

Watermarking Video Menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit

Merlin Felyana¹

¹Program Studi Teknik Informatika Bilingual, Universitas Sriwijaya

¹Jln. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang

E-mail: ¹merlinfelyana@gmail.com

Abstrak

Watermarking video bertujuan membantu untuk menentukan hak otentikasi terhadap suatu video. Watermarking dilakukan dengan penyisipan citra biner terhadap suatu video dengan format MPEG1 kemudian melakukan ekstraksi terhadap watermark video. Transformasi wavelet diskrit (TWD) digunakan sebagai proses penyisipan citra terhadap suatu video dan proses ekstraksi terhadap watermark video. Analisis kualitas watermark video dapat diketahui dengan melakukan perhitungan peak signal to noise ratio (PSNR). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa 100% watermark video tidak mengalami perubahan dari video asli, serta citra biner memiliki hasil terbaik untuk digunakan sebagai citra sisipan dibandingkan dengan citra berwarna.

Kata kunci: *watermark video, citra biner, citra berwarna, transformasi wavelet diskrit.*

Abstract

The objective of video watermarking is to assist in determining the right authentication a video. Watermarking used a binary image to embed in a video format MPEG1 and extract the video watermark to redisplay the image that has been inserted in the video watermark. Discrete wavelet transform (DWT) used as embedding an image of the video and the extraction process of video watermark. The analysis quality of video watermark could be known by calculating the peak signal to noise ratio (PSNR). The results of experiments showed that 100% video watermark did not change the original video, and so binary images had the best results to be used as the image insert to compare with a color images.

Keywords: *video watermark, binary image, color image, discrete wavelet transform.*

1. Pendahuluan

Watermarking diperlukan untuk menentukan hak otentikasi terhadap suatu karya. Selain itu, untuk menghindari kejahatan komputer (*cybercrime*) dalam pelanggaran hak cipta dan pengakuan kepemilikan data atau sebuah karya seperti pada gambar, suara, dan video. Oleh karena itu, *watermarking* sangat penting untuk membantu dalam penegasan kepemilikan video. *Watermarking* video menggunakan citra berupa tanda tangan sebagai citra sisipan yang digunakan sebagai data otentikasi dari video. Setiap organisasi atau perorangan menggunakan *watermarking* sebagai identitas dari suatu karya.

Beberapa peneliti telah melakukan *watermaking* terhadap video untuk melakukan penyisipan dengan transformasi wavelet diskrit (TWD) [1-4]. Pada [1] mengusulkan suatu teknik penyisipan dengan TWD menggunakan bilangan bulat. *Watermark* disisipkan pada komponen frekuensi terendah dari setiap *frame* dan *watermark* diekstrak secara langsung dari *decode* video tanpa akses ke video asli. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode ini kuat terhadap MPEG *encoding* dan *re-encoding*, serta kuat terhadap statistik serangan.

Penelitian [2] menggunakan biner *visual* pengenalan pola, seperti logo pemilik, dalam domain TWD dari beberapa *frame* video yang dipilih secara acak. Untuk meningkatkan keamanan, data *watermark* diubah menjadi pola suara metode *chaotic mixing* sebelum proses penyisipan dilakukan. Selain itu, identifikasi dan verifikasi dari video dan sebuah penyisipan *watermark* melalui *hash* dan tanda tangan digital dalam pemantauan siaran [3]. Untuk masalah identifikasi dan verifikasi, *hash* yang bernilai besar dihitung dengan 3D TWD dan median kuantisasi. Kemudian tanda tangan diproses dan rahasia berbasis diperoleh. Setelah itu *hash* yang bernilai kecil dan tanda tangan video digabungkan untuk menciptakan *embedding watermark*.

Watermarking menggunakan TWD untuk mendapatkan *watermarking* yang tidak terlihat nilai piksel dari video *host* digantikan oleh nilai piksel *watermark* video [4]. Jenis *watermarking* ini menyediakan cara analisis forensik untuk mengurangi pembajakan media. *Watermark* video memberikan ketahanan terhadap serangan geometris seperti rotasi, *cropping*, dan waktu perubahan tanpa mengurangi keamanan *watermark*.

Berdasarkan rujukan [1-4], tulisan ini menerapkan TWD pada sebuah citra tanda tangan untuk proses *watermarking* video. Proses penyisipan dilakukan dengan memilih *frame* video asal terlebih dahulu, untuk memilih *frame* tidak ada ketentuan secara khusus. Tulisan ini mengadopsi penelitian sebelumnya [] yang menggunakan penyisipan pada *frame motionless*, yaitu pada *frame* ke-5 untuk disisipi citra. Selain itu juga memanfaatkan kelemahan *human visual*, yaitu kurangnya perhatian pada detik awal pemutaran video. Proses penyisipan dan ekstraksi menggunakan TWD, dekomposisi baris dan dekomposisi kolom. Proses dekomposisi untuk mendapatkan nilai dari *frame* dan citra sisipan, kemudian dilakukan perhitungan dengan XOR untuk menyisipkan citra pada *frame* video. Selanjutnya, dilakukan pengembalian nilai *frame* video dengan menggunakan TWD balik agar video dapat kembali terbaca pada *video player*. *Watermarking* digunakan pada tulisan ini adalah *perceptual transparency*, karena citra sisipan berupa tanda tangan tidak terlalu terlihat secara kasat mata pada saat pemutaran video. Sehingga seolah-olah tidak merusak keadaan video secara *visual*.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa 100% *watermark* video tidak mengalami perubahan dari video asli, serta citra biner memiliki hasil terbaik untuk digunakan sebagai citra sisipan dibandingkan dengan citra berwarna.

2. Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini menggunakan tahapan sebagai berikut:

1. melakukan kajian *watermarking*, *transformasi wavelet diskrit*, analisis penyisipan, ekstraksi, dan perbandingan;

2. mengambil data video tertentu;
3. mengembangkan perangkat lunak dengan pendekatan *rational unified process*;
4. menerapkan perangkat lunak untuk *watermarking* pada suatu data video;
5. menganalisis terhadap hasil penggunaan perangkat lunak;
6. membahas dan membuat kesimpulan.

3. Watermarking

Watermarking merupakan suatu bentuk dari *steganography* dalam mempelajari bagaimana teknik penyimpanan suatu data (*digital*) dalam data *host digital* yang lain. *Watermarking* terkait dengan bidang *steganography* dan *cryptography*, namun cukup berbeda dengan kedua bidang ini karena *watermarking* memanfaatkan kekurangan-kekurangan sistem indera manusia seperti mata dan telinga. Adanya kekurangan inilah, metode *watermarking* ini dapat diterapkan pada berbagai media *digital* [1].

Jadi, *watermarking* merupakan suatu cara untuk menyembunyikan atau menanamkan data atau informasi tertentu dalam suatu data *digital* lainnya dan mampu menghadapi proses pengolahan sinyal *digital* sampai pada tahap tertentu. *Watermarking* merupakan proses penyisipan sinyal atau data dalam suatu media, sedangkan *watermark* video merupakan video yang telah mengandung informasi.

3.1 Karakteristik *Watermarking*

Beberapa karakteristik atau sifat khusus tertentu yang harus dimiliki oleh sebuah *watermarking*. Sifat-sifat tersebut sangat bergantung pada aplikasi *watermarking* yang dibuat, dengan kata lain tidak ada sekelompok sifat tertentu yang harus dipenuhi oleh semua teknik *watermarking*. Meskipun demikian ada beberapa sifat yang secara umum dipunyai aplikasi *watermarking*. Sifat-sifat tersebut diantaranya adalah sebagai berikut [5].

1. *Perceptual transparency*

Sebagian besar aplikasi *watermarking* mengharuskan algoritma *watermarking digital* untuk menanamkan *watermark* sedemikian sehingga tidak mempengaruhi kualitas media yang disisipi *watermark*. Media yang telah disisipi *watermark* haruslah sulit dibedakan dengan media aslinya oleh indera manusia.

2. *Robustness*

Watermarking digunakan untuk membuktikan keotentikan media induk, tidak disyaratkan memiliki sifat ini. Jika *watermarking* digunakan untuk aplikasi lain, diperlukan *watermark* yang selalu tertanam di dalam media induk, meskipun media induknya mengalami penurunan kualitas akibat serangan.

3. *Security*

Proses penanaman *watermarking* haruslah aman, sehingga pihak yang tidak berhak harus tidak dapat mendeteksi keberadaan data yang ditanamkan, dan tidak mampu menghilangkan data tersebut.

3.2 *Watermarking* Video

Video pada dasarnya merupakan susunan dari beberapa *frame*, dan setiap *frame* ini dipandang sebagai sebuah citra diam. Oleh karena itu sebagian besar metode pada *watermarking* citra dapat digunakan pada *watermarking* video.

Watermarking video harus diikuti oleh beberapa persyaratan, seperti: penyisipan *watermark* video data harus tidak terlihat oleh mata biasa dan sulit untuk dihilangkan tanpa mengurangi kualitas dari video [2].

Watermarking pada video *watermark* dapat dilakukan pada bagian *frame motionless*. Agar dapat terhindar dari penghilangan *watermark* oleh pihak-pihak yang tidak berhak maka penyisipan *watermarking* dilakukan dengan menggunakan identik *watermark* pada bagian *frame motionless*.

Keuntungan *watermarking* video adalah banyaknya data yang dapat disembunyikan di dalamnya, serta fakta bahwa video merupakan *streams* dari gambar-gambar menyebabkan adanya distorsi pada salah satu *frame* gambar tidak terlihat dengan mudah oleh mata manusia. Bila semakin banyak data pesan yang disembunyikan, maka perubahan pada video menjadi semakin mudah terlihat.

4. Transformasi Wavelet

Transformasi wavelet memiliki dua model, yaitu: transformasi wavelet kontinu (TWK) dan transformasi wavelet diskrit (TWD). Selanjutnya, tulisan ini hanya membahas TWD untuk keperluan *watermarking* video.

4.1 Transformasi Wavelet Diskrit (TWD)

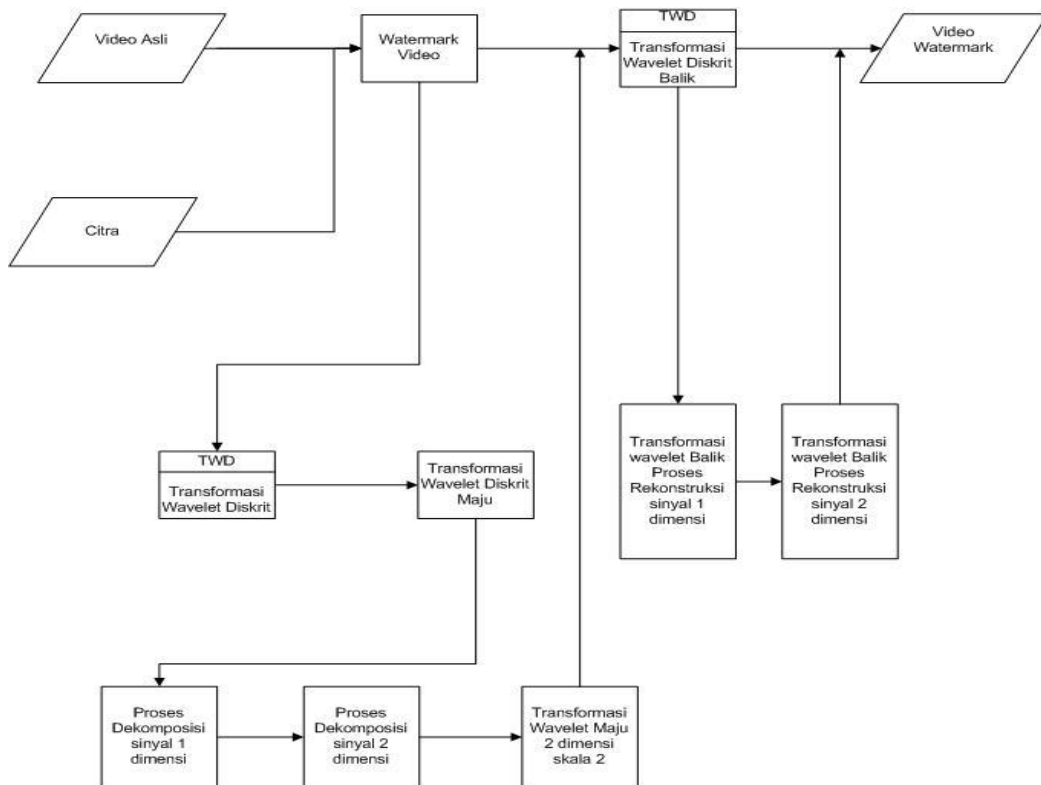
Proses transformasi wavelet ini pertama kali dapat diwakili dengan proses melewati sinyal asli ke dalam *low pass filter* (LPF) dan *high pass filter* (HPF). Setelah itu, nilai skala dari wavelet dapat diubah dengan menggunakan proses *upsampling* dan *down sampling*. Proses *watermarking* video dengan TWD secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1 video asli dimasukkan dalam perangkat lunak yang telah dibuat bersamaan dengan citra sisipan yang digunakan sebagai media *watermark*. Pada proses *watermarking* dengan TWD yang didalamnya terdapat TWD maju dan TWD balik. Proses TWD maju dilakukan proses dekomposisi, yaitu menguraikan sinyal asli ke dalam komponen-komponen aslinya. Karena bersifat multiresolusi, maka model *wavelet* dapat dengan mudah digeneralisasi ke ukuran dimensi lain dimana $n > 0$. Pada umumnya, suatu sinyal seperti suara ditransformasikan dengan transformasi diskrit satu dimensi, sedangkan pengolahan citra dua dimensi, menurut model wavelet juga diturunkan dalam bentuk dua dimensi, sehingga dapat diimplementasikan untuk memproses citra *digital*. Setelah dilakukan TWD maju dua dimensi skala dua, maka di dekomposisi menjadi empat *subband* sesuai frekuensinya yaitu LL (*low, low*), LH (*low, high*), HL (*high, low*), HH (*high, high*) dengan menggunakan transformasi wavelet dengan filter HAAR. Pada TWD balik dilakukan proses rekonstruksi, yaitu proses mengembalikan kembali komponen-komponen frekuensi menjadi sinyal semula.

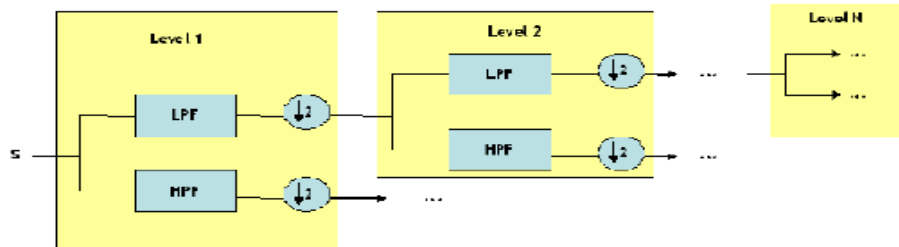
4.2 Transformasi Wavelet Diskrit Maju

Proses dekomposisi dilakukan untuk menguraikan sinyal asli ke dalam komponen-komponen aslinya. Proses dekomposisi pada 1 dimensi digambarkan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan penyaringan urutan sinyal masukkan yang diperoleh dari mengkonvolusikan urutan tersebut dengan sekelompok bilangan lain. Pada proses



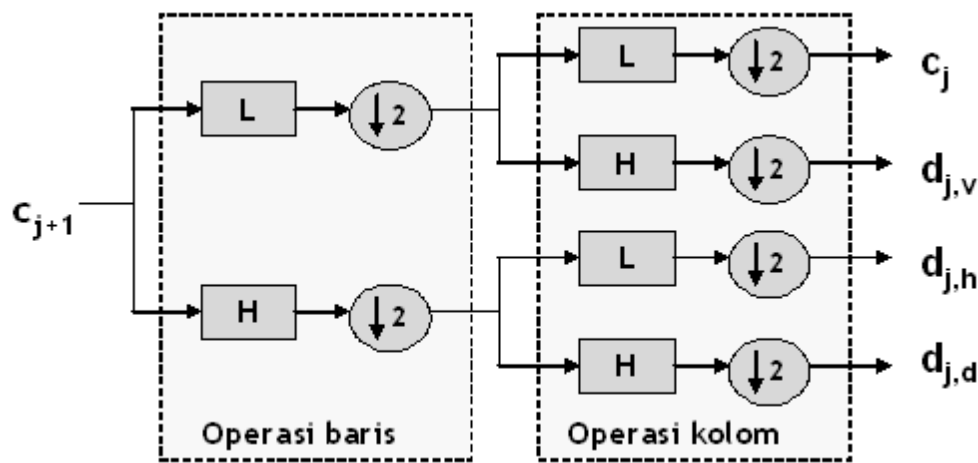
Gambar 1: Proses *Watermarking* dengan TWD



Gambar 2: Transformasi Wavelet dengan Dekomposisi sinyal sebanyak N kali [6]

dekomposisi data citra, dimulai dengan melakukan dekomposisi terhadap baris dari data citra yang diikuti dengan operasi dekomposisi terhadap kolom pada koefisien citra keluaran dari tahap pertama. Cara kerja dekomposisi dengan TWD Maju dapat dilihat pada Gambar 3.

Blok L melambangkan *lowpass filter*, sedangkan H melambangkan *highpass filter*. Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan operasi konvolusi terhadap baris-baris citra untuk selanjutnya di *downsampling* dengan faktor 2. Langkah berikutnya adalah melakukan kembali konvolusi terhadap kolom-kolom pada koefisien citra keluaran dari langkah pertama sesuai dengan proses yang digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Proses Dekomposisi Sinyal Dua Dimensi Level Satu [6]

Hasil tahap dekomposisi di atas berupa *subband-subband* detail yang terdiri dari:

1. *Lowpass residue*, yang merupakan pendekatan sinyal pada resolusi j ;
2. *Subband vertikal* ($d_{j,v}$);
3. *Subband horisontal* ($d_{j,h}$); dan
4. *Subband diagonal* ($d_{j,d}$).

Proses dekomposisi untuk level selanjutnya dilakukan terhadap *lowpass residue* dari proses sebelumnya.



Gambar 4: Transformasi Wavelet Maju Dua Dimensi Skala Dua (Marl, 2009).

Gambar 4 menunjukkan bahwa bila citra asli didekomposisi menjadi empat *subband* sesuai frekuensinya yakni L_L , L_H , H_L , H_H menggunakan transformasi wavelet dengan filter HAAR [7].

4.3 Transformasi Wavelet Diskrit Balik

Proses rekonstruksi adalah proses mengembalikan komponen-komponen frekuensi menjadi sinyal semula melalui proses *upsampling* dan penyaringan dengan koefisien-koefisien filter balik.

Dengan cara yang sama proses dekomposisi dan menggunakan koefisien yang sama, proses rekonstruksi dilakukan dengan konvolusi yang kemudian diikuti oleh proses *upsampling* dengan faktor 2. Proses *upsampling* dilakukan untuk mengembalikan dan menggabungkan sinyal seperti semula. Koefisien-koefisien *filter* akan membentuk

suatu kumpulan *filter* (*filter bank*), sehingga harus memiliki hubungan rekonstruksi sempurna (*perfect reconstruction*), yang berarti bahwa sinyal hasil transformasi wavelet balik harus sama dengan sinyal asli sebelum transformasi dilakukan. Proses rekonstruksi dengan level (skala) banyak didapat dengan melakukan iterasi dari struktur dasar sehingga didapat sisa *lowpass* yang bersesuaian untuk masing-masing tingkat.

5. Analisis Watermarking

Analisis *watermarking* terdiri dari tiga bagian, yaitu: analisis penyisipan, analisis ekstraksi dan analisis perbandingan.

5.1 Analisis Penyisipan

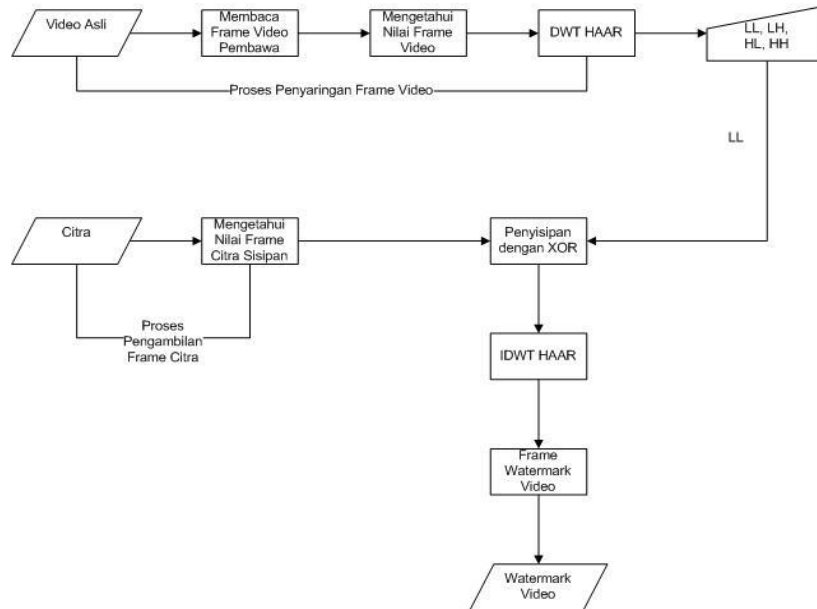
Teknik penyisipan menggunakan TWD yang dilakukan pada salah satu *frame* video dan citra sisipan. Langkah awal penyisipan ini adalah mengetahui nilai *frame* video dan nilai dari citra sisipan. Nilai *frame* video direpresentasikan dalam bentuk matriks, selanjutnya nilai *frame* video ditransformasikan menggunakan TWD maju. Pada bagian ini dilakukan proses dekomposisi data dimulai dengan melakukan dekomposisi baris dari data video yang diikuti dengan dekomposisi kolom pada koefisien data keluaran pertama. Setelah difilterisasi menggunakan TWD *HAAR*, maka menghasilkan empat *subband*, yaitu LL, LH, HL, HH. Namun, untuk proses penyisipan digunakan *frame* yang mengandung *subband* LL. Hasil nilai transformasi dari *frame* video dan citra sisipan tersebut dikombinasikan dengan operasi XOR. Pada saat inilah *watermark* ditanamkan ke dalam *frame* video *host*. Setelah didapat nilai dari operasi XOR, maka dilanjutkan dengan permutasi menggunakan TWD balik untuk membentuk kembali nilai *frame* video *host*. Pada tahap ini dilakukan proses rekonstruksi dan dilanjutkan dengan proses penyaringan. Semua tahapan proses tersebut dilakukan untuk penyisipan citra sisipan pada video *host*.

Kesulitan dalam melakukan proses *watermarking* ini adalah memfilterisasi menjadi 4 *subband*, yaitu LL, LH, HL, dan HH. Kemudian menentukan yang mana *subband* LL dari keempat *subband* tersebut. Untuk itu, pada saat proses dekomposisi perlu diatur posisi kolom dan baris untuk mendapatkan *subband* LL, sehingga *subband* LL lebih mudah diperoleh. Untuk mempermudah pemahaman proses penyisipan citra pada video *host* diperlihatkan pada Gambar 5.

5.2 Analisis Proses Ekstraksi

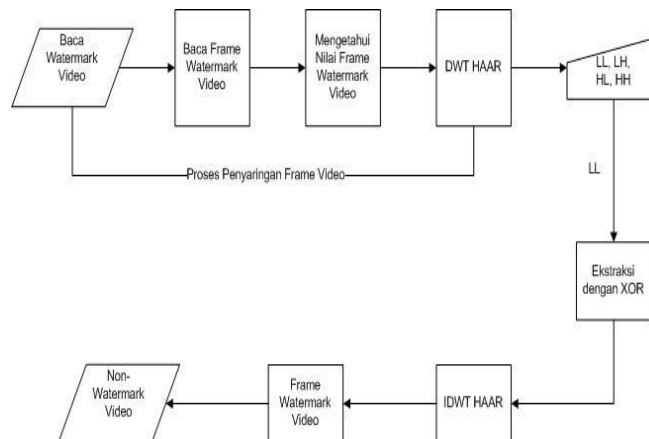
Proses ekstraksi *watermark* adalah proses pengambilan citra sisipan dan memisahkannya dari video pembawa. Tahapan dalam proses ekstraksi meliputi: membaca *frame* video yang telah di-*watermark* dan mengetahui nilai dari *frame* video tersebut. Kemudian nilai matriks dari *frame* tersebut difilterisasi menggunakan TWD *HAAR*, sehingga menghasilkan 4 *subband* sinyal. *Subband* adalah kumpulan koefisien transformasi yang dihasilkan dari proses filterisasi oleh *highpass filter* dan *lowpass filter* secara berurutan. Dalam proses *highpass filter* dan *lowpass filter* membutuhkan matriks dekomposisi baris dan dekomposisi kolom untuk mendapatkan kembali nilai dari *frame* video, begitu pula untuk mendapatkan nilai dari citra sisipan. Adapun *subband* yang dihasilkan tersebut adalah LL, LH, HL, HH. Dalam proses ini dilakukan pemilihan *subband* yang digunakan sebagai tempat penyembunyian informasi. Dipilih

subband LL yang kemudian nilai-nilai *frame* pada subband LL dikurangi dengan nilai-nilai *frame* pada citra sisipan yang nilainya telah dinormalisasi dengan nilai XOR yang dimasukkan *user* di awal pada proses penyisipan. Dilanjutkan dengan proses pengembalian nilai *frame* menggunakan *invers* TWD.



Gambar 5: Proses Penyisipan dengan XOR

Kesulitan proses ekstraksi ini terletak pada penentuan apakah proses *watermark* telah dilakukan dengan benar atau tidak, karena ketika proses *watermark* dilakukan dengan benar, dapat dikatakan proses ekstraksi pun benar. Digram alir dari proses ekstraksi citra dari video diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6: Proses Ekstraksi

5.3 Analisis Perbandingan

Penghitungan kualitas video dapat dilakukan dengan menghitung *peak signal to noise ratio* (PSNR) sebagai pembandingan kualitas video hasil rekonstruksi dengan video asal. PSNR didefinisikan melalui *signal noise ratio* (SNR). SNR digunakan untuk mengukur tingkat kualitas sinyal. Nilai ini dihitung berdasarkan perbandingan antara sinyal dengan nilai derau. Kualitas sinyal berbanding lurus dengan nilai SNR. Semakin besar nilai SNR semakin baik kualitas sinyal yang dihasilkan. Nilai PSNR berkisar antara 20 dan 40 [8].

Penentuan nilai PSNR pada Persamaan (2) didasarkan pada nilai *root mean squared error* (RMSE) Persamaan (1). Satuan nilai PSNR dinyatakan dalam skala desibel (dB) [8].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum [f(i,j) - F(i,j)]^2}{N^2}} \quad (1)$$

N^2 adalah hasil perkalian panjang dan lebar *frame* dalam piksel; $F(i,j)$ adalah *Frame* hasil rekonstruksi; dan $f(i,j)$ adalah *Frame* asal.

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{RMSE} \right) \quad (2)$$

Nilai 255 dalam Persamaan (2) menyatakan batas atas dari sebuah piksel.





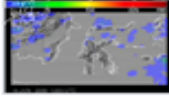



Perbandingan antara video *original* dengan video yang telah disisipkan pada dasarnya terlihat sama dan hampir tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun hal tersebut dapat dilihat dari perbandingan ukuran kualitas video yang ter-*watermark* dan video *original* dengan menggunakan perhitungan (PSNR).

6. Hasil dan Pembahasan





Pengujian dilakukan dengan dua eksperimen, yaitu: eksperimen pertama menggunakan 10 objek *host* dilakukan dengan penyisipan citra biner tanda tangan berukuran 40x40 dan format JPG. Eksperimen kedua dilakukan dengan citra biner dan citra berwarna lambang Universitas Sriwijaya dengan masing-masing berformat JPG. Hasil percobaan pertama dan kedua masing-masing diperlihatkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Sepuluh objek video dengan format MPEG1 mempunyai ekstraksi *watermark* dengan nilai PSNR berbeda, eksperimen ini menyisipkan citra *watermark* berupa tanda tangan hitam putih rata-rata untuk 10 objek video memiliki hasil PSNR, yaitu minimal 23,185 dB pada video *centaur_1.mpg*, pada video *hst_2.mpg* memiliki nilai PSNR maksimal, yaitu 29,727 dB. Semakin tinggi nilai PSNR artinya semakin identik citra tersebut terhadap citra aslinya.

Sedangkan eksperimen kedua dilakukan dengan video format MPEG1 dan citra sisipan yang berbeda, diperoleh hasil bahwa citra sisipan lambang Universitas Sriwijaya (UNSRI) dengan warna hitam putih memiliki nilai PSNR 26,272 dB, sedangkan citra sisipan lambang UNSRI RGB memiliki nilai PSNR yang lebih kecil, yaitu 20,291 dB.

No.	Frame Video ter-watermark	PSNR (dB)	Ekstraksi
1.	Bola.mpg 	26.118	
2.	Centaur_1.mpg 	23.185	
3.	Flooding.mpg 	26.319	
4.	Grb_1.mpg 	23.194	

Gambar 7: Ekstraksi video MPEG1 dengan citra sisipan tanda tangan hitam putih

No.	Frame video ter-watermark	PSNR (dB)	Ekstraksi	Ket.
1.	Bola.mpg 	26.272		Dengan citra sisipan lambang usri hitam putih
2.	Grb_1.mpg 	20.291		Dengan citra sisipan lambang usri RGB

Gambar 8: Ekstraksi dengan video MPEG1 dan citra sisipan yang berbeda

Berdasarkan hasil eksperimen terlihat bahwa proses *watermark* pada video dengan teknik TWD memiliki hasil yang memadai, karena citra sisipan pada video tidak terlihat secara kasat mata walaupun setelah diekstraksi citra sisipan masih dapat dikenali dan nilai PSNR pun cukup baik, dengan nilai maksimal hampir mencapai 30 dB.

7. Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a) *watermarking* video dapat dilakukan dengan transformasi wavelet diskrit (TWD);
- b) citra sisipan menggunakan citra biner tanda tangan memiliki hasil terbaik dibandingkan menggunakan citra biner dan warna berlogo UNSRI; dan
- c) perhitungan *peak signal to noise ratio* (PSNR) menunjukkan bahwa antara video *original* dan video hasil *watermark* memiliki hasil hampir serupa, sehingga secara kasat mata sulit membedakan kedua video tersebut.

Referensi

- [1] S. N. Merchant, dan A. S. Harchandi, “*Watermarking of Video Data Using Integer to Integer Discrete Wavelet Transform*”, IEEE, Mumbai, 2003.
- [2] R. Martinez, R. Reyes, C. Cruz, M. Nakano, dan H. Perez, “*A DWT based Video Watermarking Scheme Resilient to MPEG2 Compression and Collusion Attack*”, IEEE, New Zealand, 2008.
- [3] L. Liu, L. Lu, dan D. Peng, “*The Design of Secure Video Watermarking Algorithm in Broadcast Monitoring*”, IEEE, China, 2008.
- [4] S. Gandhe, T. U. Potdar, dan K. T. Talele, “*Dual Watermarking in Video Using Discrete Wavelet Transform*”, Second International Conference on Machine Vision, India, 2009.
- [5] A. Priyoyudo, A. Sugiharto, dan Indriyati, “*Teknik Pembuktian Kepemilikan Citra Digital dengan Watermarking pada Domain Wavelet*”, Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
- [6] E. Marl, “*Implementation and Analysis Watermarking MPEG Video Base on Wavelet Transform*”, ISSN 1907-5022, Yogyakarta, 2009.
- [7] D. Putra, “*Pengolahan Citra Digital*”, Yogyakarta: Andi, 2009.
- [8] D. F. Alfatwa, “*Watermarking pada Citra Digital Menggunakan Discrete Wavelet Transform*”, Institute Teknologi Bandung, Bandung, 2007.