

KINERJA SKEMA PEMBERIAN TANDA AIR VIDEO DIJITAL BERBASIS DWT-SVD DENGAN DETEKTOR SEMI-BLIND

T. Basaruddin^{*)} dan Della Maulidiya

Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

^{*)}E-mail: chan@cs.ui.ac.id

Abstrak

Tulisan ini membahas teknik pemberian tanda air untuk video digital. Skema yang diajukan merupakan pengembangan dan sekaligus penggabungan dari metode yang dikembangkan oleh Ganic dan Chan yang berturut-turut dilandasi oleh konsep dekomposisi nilai singular (SVD) dan transformasi wavelet diskret (DWT). Jika dalam penelitian sebelumnya Chan memanfaatkan teknik pemberian tanda air untuk detektor blind, maka dalam penelitian ini akan diteliti penerapan untuk kasus detektor *semi-blind*, dengan memanfaatkan keunggulan dari SVD dan DWT yang sebelumnya telah ditunjukkan oleh Ganic, namun untuk kasus citra tidak bergerak. Secara keseluruhan, hasil penelitian kami menunjukkan bahwa skema yang kami gunakan memiliki keunggulan dalam hal *imperceptibility* yang sekaligus juga menunjukkan tingkat keandalan (*robustness*) yang memadai, khususnya untuk beberapa model serangan seperti pemampatan, pengaburan, pemoangan dan penajaman gambar.

Abstract

On the Performance of SVD-DWT Based Digital Video Watermarking Technique with Semi-Blind Detector.

This paper presents a watermarking technique for digital video. The proposed scheme is developed based on the work of Ganic and Chan which took the virtue of SVD and DWT. While the previous works of Chan has the blind detector property, our attempt is to develop a scheme with semi-blind detector, by using the merit of the DWT-SDV technique proposed by Ganic which was originally applied to still image. Overall, our experimental results show that our proposed scheme has a very good imperceptibility and is reasonably robust especially under several attacks such as compression, blurring, cropping, and sharpening.

Keywords: discrete-wavelet-transform, imperceptibility, robustness, singular-value-decomposition, watermarking

1. Pendahuluan

Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk melindungi data digital yaitu *watermarking* (pemberian tanda air). Pemberian tanda air digital (*digital watermarking*) merupakan proses untuk menyisipkan (*embedding*) informasi ke dalam data digital secara rahasia. Informasi yang akan disisipkan dinamakan tanda air digital (*digital watermark*) dan harus dapat diperoleh kembali meskipun data digital telah diproses, disalin atau pun didistribusikan. Data digital yang disisipi dinamakan data orisinal (*host data*) dan data yang telah disisipi tanda air disebut data bertanda air (*watermarked data*).

Algoritma pemberian tanda air untuk citra digital berbasis korelasi dapat dilakukan pada ranah spasial dan frekuensi, misalnya menggunakan teknik *Singular*

Value Decomposition (SVD) untuk ranah spasial dan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) atau *Discrete Cosine Transform* (DCT) untuk ranah frekuensi.

Aspek penting dari suatu algoritma pemberian tanda air adalah *robust* (tahan) terhadap serangan-serangan (*attacks*) antara lain: *removal attacks*, *geometric attacks*, *cryptographic attacks* dan *protocol attacks*. Sebuah skema pemberian tanda air citra atau video yang tahan terhadap suatu serangan tertentu mungkin saja tidak tahan terhadap jenis serangan yang lain atau memiliki *imperceptibility* yang rendah, demikian pula sebaliknya. Teknik penyisipan apa pun yang digunakan untuk skema pemberian tanda air citra dan video digital, tidak boleh mengganggu tampilan/kualitas visual citra atau video tersebut. *Imperceptibility* suatu skema ditentukan oleh lokasi dan cara penyisipan tanda air.

Algoritma pemberian tanda air citra digital agar dapat diterapkan untuk video digital selain memperhatikan aspek *robustness* dan *imperceptible* juga harus mempertimbangkan faktor-faktor pemrosesan video digital. Faktor-faktor tersebut terkait dengan banyaknya citra (*frame*) yang termuat dalam sebuah video, perubahan *scene*, ukuran video dan ranah waktu [1]. Karena video terdiri atas banyak citra maka sebuah algoritma pemberian tanda air sebaiknya mempunyai *blind detector* sehingga tidak membutuhkan video asli untuk pendeteksian dan pengambilan kembali (ekstraksi) tanda air.

Skema pemberian tanda air citra digital berbasis SVD akan *robust* terhadap distorsi geometris [2]. Pada skema berbasis SVD, umumnya penyisipan dilakukan pada nilai-nilai singular berdasarkan pertimbangan bahwa nilai singular tidak akan mengalami perubahan signifikan jika terjadi sedikit gangguan pada citra. Namun skema berbasis SVD yang diusulkan Liu - Tan menyisipkan nilai-nilai singular tanda air yang akan membutuhkan *non-blind detector*. Teknik penyisipan Liu dan Tan [2] tersebut diadaptasi oleh Ganic dan Eskicioglu [3] untuk menyisipkan nilai-nilai singular tanda air ke dalam nilai-nilai singular tiap *subband* (koefisien-koefisien DWT) citra asli. Sama seperti skema Liu-Tan, skema Ganic-Eskicioglu juga mempunyai *non-blind detector* tetapi mempunyai *robustness* lebih baik.

Teknik penyisipan selain menggunakan nilai-nilai singular yaitu mensubstitusi d buah kolom matriks V tanda air ke dalam matriks V citra asli [4]. Skema yang menggunakan teknik ini mempunyai *semi-blind detector* karena membutuhkan matriks U dan S dari tanda air orisinal untuk rekonstruksi tanda air hasil ekstraksi, tetapi tidak membutuhkan informasi dari citra asli. Skema Kaufman [4] diaplikasikan untuk pemberian tanda air video digital dengan menggunakan tanda air berupa citra RGB. Hasil eksperimen Kaufman [4] menunjukkan penyisipan pada matriks V dapat dilakukan dan tidak mengganggu tampilan video apabila banyaknya kolom-kolom V yang diubah tidak terlalu banyak (berkisar 10 – 15 kolom tergantung ukuran frame).

Skema pemberian tanda air yang menggunakan teknik-teknik yang biasa dipakai untuk *lossy compression* pada MPEG dan JPEG misalnya DWT atau DCT, akan menyebabkan tanda air *robust* terhadap pemampatan [1]. Pada skema berbasis DWT, umumnya penyisipan dilakukan pada *subband-subband* horisontal, vertikal dan diagonal. Penyisipan pada *subband* aproksimasi akan mempengaruhi kualitas visual citra atau frame video karena *subband* ini membawa banyak informasi citra asli pada resolusi tinggi. Chan [1] membuat skema pemberian tanda air video digital berbasis DWT yang *blind* dengan menggunakan enkripsi. Logo yang akan

disisipkan setelah dipra-proses dan dienkrpsi, selanjutnya disisipkan ke dalam *subband* horisontal dan vertikal frame-frame dengan cara mengubah posisi koefisien tertentu. Sedangkan pada skema *hybrid DWT-SVD* seperti yang dibuat oleh Ganic dan Eskicioglu [3], penyisipan dapat dilakukan pada semua *subband* tanpa mengganggu tampilan citra.

Penulis melakukan modifikasi pada skema pemberian tanda air untuk video digital yang dikembangkan oleh Ganic dan Eskicioglu [3] dengan cara mengombinasikan teknik DWT dan SVD untuk video yang diusulkan oleh Kaufman [4] dan Chan [1]. Skema baru tersebut diuji menggunakan beberapa video berformat .avi dan citra tanda air dengan format .jpg. Hasil-hasil pengujian dievaluasi berdasarkan kualitas visual video bertanda air dan daya tahan citra tanda air yang diambil dari video bertanda air.

Skema Pemberian Tanda Air Berbasis DWT-SVD

(a) Definisi dan Rumusan Matematis SVD dan DWT

Jika A adalah matriks berukuran $m \times n$, maka nilai-nilai singular A didefinisikan sebagai akar kuadrat dari nilai-nilai eigen $A^T A$. Nilai-nilai singular A yaitu $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ memenuhi kondisi (untuk r rank) : $\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_r > 0$ dan $\sigma_{r+1} = \dots = \sigma_n = 0$. Matriks A dapat difaktorkan sebagai berikut:

$$A = U \Sigma V^T \quad (1)$$

Matriks U dan V tidak secara unik ditentukan oleh A tetapi matriks diagonal Σ harus memuat nilai-nilai singular matriks A . Kolom-kolom V dinamakan vektor-vektor singular kanan matriks A . Kolom-kolom U dinamakan vektor-vektor singular kiri matriks A . Dalam aljabar linier, pemfaktoran di atas dikatakan relevan jika matriks $A_{m \times n}$ merupakan pemetaan dari ruang- n ke ruang- m . Faktorisasi matriks A tersebut dinamakan *Singular value Decomposition* (SVD). Pada pemrosesan citra digital, nilai singular menyatakan luminansi dan vektor-vektor singular merepresentasikan geometris citra.

Tidak seperti transformasi *Fourier* yang mempunyai fungsi basis berupa sinusoida, transformasi *wavelet* merupakan transformasi berbasis gelombang kecil (*small wave*) yang dinamakan *wavelet* [5]. *Wavelet* memiliki karakteristik *wave-like* yang bersifat periodik. Jika dibandingkan dengan transformasi *Fourier* yang hanya menyediakan informasi frekuensi saja, transformasi *wavelet* memberikan informasi frekuensi dan temporal.

Secara matematis *wavelet* merupakan fungsi yang dibangkitkan dari sebuah fungsi basis, yang dinamakan *prototype* atau *mother wavelet*, dengan menggunakan dilasi (penskalaan) dan translasi (pergeseran) dalam ranah waktu atau frekuensi. Apabila fungsi sinyal $f(x)$, fungsi penskalaan $\phi_{j_0,k}(x)$ dan fungsi *wavelet* $\psi_{j,k}(x)$ merupakan fungsi variabel diskrit untuk $x = 0, 1, 2, \dots$,

M - 1 maka koefisien-koefisien hasil dari ekspansi itu dinamakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT). Pasangan koefisien DWT terdiri dari koefisien aproksimasi $W_{\phi}(j_0, k)$ dan koefisien detil $W_{\psi}(j_0, k)$. Aplikasi *wavelet* untuk pemrosesan citra membutuhkan desain *wavelet* dua dimensi. Oleh karena itu dikembangkan DWT dua dimensi (2D-DWT) yang dapat dihitung dengan cara menerapkan DWT satu dimensi (1D-DWT) sepanjang baris dan kolom citra secara terpisah. Transformasi ini mendekomposisi citra dengan suatu skala faktor empat dimana setiap level terdiri atas sebuah sub-citra resolusi rendah dan tiga sub-citra koefisien wavelet. Untuk dimensi dua, fungsi-fungsi yang ditranslasi dan diskalakan didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \varphi_{j,m,n}(x,y) &= 2^{j/2} \varphi(2^j x - m, 2^j y - n) \\ \psi_{j,m,n}^i(x,y) &= 2^{j/2} \psi^i(2^j x - m, 2^j y - n) \dots i = \{H, V, D\} \end{aligned} \quad (2)$$

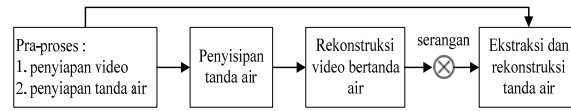
DWT dua dimensi (2D-DWT) untuk fungsi $f(x, y)$ yang berukuran $M \times N$ didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{\phi}(j_0, m, n) &= \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1-N-1} \sum_{y=0}^{M-1-N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) \\ W_{\psi}^i(j, m, n) &= \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1-N-1} \sum_{y=0}^{M-1-N-1} f(x, y) \psi^i_{j, m, n}(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

(b) Modifikasi Skema Ganic-Eskicioglu

Skema Ganic-Eskicioglu dimodifikasi untuk pemberian tanda air video digital berbasis *frame*. Oleh karena itu modifikasi dilakukan agar skema mempunyai *semi-blind detector* dan dapat diaplikasikan untuk video non-audio dengan format AVI (*audio-video interleaved*) dengan menggunakan tanda air yang digunakan yaitu citra RGB 256-*grayscale*. Skema yang diusulkan terdiri atas tahap: pra-proses, penyisipan, rekonstruksi video, ekstraksi dan rekonstruksi tanda air seperti digambarkan dalam Gambar 1.

Tahap pra-proses merupakan tahap penyiapan video dan citra tanda air sebelum dilakukan penyisipan atau ekstraksi. Penyiapan video pada tahap ini bertujuan untuk membagi setiap frame video berukuran $m \times n$ ke dalam kanal-kanal warna yaitu *red* (R), *green* (G) dan *blue* (B). Sehingga untuk video k -frame akan diperoleh tiga matriks kanal warna masing-masing berukuran $m \times n \times k$. Sedangkan penyiapan tanda air pada tahap pra-proses bertujuan untuk menghasilkan blok-blok citra tanda air. penyiapan tanda air dimulai dengan membagi citra tanda air berdasarkan kanal warna. Selanjutnya setiap kanal dibagi menjadi blok-blok berukuran $2^b \times 2^b$, disesuaikan dengan ukuran citra tanda air dan banyaknya frame video. Hubungan antara ukuran citra tanda air, blok tanda air dan banyak frame dirumuskan sebagai berikut. Misalkan banyak frame video adalah k dan ukuran citra tanda air $w \times h$. Jika blok berukuran



Gambar 1. Struktur Skema Pemberian Tanda Air Video Digital yang Diusulkan

$2^b \times 2^b$ maka ukuran citra tanda air dirumuskan sebagai berikut.

$$w \times h = 2^b \cdot 2^p \times 2^b \cdot 2^q \quad (4)$$

Banyaknya blok citra yang akan diperoleh yaitu 2^{p+q} , dimana $p = \log_2 w - b$ dan $q = \log_2 h - b$. Setiap kanal warna blok citra ke- i akan disisipkan ke dalam kanal warna yang sama pada frame ke- i , karena itu berlaku batasan $2^{p+q} \leq k$. Gambar berikut menjelaskan penyiapan tanda air untuk skema yang diusulkan.

Modifikasi skema Ganic dan Eskicioglu dilakukan dengan menggunakan teknik penyisipan yang diusulkan oleh Kaufman. Teknik Kaufman melakukan penyisipan tanda air pada matriks V dari kanal warna tiap frame video. Untuk meningkatkan *robustness*, citra tanda air dibagi menjadi blok-blok citra dimana blok ke- i akan disisipkan ke dalam tiga kanal warna frame ke- i . Cara ini mengadopsi teknik penyiapan tanda air yang digunakan oleh Chan. Transformasi yang dilakukan pada tiap *frame* menggunakan 2D-DWT level-1 dengan *haar wavelet*. Penyisipan hanya dilakukan pada *subband* diagonal (HH) karena menghasilkan *frame-frame* bertanda air dengan *imperceptibility* paling tinggi dibandingkan penyisipan pada *subband* lainnya. Faktorisasi *full-SVD* pada *subband* diagonal tiap kanal frame dan blok citra dilakukan untuk mendapatkan matriks U dan V . Formula yang digunakan untuk menyisipkan matriks U_w tanda air ke dalam matriks U *subband* diagonal tiap kanal frame, yaitu:

$$U' = \begin{bmatrix} \overbrace{u_{w_{1,1}} \dots u_{w_{1,2^b}}}^{U_w} & u_{1,2^b+1} & \dots & u_{1,\frac{1}{2}m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{w_{2^b,1}} & \dots & u_{w_{2^b,2^b}} & u_{2^b,2^b+1} & \dots & u_{2^b,\frac{1}{2}m} \\ u_{2^b+1,1} & \dots & u_{2^b+1,2^b} & u_{2^b+1,2^b+1} & \dots & u_{2^b+1,\frac{1}{2}m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{\frac{1}{2}m,1} & \dots & u_{\frac{1}{2}m,2^b} & u_{\frac{1}{2}m,2^b+1} & \dots & u_{\frac{1}{2}m,\frac{1}{2}m} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Cara penyisipan di atas juga berlaku untuk penyisipan matriks V_w . Prosedur penyisipan pada skema I dijelaskan sebagai berikut:

- (1) Tiap blok citra difaktorisasi menggunakan SVD

- (2) Tiap kanal frame video didekomposisi menggunakan 2D-DWT
- (3) *Subband* diagonal setiap kanal *frame* difaktorisasi menggunakan *full-SVD*
- (4) Penyisipan dilakukan dengan cara menyubstitusi matriks singular kiri dan kanan (matriks *U* dan *V*) tanda air pada matriks *U* dan *V subband*.
- (5) Rekonstruksi *frame* menggunakan *inverse-SVD* dan *inverse-2D-DWT*

Prosedur ekstraksi tanda air dari video bertanda air yaitu:

- (1) Tiap kanal frame video didekomposisi menggunakan 2D-DWT
- (2) *Subband* diagonal setiap kanal *frame* difaktorisasi menggunakan *full-SVD*
- (3) Ekstraksi dilakukan dengan cara mengambil 2^b kolom pertama dan 2^b baris pertama dari matriks *U* dan *V*.
- (4) Rekonstruksi tanda air membutuhkan matriks diagonal *S* yang memuat nilai-nilai singular tanda air orisinal. Proses rekonstruksi video bertujuan untuk menyusun frame-frame bertanda air menjadi video bertanda air tanpa melakukan pemampatan. Banyaknya frame tiap detik untuk video orisinal dan bertanda air ditetapkan sama yaitu 15 *fps* (*frame persecond*).

2. Eksperimental

Kualitas visual frame-frame sebelum dan setelah penyisipan diukur menggunakan metrik berbeda yaitu PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*). Satuan yang digunakan untuk menyatakan nilai PSNR yaitu *decibels* (dB). PSNR merupakan metrik berbasis piksel untuk mencari selisih distorsi antarframe formula PSNR sebagai berikut:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE} \right] \quad (6)$$

MSE (*Mean Square Error*) dari frame sebelum penyisipan *I* dan setelah penyisipan *I_w* dihitung menggunakan rumus berikut:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m,n} (I(i, j) - I_w(i, j))^2 \quad (7)$$

Evaluasi *robustness* pada penelitian ini menggunakan serangan-serangan yang disediakan Checkmark sebagai berikut *copy attack*, pemampatan JPEG dan JPEG2000 (*wavelet*), rotasi, *rotationscale*, *sharpening*, dan *projective*. *Robustness* tanda air diukur menggunakan *Bit-error Rate* (BER) yaitu rasio kesalahan antara bit-bit yang diekstrak terhadap bit-bit yang disisipkan.

$$BER = \frac{1}{M} \sum_m \begin{cases} 1 & \text{untuk } w'_i \neq w_i \\ 0 & \text{untuk } w'_i = w_i \end{cases} \quad (8)$$

Citra tanda air (logo) yang digunakan untuk eksperimen adalah seperti disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Logo yang Digunakan Dalam Eksperimen

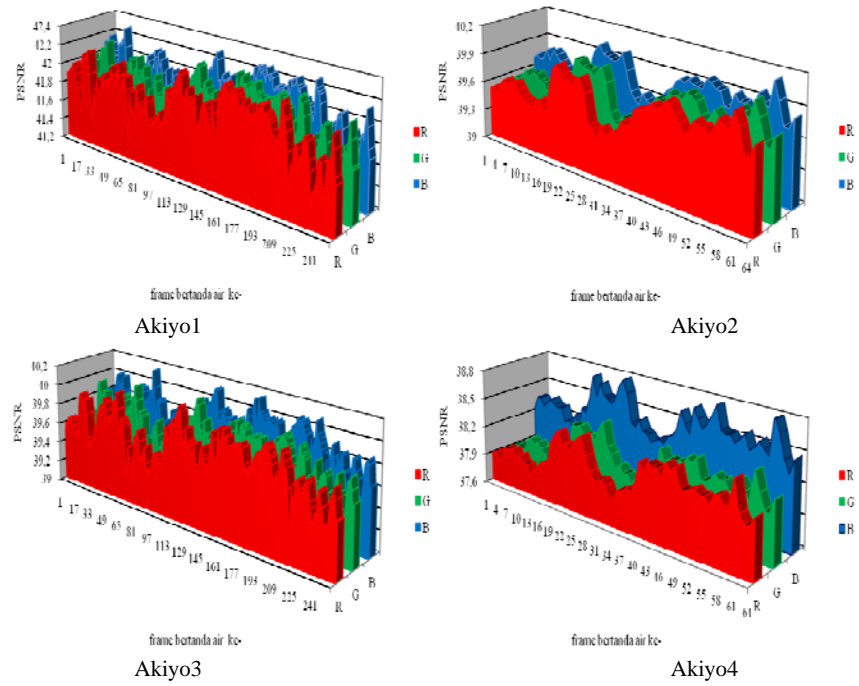
Tabel 1. Rancangan Eksperimen Skema

Video	Res. video	# frame	Video bertanda air	Res tanda air	Blok	Jml blok
Akiyo	176 x 144	300	Akiyo1	64 x 64	4 x 4	256
			Akiyo2		8 x 8	64
			Akiyo3	128 x 128	8 x 8	256
			Akiyo4		16 x 16	64
Mobile	176 x 144	300	Mobile1	64 x 64	4 x 4	256
			Mobile2		8 x 8	64
			Mobile3	128 x 128	8 x 8	256
			Mobile4		16 x 16	64
Stefan	352 x 288	90	Stefan1	64 x 64	8 x 8	64
			Stefan2		16 x 16	16
			Stefan3	128 x 128	16 x 16	64
			Stefan4		32 x 32	16

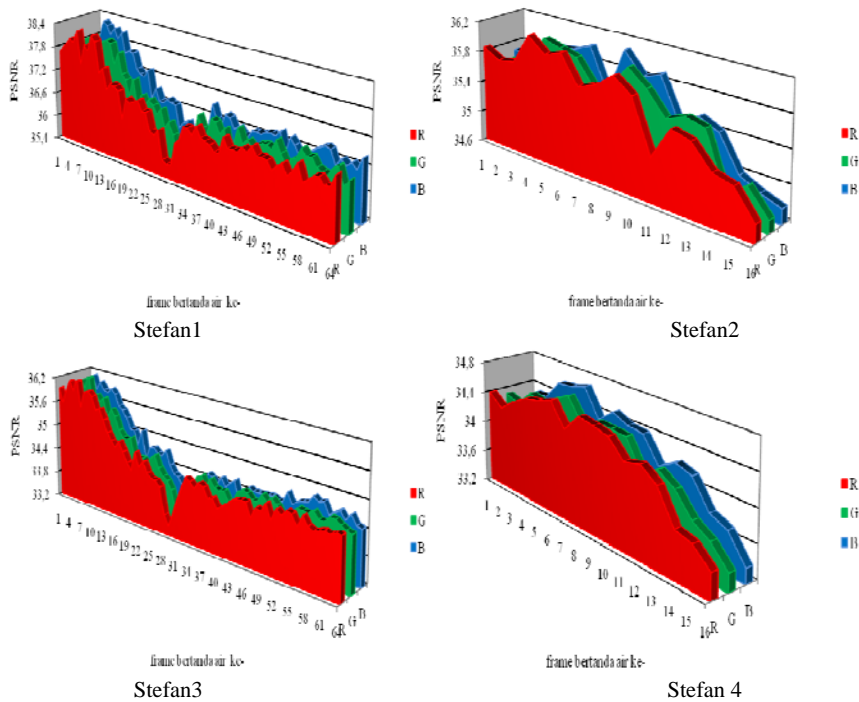
Video CIF/QCIF dengan format YUV yang digunakan untuk eksperimen di-*download* dari *website* Video Trace Research Group, Arizona State University [6]. Semua video terlebih dulu dikonversi menjadi AVI tanpa pemampatan. Skema diuji menggunakan video: *akiyo.avi*, *mobile.avi* dan *stefan.avi* dan dua citra RGB sebagai tanda air. Rancangan eksperimen skema disajikan dalam Tabel 1.

PSNR tiap kanal frame video bertanda air yang dibuat dari video *akiyo.avi* mempunyai rentang nilai berkisar antara 37,8dB – 42,3dB. Grafik PSNR video *akiyo1* dan *akiyo3* memiliki pola yang berbeda dibandingkan grafik PSNR video *akiyo2* dan *akiyo4*. Perbedaan ini sebagai akibat penggunaan ukuran blok citra tanda air yang bervariasi. Sebaran nilai PSNR pada video bertanda air yang menggunakan video orisinal *mobile.avi* mirip dengan nilai PSNR pada *akiyo*. Rentang nilai PSNR untuk *mobile* yaitu 33,39dB – 38,29dB. Hal ini karena video *akiyo.avi* dan *mobile.avi* menggunakan citra tanda air dan ukuran blok yang sama (Gambar 3).

Nilai PSNR pada video *stefan* yang bertanda air mempunyai karakteristik berbeda dibandingkan video *akiyo* dan *mobile*. Pada Gambar 4 terlihat nilai PSNR frame ke-16 dan 28 mempunyai nilai terendah dibandingkan frame lainnya. Rentang PSNR untuk video *stefan* yang bertanda air: 28,05 dB – 34,05 dB.



Gambar 3. Grafik PSNR Kanal Frame Video Akiyo



Gambar 4. Grafik PSNR Kanal Frame Video Stefan

Selain menggunakan PSNR, untuk kebutuhan analisis kualitas visual juga harus mempertimbangkan tampilan frame saat dijalankan. Video bertanda air mempunyai

tampilan yang sama dengan video asli saat dijalankan. Gambar 5 memperlihatkan contoh frame hasil penyisipan.

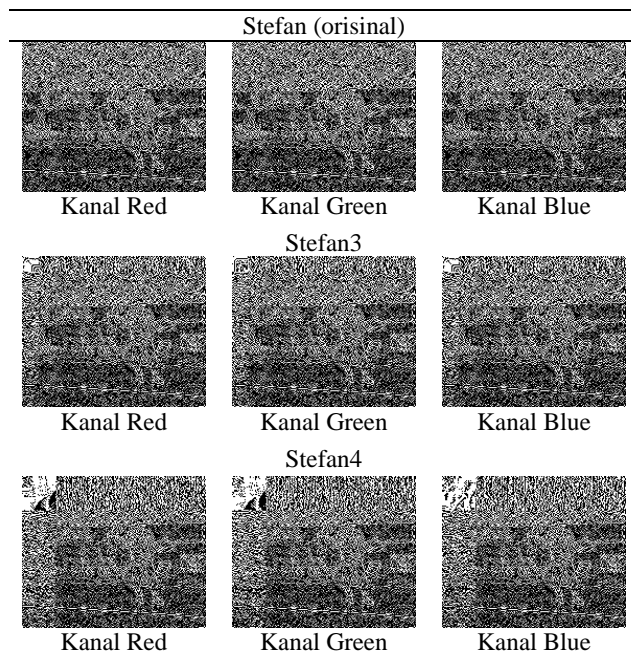
Skema yang diusulkan, dirancang untuk penyisipan pada ranah frekuensi menggunakan DWT. Oleh karena itu perlu dianalisis pengaruh penyisipan tanda air terhadap koefisien diagonal tiap tanda air. Gambar 5 menampilkan contoh koefisien diagonal tiga kanal frame pertama dari frame video orisinal dan bertanda air.

Gambar 6 memperlihatkan bahwa penyisipan blok-blok citra mempengaruhi komposisi koefisien diagonal. *Subband* diagonal memuat informasi tentang intensitas atau variasi tingkat keabuan citra sepanjang diagonal. Mengubah koefisien diagonal akan mengubah intensitas sepanjang diagonal citra. Namun rekonstruksi inverse-DWT memperbaiki komposisi nilai-nilai piksel tiap kanal frame, sehingga tampilan frame tidak terdistorsi.

Perbedaan pola grafik PSNR masing-masing video bertanda air dipengaruhi oleh sebaran intensitas tiap kanal frame. Video akiyo.avi mempunyai histogram citra untuk kanal Red yang cenderung ke bagian nilai-



Gambar 5. Contoh Frame Bertanda Air



Ket: Gambar kurang jelas berasal dari hasil eksperimen

Gambar 6. Profil Hasil Penyisipan Untuk Tiap Kanal

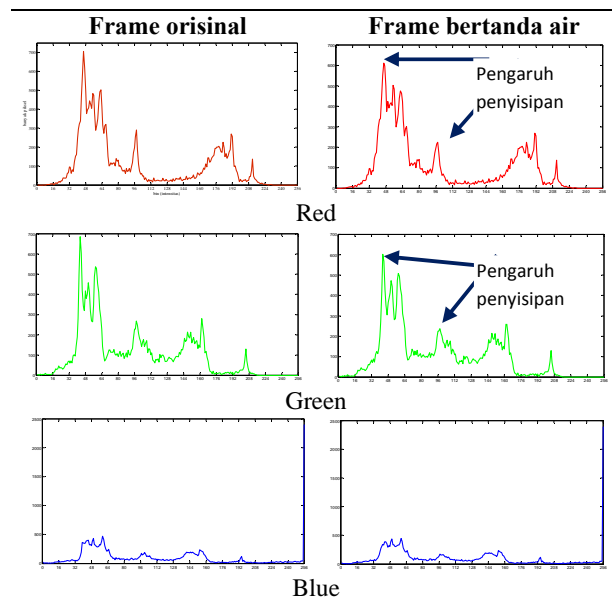
nilai piksel rendah. Histogram citra untuk kanal Red pada mobile.avi cenderung ke bagian nilai-nilai piksel tinggi. Sedangkan histogram citra kanal Red stefan.avi mempunyai sebaran nilai yang berkumpul pada nilai-nilai piksel antara 100 – 200.

Gambar 7 memperlihatkan histogram citra kanal Red dan Green frame video akiyo, rentan terhadap perubahan akibat penyisipan tanda air pada subband *diagonal*. Sehingga nilai-nilai PSNR pada kedua kanal tersebut lebih rendah dibandingkan nilai PSNR pada kanal Blue. Kondisi ini juga terjadi pada frame-frame mobile.avi dan stefan.avi, meskipun ketiga video tersebut mempunyai karakteristik histogram yang berbeda. Pada gambar ini sumbu vertikal menyatakan nilai PSNR dan sumbu horizontal menyatakan frekuensi.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penyisipan menggunakan matriks U dan V membuat tanda air lebih robust dibandingkan penyisipan hanya menggunakan matriks U atau V. Matriks U dan V membawa informasi tentang geometris citra untuk bagian horisontal dan vertikal. Jika hanya menyisipkan matriks U saja maka hanya informasi geometris secara horisontal yang dapat diekstrak. Sebaliknya jika hanya menyisipkan matriks V saja maka hanya informasi geometris secara vertikal yang akan diperoleh saat ekstraksi.

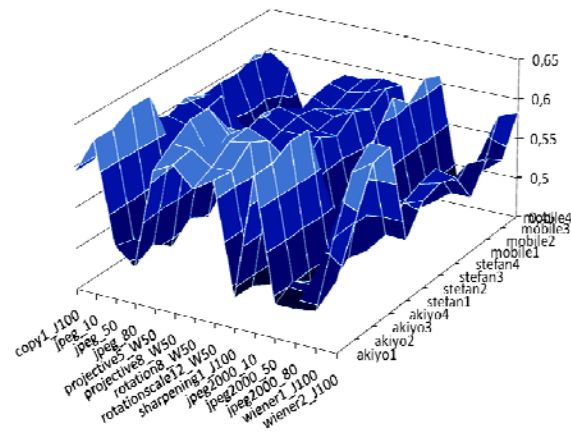
Pengukuran *robustness* tanda air menggunakan metrik *bit-error rate* (BER) dilakukan dengan mengaplikasikan fungsi `biterr()` yang disediakan oleh MATLAB. Makin



Gambar 7. Pengaruh Penyisipan Tanda Air pada Histogram Citra Frame Pertama Video Akiyo

tinggi nilai BER maka robustness tanda air rendah, sebaliknya makin rendah nilai BER maka robustness tanda air tinggi. Tetapi aturan ini tidak berlaku untuk hasil ekstraksi dari video bertanda air yang telah diserang menggunakan *copy attack*. Grafik dalam Gambar 8 memperlihatkan tanda air yang mempunyai nilai BER paling rendah adalah hasil ekstraksi dari video bertanda air yang telah diserang menggunakan pemampatan JPEG dengan faktor kualitas 50 dan 80, *sharpening*, dan pemampatan *wavelet* (JPEG2000). Sedangkan tanda air dengan nilai BER tertinggi yaitu 0,66 diperoleh dari video akiyo4 yang diserang menggunakan JPEG dengan faktor kualitas 10. Hasil pengujian BER untuk skema I berada dalam rentang 0,47 – 0,66.

Gambar 9 menunjukkan hasil ekstraksi tanda air setelah dilakukan beberapa serangan. Secara visual tampak bahwa semua tanda air dapat dikenali hasil ekstraksinya



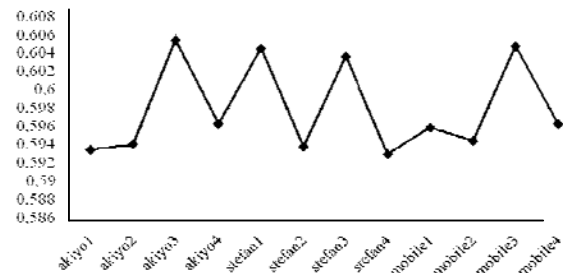
Gambar 8. Bit-Error Rate Eksperimen Skema I

	JPEG faktor kualitas 80	Sharpening	JPEG2000 0.5 bits per pixel
Akiyo3			
BER	0,48989	0,47051	0,48673
Mobile3			
BER	0,48744	0,48606	0,48294
Stefan3			
BER	0,50505	0,47379	0,50178

Gambar 9. Contoh Hasil Ekstraksi Tanda Air dari Video Bertanda Air yang telah Diserang

setelah dilakukan kompresi JPEG dan penajaman. Gambar 10 memperlihatkan nilai BER untuk tiap tanda air hasil ekstraksi dari video bertanda air yang telah diserang oleh *copy attack*.

Secara visual, ekstraksi dari video bertanda air yang diserang menggunakan pemampatan JPEG dengan faktor kualitas 50 dan 80, *sharpening*, dan pemampatan *wavelet* (JPEG2000) memberikan hasil yang lebih bagus dibandingkan video lainnya. Tanda air hasil ekstraksi tersebut diperlihatkan dalam Tabel 2.



Gambar 10. BER Tanda Air Hasil Ekstraksi dari Video Bertanda Air yang telah Diserang oleh Copy attack

Tabel 2. Perbandingan Eksperimen Skema Ganic - Eskicioglu terhadap Skema Modifikasi

	Skema Ganic - Eskicioglu	Skema Modifikasi
Aplikasi skema	Citra diam grayscale baik untuk citra asli dan tanda air	Video AVI dengan frame RGB; citra tanda air RGB
Lokasi penyisipan	Nilai singular tiap subband DWT	Matriks singular kanan dan kiri subband diagonal
Faktor intensitas α	0,005 (subband diagonal)	0,48
Detektor	Non-blind	Semi-blind
Metrik imperceptibility	Subyektif	PSNR
Metrik robustness	Koefisien korelasi Pearson	BER
Analisis imperceptibility	Dipengaruhi faktor intensitas	Dipengaruhi lokasi penyisipan
Analisis robustness (subband diagonal)	Cropping, sharpening, contrast adjustment, histogram equalization, gamma correction	Robust terhadap JPEG (50 dan 80), projective-cylinder, JPEG2000 (0,8), Wiener filtering, Copy attack

Khusus untuk *copy attack*, nilai BER yang tinggi menunjukkan *robustness* tanda air juga tinggi. Serangan tipe ini mengestimasi tanda air dari frame bertanda air kemudian menyisipkan tanda air hasil estimasi tersebut ke dalam citra lain. Jika tanda air yang diekstrak dari citra tersebut mempunyai nilai BER rendah artinya *copy attack* berhasil mendapatkan tanda air sebenarnya dari frame bertanda air. Sebaliknya jika BER tinggi artinya tanda air gagal diestimasi oleh *copy attack*, dengan kata lain tanda air *robust* terhadap *copy attack*.

Skema modifikasi memiliki tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang berbeda dibandingkan skema Ganic-Eskicioglu. Tabel 2 secara ringkas menyajikan perbedaan hasil eksperimen skema Ganic dan Eskicioglu terhadap skema modifikasi.

4. Simpulan

Nilai PSNR hasil penyisipan mempunyai rentang antara 28,05dB - 42,3dB. Hal ini menunjukkan bahwa penyisipan blok tanda air yang berbeda pada masing-masing video akan mengubah intensitas frame secara bervariasi. Perbedaan pengaruh ini bergantung pada histogram citra dan sebaran koefisien diagonal tiap kanal frame.

Robustness tanda air pada skema ditentukan oleh pemilihan ukuran blok citra yang akan disisipkan. Semakin kecil ukuran blok maka tanda air yang diekstrak akan mempunyai kualitas visual lebih bagus. Semakin sedikit informasi yang disisipkan ke dalam subband diagonal, makin sedikit koefisien diagonal yang berubah. Sehingga saat rekonstruksi oleh *inverse-DWT*, hanya sedikit blok tanda air yang berubah. Tetapi jika blok citra yang disisipkan makin besar, maka makin banyak informasi tanda air yang hilang akibat rekonstruksi tersebut.

Hasil eksperimen dan analisis evaluasi skema pemberian tanda air yang telah dilakukan menunjukkan bahwa: 1) Skema yang diusulkan menyebabkan tanda air *robust* terhadap JPEG (faktor kualitas 50 dan 80), JPEG2000 (0,1, 0,5 dan 0,8 *bits per pixel*), *sharpening* dan *copy attack* dengan tingkat kesalahan bit sekitar 49% - 60%, 2) *Imperceptibility* video bertanda air hasil berkisar pada rentang 28,05dB – 42,3dB. Nilai ini cukup rendah namun secara visual, frame bertanda air tidak berbeda dibandingkan frame orisinal.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Hibah Tim Pascasarjana Tahun 2008.

Daftar Acuan

- [1] P.W. Chan, Master Thesis, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, 2004.
- [2] R. Liu, T. Tan, IEEE Transactions on Multimedia 4 (2002) p 121-128.
- [3] E. Ganic, E. A. Eskicioglu, ACM Multimedia and Security Workshop, Magdeburg, Germany, 2004, 166.
- [4] J.R. Kaufman, Master Thesis, The College of Engineering and Technology, Ohio University, USA, 2006.
- [5] R.C. Gonzalez, P. Wintz, Digital Image Processing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2002, p.419.
- [6] Video Trace Research Group, Arizona State University, <http://trace.eas.asu.edu/yuv/>, diakses pada 28 Oktober 2008.