menyisipkan citra *watermark* ke citra asli menggunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dan *Singular Value Decomposition* (SVD). Penelitian ini menggunakan citra *host* berwarna sehingga perlu dilakukan proses konversi citra RGB menjadi komponen *Y*, *Cb*, dan *Cr*. Metode DWT-SVD lebih tahan terhadap *attack* dibandingkan dengan metode DWT. Proses penyisipan *watermark* dengan *Arnold transform* menghasilkan PSNR lebih tinggi dibandingkan tanpa *Arnold transform*, dimana dengan *Arnold transform* PSNR = 85.7959 dB, dan tanpa *Arnold transform* PSNR = 85.3901 dB. Semakin rendah PSNR maka semakin tinggi nilai *similarity factor* (SF) dan semakin jelas *watermark*-nya.

**Kata kunci :** citra digital, *watermarking*, DWT, SVD

### Abstract

Authenticity of information in various forms and media are no longer maintained because everyone can change and modify it for later redistributable. Watermarking can be defined as a technique of inserting and hiding or confidential information on an other data for "carrying" (sometimes called the host data), but others are not aware of the presence of additional data on the data its host (the term host is used for data or digital signals inserted), so it seems there is no significant difference between the data host before and after watermarking process. This research will be carried out by inserting the watermarking algorithm simulation image watermark to the original image using the Discrete Wavelet Transform (DWT) and Singular Value Decomposition (SVD). This study used the image of stained host so we need a RGB image conversion process into components *Y*, *Cb*, and *Cr*. DWT-SVD method is more resistant to attack than the DWT method. The process of embedding with Arnold transform produces higher PSNR than without Arnold transform, where

the Arnold transform PSNR = 85.7959 dB, and without Arnold transform PSNR = 85.3901 dB. The lower the value, the higher PSNR similarity factor (SF) and its increasingly clear watermark.

**Keywords :** digital image, watermarking, DWT, SVD

## 1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi informasi banyak memberikan kemudahan di bidang multimedia digital yang lebih unggul dibanding dengan multimedia konvensional. Informasi dalam bentuk digital memiliki sifat yang mudah untuk diubah dan dimodifikasi, sehingga dapat mengakibatkan permasalahan hak kepemilikan informasi itu sendiri. Keaslian informasi dalam berbagai bentuk dan media tidak lagi terjaga karena setiap orang dapat mengubah dan memodifikasinya untuk kemudian disebarluaskan kembali. Oleh karena itu, untuk menjaga hak kekayaan intelektual dari pemilik arsip multimedia yang bersangkutan dibutuhkan sebuah metode untuk menandai kepemilikan hak cipta atas sebuah citra digital. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk melindungi isi dan informasi yang terkandung dalam media adalah teknik *watermarking*. Referensi [5] menyebutkan tanda air (*watermarking*) dapat diartikan sebagai suatu teknik penyisipan dan atau penyembunyian informasi yang bersifat rahasia pada suatu data lainnya untuk “ditumpang” (kadang disebut dengan *host data*), tetapi orang lain tidak menyadari adanya kehadiran data tambahan pada data *host*-nya (istilah *host* digunakan untuk data atau sinyal digital yang disisipi), sehingga seolah-olah tidak ada perbedaan berarti antara data *host* sebelum dan sesudah proses *watermarking*.

DWT membagi sebuah dimensi sinyal menjadi dua bagian yakni frekuensi tinggi dan frekuensi rendah, yang disebut dengan dekomposisi [11]. Keluaran dari *highpass filter* dan *lowpass filter* akan menghasilkan koefisien DWT, dengan menggunakan koefisien ini citra asli dapat direkonstruksi. Proses rekonstruksi ini disebut *Inverse Discrete Wavelet Transform* (IDWT). SVD merupakan teknik numerik yang digunakan untuk matrik diagonalisasi pada analisa numerik [3]. SVD menggeneralisasi dari dekomposisi *eigen value* untuk analisa matrik *rectangular* (dekomposisi *eigen value* didefinisikan hanya untuk matrik *squared*) dan juga dieksplorasi untuk *image processing*. Tujuan utama dari SVD adalah mendekomposisi sebuah matrik *rectangular* ke dalam tiga matrik sederhana (dua matrik *orthogonal* dan satu matrik *diagonal*). SVD telah banyak dipelajari dan digunakan untuk *watermarking* (terutama pada citra) [4]. Citra ber-*watermark* umumnya mendapat serangan (*attack*) dengan tujuan untuk menghilangkan *watermark* yang disisipkan di dalam citra digital tersebut. Serangan ini disebut sebagai serangan yang disengaja. Serangan yang tidak disengaja biasanya berhubungan dengan perubahan citra digital, seperti berupa *cropping*, *rotation*, *dilation*, filterisasi, kompresi, dan lain-lain. Perbandingan antara citra asli dan citra ber-*watermark* menunjukkan ketahanan citra menghadapi serangan.

Pada penelitian [1], citra *watermark* disisipkan dengan menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dan menghasilkan citra ber-*watermark* yang tidak tahan terhadap *attack* atau memiliki ketahanan yang kurang. Kelemahan tersebut menjadi fokus perhatian pada penelitian ini. Simulasi algoritma *watermarking* yang dibuat dengan menggunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dan *Singular Value Decomposition* (SVD) merupakan perbaikan dan perluasan dari penelitian sebelumnya. *Paper* [12] memiliki kelemahan hanya disimulasikan pada citra *grayscale* saat menggunakan metode DWT-SVD. Dengan menggunakan metode yang sama penelitian [2] memiliki kekurangan, yakni algoritma penyisipan citra *watermark* tidak sesuai dengan konsep *watermarking* yang banyak dipelajari.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis mencoba untuk mengimplementasikan metode *hybrid DWT-SVD* pada *image watermarking*. Penelitian ini menggunakan citra *host* berwarna

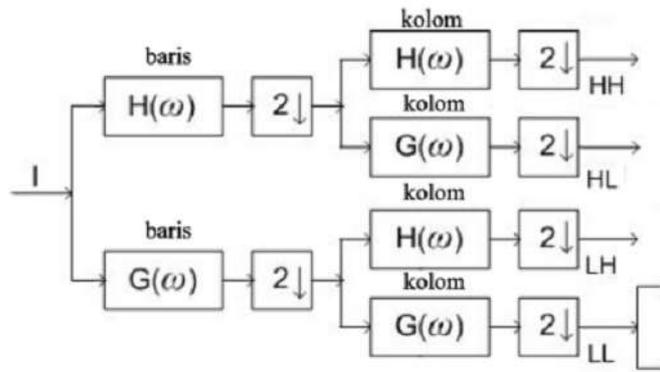
sehingga perlu dilakukan proses konversi citra RGB menjadi komponen  $Y$ ,  $C_b$ , dan  $C_r$ . Pada masing-masing komponen warna tersebut akan dilakukan proses penyisipan citra watermark dengan metode DWT-SVD dan diakhir penyisipan dilakukan proses konversi kembali citra RGB.

**2. METODE PENELITIAN**

**2.1 Discrete Wavelet Transform (DWT)**

Transformasi *wavelet* mulai diperkenalkan pada tahun 1980-an oleh Morlet dan Grossman sebagai fungsi matematis untuk merepresentasikan data atau fungsi sebagai alternatif transformasi-transformasi matematika yang lahir sebelumnya untuk menangani masalah resolusi [8]. Transformasi ini memiliki dua seri dalam pengembangannya yaitu Continuous Wavelet Transform (CWT) dan Discrete Wavelet Transform (DWT). Dasar dari DWT dimulai pada tahun 1976 dimana teknik untuk mendekomposisi sinyal waktu diskrit ditemukan [9]. Di dalam CWT, sinyal dianalisis menggunakan seperangkat fungsi dasar yang saling berhubungan dengan penskalaan dan transisi sederhana. Sedangkan di dalam DWT, penggambaran sebuah skala waktu sinyal digital didapatkan dengan menggunakan teknik filterisasi digital. Secara garis besar proses dalam teknik ini adalah dengan melewati sinyal yang akan dianalisis pada filter dengan frekuensi dan skala yang berbeda.

Sebuah sinyal harus dilewatkan dalam dua filterisasi DWT yaitu *highpass* filter dan *lowpass* filter agar frekuensi dari sinyal tersebut dapat dianalisis. Analisis sinyal dilakukan terhadap hasil filterisasi *highpass* filter dan *lowpass* filter dimana *highpass* filter digunakan untuk menganalisis frekuensi tinggi dan *lowpass* filter digunakan untuk menganalisis frekuensi rendah. Pembagian sinyal ini disebut sebagai dekomposisi. Secara teknis, citra dengan dua dimensi (baris dan kolom) dapat didekomposisi seperti Gambar 1. Dengan  $I$  adalah citra,  $H(\omega)$  adalah *highpass* filter, dan  $G(\omega)$  adalah *lowpass* filter.



Gambar 1. Dekomposisi *wavelet* satu tingkat terhadap citra [10]

Dekomposisi pada citra menghasilkan informasi rentang frekuensi yang berbeda yaitu LL (*low-low frequency*), LH (*low-high frequency*), HL (*high-low frequency*), dan HH (*high-high frequency*), seperti ditunjukkan Gambar 2. Rentang frekuensi LL merupakan rentang taksiran penskalaan, sedangkan rentang frekuensi LH, HL, dan HH merupakan rentang frekuensi detail informasi [10].

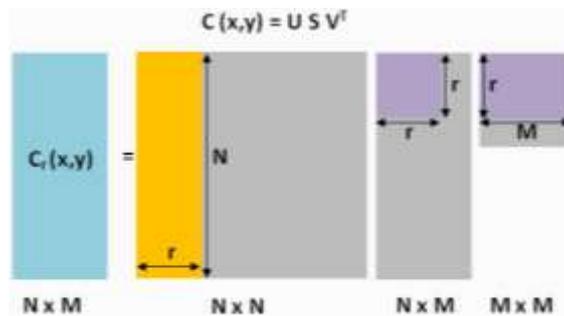
**2.2 Singular Value Decomposition (SVD)**

*Singular Value Decomposition* (SVD) adalah teknik numerik yang digunakan untuk matrik diagonalisasi dalam analisis numerik. SVD merupakan algoritma yang dikembangkan untuk berbagai aplikasi. Setiap matrik sebuah citra  $C$  didekomposisi menjadi tiga sub matrik  $[u, s, v]$ , seperti berikut ini :

$$C = U * S * V^T \tag{1}$$

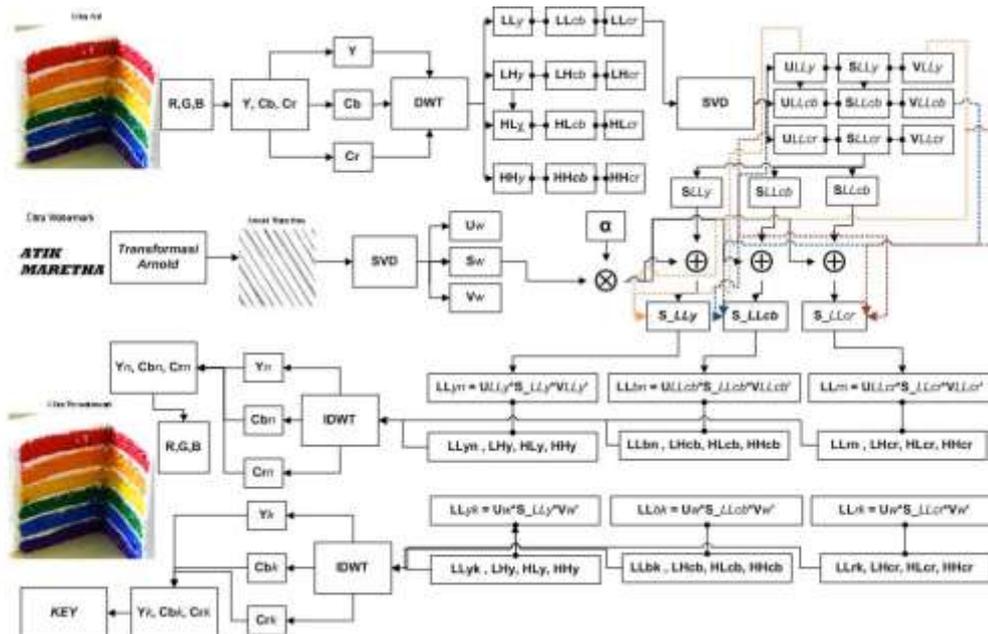
Dimana  $U$  dan  $V$  adalah matrik *orthogonal* sehingga  $U * U^T = I$  dan  $V * V^T = I$ , dimana  $I$  adalah matrik identitas dan  $s$  adalah matrik *diagonal*. Nilai tersebut dikenal sebagai *singular value* dan matrik  $U$  dan  $V$  diketahui sebagai vector *singular* terkait [7]. Dekomposisi di atas disebut sebagai *Singular Value Decomposition*. Sebuah SVD, yang diterapkan pada matrik sebuah citra, memberikan *singular value* (matrik *diagonal*) yang mewakili *luminance* atau intensitas warna dari citra dimana matrik  $U$  dan  $V$  mewakili geometri dari citra. Secara ilmiah telah dibuktikan bahwa variasi kecil dalam *singular value* tidak mengubah persepsi visual dari citra [6].

Pendekatan *rank r* dari sebuah citra  $C(x,y)$  adalah matrik  $C_r(x,y) = U_r S_r V_r^T$ , dimana  $S_r$  adalah sub matrik bagian kiri atas ( $r \times r$ ),  $U_r$  terdiri dari kolom pertama  $r$  dari  $U$ , dan  $V_r^T$  adalah baris pertama  $r$  dari  $V$ . Dekomposisi SVD sangat menarik karena  $U_r S_r V_r^T$  menyediakan pendekatan *rank r* terbaik untuk  $X$  dalam arti kemas energi maksimum dari  $X$  [4].

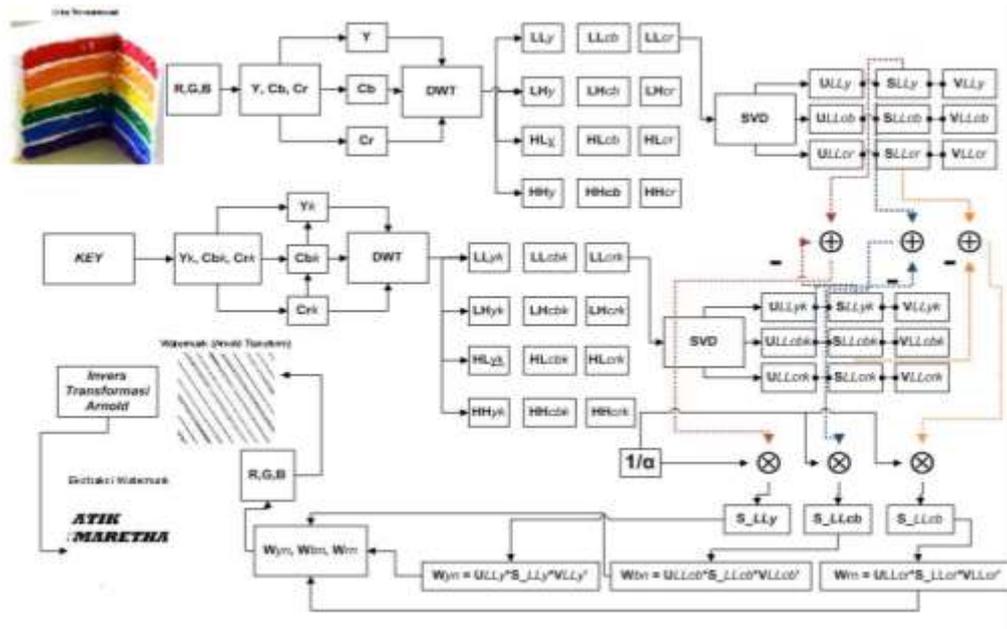


Gambar 2. Operasi SVD pada citra C [4]

### 3. DESAIN SISTEM



Gambar 3. Proses penyisipan citra *watermark* ke dalam citra *host* dengan metode DWT-SVD



Gambar 4. Proses ekstraksi citra ber-watermark dengan metode DWT-SVD

4. HASIL DAN DISKUSI

Simulasi menggunakan Matlab 7.9.0 (R2009b) dengan menggunakan beberapa citra *host* berwarna berukuran 256×256 pixel dan sebuah citra *watermark* berukuran 128×128, pixel seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. (a) Citra *host* (b) Citra *watermark*

Citra <i>host</i>			
lena.tif	taylor.jpg	rainbow.bmp	Hawaii.jpg
			

(a)

Citra <i>watermark</i>			
wat2.bmp			

(b)

Pada simulasi yang telah dilakukan, citra *watermark* disisipkan pada citra *host* dengan menggunakan dua metode yaitu metode *discrete wavelet transform* (DWT) saja dan metode *hybrid* yaitu *discrete wavelet transform* (DWT) dengan *singular value decomposition* (SVD). Hasil simulasi kedua metode tersebut menunjukkan perbedaan pada beberapa hal, seperti pada PSNR dan ketahanan terhadap *attack*. Hasil simulasi menggunakan metode DWT, dimana hasil penyisipan *watermark* pada citra *host* dengan  $\alpha=0.01$  yaitu *watermarked image* dengan PSNR dalam dB. Nilai PSNR dari beberapa *watermarked image*, penyisipan *watermark* terhadap citra *host* taylor.jpg memiliki PSNR paling tinggi yaitu 94.2046 dB. Dalam simulasi ini masih mengabaikan *attack*. Proses ekstraksi *watermark* menggunakan nilai  $\alpha$  yang sama. Sehingga dari hasil simulasi

menunjukkan semakin tinggi PSNR suatu *watermarked image* akan menyebabkan hasil ekstraksi *watermark* semakin mendekati citra *watermark* seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. PSNR dan Hasil Ekstraksi *Watermark* DWT

<i>Watermarked image</i>	PSNR (dB)	Ekstraksi <i>watermark</i>
	94.2046	
	91.1306	
	83.3291	
	81.8171	

Tabel 3. PSNR dan Hasil Ekstraksi *Watermark* DWT dengan *Attack*

<i>Watermarked image (attacked)</i>	PSNR (dB)	Ekstraksi <i>Watermark</i>
	Jenis <i>attack</i>	
	62.3549	
	<i>Gaussian noise</i>	
	55.9526	
	<i>Salt &amp; pepper</i>	
	69.6716	
	<i>Blurring</i>	
	59.5564	
	<i>Cropping</i>	
	56.9695	
	<i>Rotation</i>	

Tabel 3 merupakan hasil simulasi metode DWT untuk proses penyisipan dan ekstraksi watermark, dimana setelah proses penyisipan watermark pada citra *host*, *watermarked image* tersebut diberi *attack*. Semua *watermarked image* yang diberi *attack* seperti ditunjukkan pada Tabel 3, tidak dapat diekstraksi watermark-nya. Sehingga selanjutnya metode *hybrid* DWT-SVD digunakan untuk menangani *attack*, agar watermark tetap dapat diekstraksi.

Proses penyisipan watermark dengan *Arnold transform* menghasilkan PSNR lebih tinggi dibandingkan tanpa *Arnold transform*. Hal tersebut seperti ditunjukkan pada *watermarked image* *taylor.jpg*, dengan *Arnold transform* PSNR = 85.7959 dB, dan tanpa *Arnold transform* PSNR = 85.3901 dB. Proses penyisipan watermark dengan *Arnold transform* membuat hasil ekstraksi berbeda dengan proses penyisipan watermark tanpa *Arnold transform*. Penggunaan *Arnold transform* membuat semakin rendah PSNR maka semakin jelas watermark-nya, sedangkan pada saat tidak menggunakan *Arnold transform* akan terjadi sebaliknya.

Citra *lena.tif* dan *taylor.jpg* digunakan untuk mengamati pengaruh besarnya  $\alpha$  terhadap hasil ekstraksi watermark. Tabel 4 dan 5 menunjukkan perubahan  $\alpha$  dari 0.01 hingga 0.9. Perubahan  $\alpha$  dalam simulasi dilakukan saat proses ekstraksi watermark. Sedangkan perubahan  $\alpha$  tidak dilakukan dalam proses penyisipan watermark, dimana  $\alpha$  yang digunakan tetap 0.01 agar menghasilkan *watermarked image* yang serupa dengan citra *host*.

Pada Tabel 4 menunjukkan *watermarked image* *lena.tif* memiliki *similarity factor* (SF) lebih tinggi dibanding *watermarked image* *taylor.jpg*. Hal tersebut dikarenakan PSNR *watermarked image* *taylor.jpg* lebih tinggi daripada *watermarked image* *lena.tif*, karena seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa semakin rendah PSNR maka semakin jelas watermark-nya. Perubahan nilai  $\alpha$  berpengaruh terhadap seberapa jelas hasil ekstraksi watermark, dimana semakin tinggi nilai  $\alpha$  dengan PSNR yang tetap, maka SF akan semakin mendekati satu. Seperti hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 4, begitu juga yang terjadi pada hasil simulasi di Tabel 5. Perbedaannya terdapat pada penggunaan *Arnold transform* atau tidak. Bila diperhatikan pada Tabel 4 dan 5, penggunaan *Arnold transform* tidak selalu memperbaiki hasil ekstraksi watermark, tetapi dengan menggunakan *Arnold transform* nilai SF-nya cenderung lebih tinggi atau lebih mendekati satu.

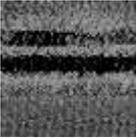
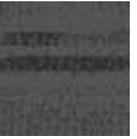
Tabel 4. Pengaruh  $\alpha$  terhadap Hasil Ekstraksi Watermark DWT-SVD tanpa *Arnold Transform*

<i>Watermarked image</i>	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.9$
					
SF	0.6887	0.7328	0.8045	0.9644	0.9750
					
SF	0.7524	0.8251	0.8935	0.9769	0.9762

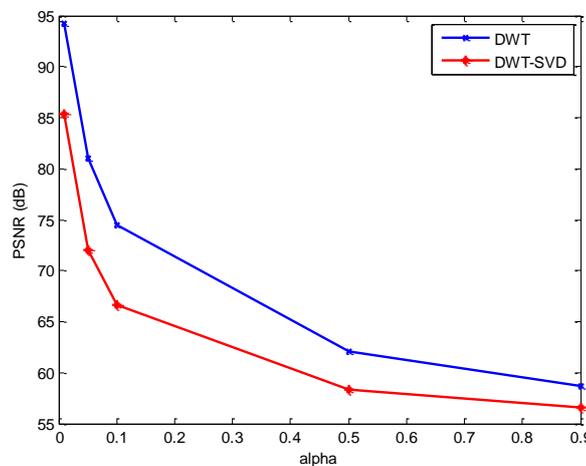
Penggunaan nilai  $\alpha$  saat proses penyisipan watermark ke dalam citra *host* sangat berpengaruh terhadap citra ter-watermark dan tentu saja terhadap nilai PSNR. Perbandingan hasil

penggunaan  $\alpha$  saat proses penyisipan dengan menggunakan metode DWT menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $\alpha$  maka *watermark* yang disisipkan akan semakin terlihat seiring dengan tingkat kecerahan citra *host* yang semakin rendah. Berdasarkan pengamatan, *watermark* mulai terlihat saat menggunakan nilai  $\alpha$  sama dengan 0.1, namun tidak tampak jelas tergantung citra *host* yang digunakan. Empat citra yang digunakan diketahui PSNR paling tinggi dihasilkan oleh citra taylor dengan nilai 94.2046 dB dan paling rendah dihasilkan oleh citra Hawaii dengan nilai 56.1324.

Tabel 5. Pengaruh  $\alpha$  terhadap Hasil Ekstraksi *Watermark* DWT-SVD dengan *Arnold Transform*

<i>Watermarked image</i>	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.9$
					
SF	0.8485	0.9225	0.9590	0.9743	0.9668
					
SF	0.9010	0.9552	0.9822	0.9749	0.9667

Selain itu perbandingan hasil penggunaan  $\alpha$  saat proses penyisipan dengan menggunakan metode DWT-SVD menunjukkan bahwa besar nilai  $\alpha$  yang digunakan saat penyisipan *watermark* berpengaruh terhadap citra hasil proses *watermarking*. Semakin besar nilai  $\alpha$  yang digunakan maka citra ter-*watermark* semakin cenderung mengalami perubahan menjadi citra dengan unsur warna merah muda. Berdasarkan data penelitian, citra ter-*watermark* mulai terlihat unsur warna merah muda ketika  $\alpha$  sama dengan 0.1 dan seterusnya. Selain itu, semakin besar nilai  $\alpha$  yang digunakan pada saat penyisipan *watermark* maka semakin rendah nilai PSNR yang diperoleh. Grafik pada Gambar 5 adalah perbandingan antara  $\alpha$  dan PSNR dengan menggunakan metode DWT dan DWT-SVD untuk citra taylor.jpg.



Gambar 5. Pengaruh penggunaan  $\alpha$  saat penyisipan *watermark* terhadap nilai PSNR

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 6 merupakan hasil ekstraksi dari *watermarked image* yang diberi *attack*. *Attack* yang digunakan adalah *Gaussian noise*, *rotation*, dan *blurring*. Bila diamati pada Tabel 6 terdapat perbedaan bila menggunakan *Arnold transform* dan tanpa menggunakan *Arnold transform*. Pada simulasi penambahan *Gaussian noise* dan *blurring* menunjukkan bahwa penggunaan *Arnold transform* dapat memberikan hasil ekstraksi lebih jelas. Hal sebaliknya terjadi pada *attack* berupa *rotation* yang menunjukkan tanpa *Arnold transform* dapat memberikan hasil ekstraksi lebih jelas. Penambahan *attack* tidak selalu menunjukkan nilai SF tinggi yang bisa menampilkan hasil ekstraksi lebih jelas atau mendekati citra *watermark* (Tabel 1b).

Hal tersebut seperti simulasi penambahan *attack blurring*, dimana saat  $\alpha = 0.01$ , dengan *Arnold transform* menunjukkan SF = 0.2016 memiliki hasil ekstraksi lebih bagus, dibandingkan tanpa *Arnold transform* yang menunjukkan SF lebih tinggi yaitu 0.6038. Ini dikarenakan saat SF = 0.2016, warnanya berlawanan dengan citra *watermark* seperti pada Tabel 1b. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 6, maka dengan menggunakan metode *hybrid DWT-SVD* ini, *watermarked image* lebih tahan terhadap *attack*. Sehingga walaupun diberi *attack*, *watermarked image* tetap dapat diekstraksi untuk mengetahui identitas dari citra.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Penyisipan *watermark* terhadap citra *host taylor.jpg* memiliki PSNR paling tinggi yaitu 94.2046 dB saat proses ekstraksi *watermark* menggunakan nilai  $\alpha$  yang sama dan masih mengabaikan *attack*.
2. Metode DWT-SVD lebih tahan terhadap *attack* dibandingkan dengan metode DWT.
3. Proses penyisipan *watermark* dengan *Arnold transform* menghasilkan PSNR lebih tinggi dibandingkan tanpa *Arnold transform*, dimana dengan *Arnold transform* PSNR = 85.7959 dB, dan tanpa *Arnold transform* PSNR = 85.3901 dB.
4. Semakin rendah PSNR maka semakin tinggi nilai *similarity factor* (SF) dan semakin jelas *watermark*-nya.
5. semakin besar nilai  $\alpha$  yang digunakan pada saat penyisipan *watermark* maka semakin rendah nilai PSNR yang diperoleh.
6. Saat nilai PSNR tetap, semakin tinggi nilai  $\alpha$  maka SF akan semakin mendekati satu.
7. Penggunaan *Arnold transform* tidak selalu memperbaiki hasil ekstraksi *watermark*, tetapi dengan menggunakan *Arnold transform* nilai SF-nya cenderung lebih tinggi atau lebih mendekati satu.
8. Penggunaan *Arnold transform* dapat mengenkripsi *watermark* sehingga lebih tahan terhadap *attack* dan *watermark* dapat diekstraksi kembali.

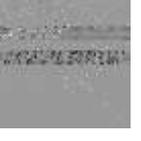
## Daftar Pustaka:

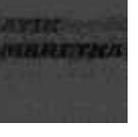
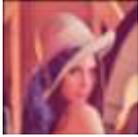
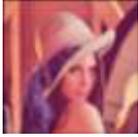
- [1] Chaturvedi, Navnidhi et al. 2012. Analysis of Image Watermarking by DWT and Performance Under Attacks. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE)*, Vol.2, Issue.3, June.
- [2] Kamble, Sushila et al. 2012. DWT-SVD Based Robust Image Watermarking Using Arnold Map. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, Vol.5, No.1, pg 101-105, January-June.

- [3] Kelkar, Yashovardhan et al. 2013. Analysis of Robustness of Hybrid Digital Image Watermarking Technique under Various Attacks. *IJCSMC*, Vol.2, Issue.3, pg.137 – 143. March.
- [4] Majumder Swanirbhar et al. 2008. A Hybrid SVD and Wavelet based Watermarking. *2<sup>nd</sup> National Conference Mathematical Techniques : Emerging Paradigms for Electronics and IT Industries*. September.
- [5] Munir, Rinaldi. 2006. *Diktat Kuliah IF5054 Kriptografi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- [6] Saxena, Vikas et al. *Towards Increasing The Robustness of Image Watermarking against JPEG Compression*.
- [7] Seitz J. *Digital watermarking For Digital Media*. Information Science Publishing, United States of America.
- [8] Siregar, Isma Fahdiani. 2008. *Implementasi Steganografi Pada Video Jenis Avi Menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit*. Bandung : Institut Teknologi Telkom.
- [9] Sripathi, Deepika. 2003. *Efficient Implementations of Discrete Wavelet Transform using FPGAs*. Florida State University.
- [10] Technical Advisory Service for Images. 2005. The Digital Image. <http://www.tasi.ac.uk>.
- [11] Terzija, Natasa. 2006. *Robust Digital Image Watermarking Algorithms for Copyright Protection*. Universität Duisburg –Essen.
- [12] Zhou, Yaxun et al. 2012. A Robust Digital Image Multi-watermarking Scheme in the DWT Domain. *International Conference on Systems and Informatics*.

**LAMPIRAN**

Tabel 6. Hasil Ekstraksi Watermark DWT-SVD dengan Attack

Watermarked image	$\alpha=0.01$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.9$
Dengan Arnold transform, Gaussian noise, mean = 0.5, varian = 1					
					
SF	0.9571	0.9556	0.9547	0.9457	0.9447
Tanpa Arnold transform, Gaussian noise, mean = 0.5, varian = 1					
					
SF	0.9326	0.9306	0.9309	0.9521	0.9630
Dengan Arnold transform, Rotation 30°, PSNR = 56.9501 dB					

					
SF	0.2841	0.3198	0.5058	0.9733	0.9837
Tanpa <i>Arnold</i> transform, <i>Rotation</i> 30°, PSNR = 56.9496 dB					
					
SF	0.3549	0.3705	0.4042	0.9065	0.9596
Dengan <i>Arnold</i> transform, <i>Blurring</i> , PSNR = 69.6920 dB					
					
SF	0.2016	0.2953	0.4819	0.8759	0.9163
Tanpa <i>Arnold</i> transform, <i>Blurring</i> , PSNR = 69.6870 dB					
					
SF	0.6038	0.6945	0.7935	0.9521	0.9629