

TEKNIK PEMBUATAN *DIGITAL AUDIO WATERMARKING* DAN TEKNIK UNTUK MENDETEKSINYA

Teuku Reza Auliandra Isma

Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung
e-mail: reza.auliandra@gmail.com

ABSTRAK

Digital watermarking adalah sebuah teknologi untuk menyembunyikan pesan rahasia pada sebuah file komputer tanpa disadari user. Watermark tidak diketahui user dan tidak memengaruhi penggunaan file tersebut. Digital audio watermarking melibatkan penyembunyian data pada sebuah file audio. Salah satu skema paling umum dalam pembuatan digital audio watermark adalah DC watermarking. Skema DC watermarking menyembunyikan data watermark pada komponen sinyal audio yang memiliki frekuensi rendah. Selain DC watermarking, terdapat teknik lain untuk menyimpan watermark pada file audio seperti phase encoding, spread spectrum watermarking, dan echo watermarking. Saat ini beberapa teknik untuk mendeteksi digital watermark pada file audio sudah dikembangkan. Meskipun ada yang masih terhalang pada kemampuan komputasi, beberapa teknik sudah dapat digunakan. Salah satunya adalah menggunakan independent component analysis untuk mendeteksi adanya watermark tanpa memiliki file original (blind watermark detection).

Kata kunci: *digital audio watermark, dc watermarking, phase encoding, echo watermarking, spread spectrum watermarking, independent component analysis, blind detector.*

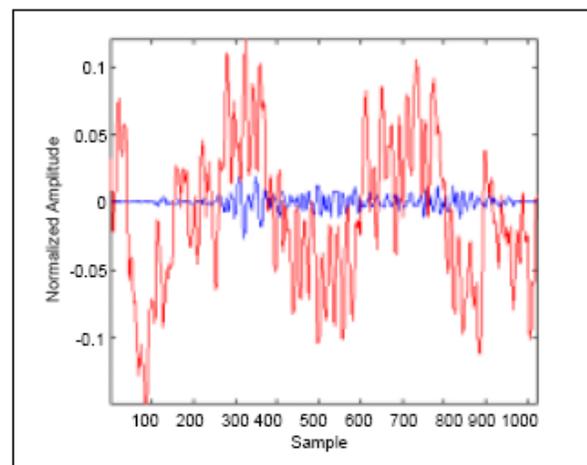
1. PENDAHULUAN

Digital watermark adalah sebuah informasi pembeda yang ditempelkan pada data dengan tujuan untuk melindungi data tersebut di mana akan sangat sulit untuk memisahkan atau menghilangkan informasi tersebut dari data yang bersangkutan. Karena watermarking dapat diterapkan pada berbagai tipe data, maka konstrainnya akan mengambil bentuk yang berbeda pula. Ada pula masalah lain, yaitu *robustness*. Yang harus diperhatikan adalah ketahanan terhadap manipulasi, tidak bisa

dihilangkan secara statistik, serta harus tahan terhadap watermarking berulang.

Watermarking, seperti kriptografi, juga menggunakan kunci rahasia untuk memetakan informasi kepada pemilik, walaupun caranya berbeda karena pada watermarking objeknya harus tetap dapat berfungsi dengan baik. Informasi yang ditambahkan lewat watermarking biasanya berupa identitas pemilik, penerima, dan distributor ataupun tanggal transaksi.

Digital audio watermarking melibatkan penyembunyian data pada sebuah file audio. Hak atas kekayaan intelektual adalah pendorong utama untuk penelitian di bidang ini. Untuk melawan pembajakan musik online, sebuah digital watermark ditambahkan pada semua rekaman sebelum diterbitkan yang dapat digunakan tidak hanya untuk menentukan pencipta aslinya tapi juga menentukan user yang telah membelinya secara legal. Operating system terbaru saat ini sudah memiliki perangkat lunak *Digital Right Management* (DRM) yang akan mengambil watermark dari sebuah file audio sebelum memainkannya. Perangkat lunak DRM ini akan memastikan bahwa user sudah membayar untuk lagu tersebut dengan membandingkan watermark yang ada.



Gambar 1. Frame sinyal audio dan hasil watermark

Selain untuk permasalahan hak cipta, teknologi watermarking dapat digunakan untuk memberikann informasi tambahan yang terkait dengan lagu tersebut, seperti lirik, informasi album atau sebuah web page kecil. Watermarking dapat digunakan pada sebuah voice conference untuk menentukan pihak yang sedang berbicara saat itu. Aplikasi dari digital audio watermarking pada video adalah *subtitle* yang tertanam.

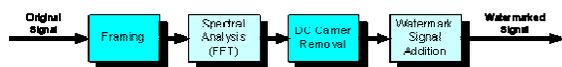
Pendeteksian watermark merupakan sesuatu yang krusial pada teknologi watermarking. Saat ini beberapa teknik untuk mendeteksi digital watermark pada file audio sudah dikembangkan. Meskipun ada yang masih terhalang pada kemampuan komputasi. Salah satunya adalah penggunaan independent component analysis untuk mendeteksi adanya watermark tanpa memiliki file original (*blind watermark detection*).

2. TEKNIK WATERMARKING

Pada bab ini akan dibahas metode/teknik watermarking yang dapat digunakan pada file audio. Teknik tersebut antara lain: *DC Watermarking Scheme*, *Phase Encoding*, *Spread Spectrum Watermarking* dan *Echo Watermarking*.

2.1. DC Watermarking Scheme

DC watermarking scheme menyembunyikan data *watermark* pada komponen berfrekuensi rendah dari sinyal audio, dimana frekuensi tersebut berada di bawah batas pendengaran manusia. Proses penyisipan sebuah watermark ke dalam sebuah *file* audio dapat dibagi menjadi 4 proses utama. Sebuah *file* audio original dalam bentuk gelombang diberikan ke sistem dimana gelombang tersebut akan dibagi, dianalisa dan diproses untuk menyimpan *watermark* yang tidak dapat didengar ke dalam sinyal keluaran



Gambar 2. Proses penyisipan *watermark*

Pada tahap *framing*, audio file akan dibagi menjadi beberapa *frame* berdasarkan durasi sebesar 90 millisecond. Ukuran *frame* yang dipilih adalah 90ms agar watermark tersebut tidak memberikan distorsi yang dapat didengar pada file. Dengan ukuran *frame* sebesar 90 ms, *bit rate* untuk data yang diberikan *watermark* setara dengan $1 / 0.09 = 11.1$ bits per detik.

Setelah melakukan *framing* pada sinyal audio, dilakukan analisis *spectral* pada sinyal dengan menggunakan *fast fourier transform* (FFT) untuk menghitung komponen

berfrekuensi rendah dari setiap frame dan juga daya keseluruhan frame. Pemrosesan FFT dapat dilakukan dengan menggunakan Matlab, menggunakan persamaan FFT berikut:

$$H(k) = \sum_{n=1}^N f(n) e^{-j2\pi(n-1)(k-1)/N} \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

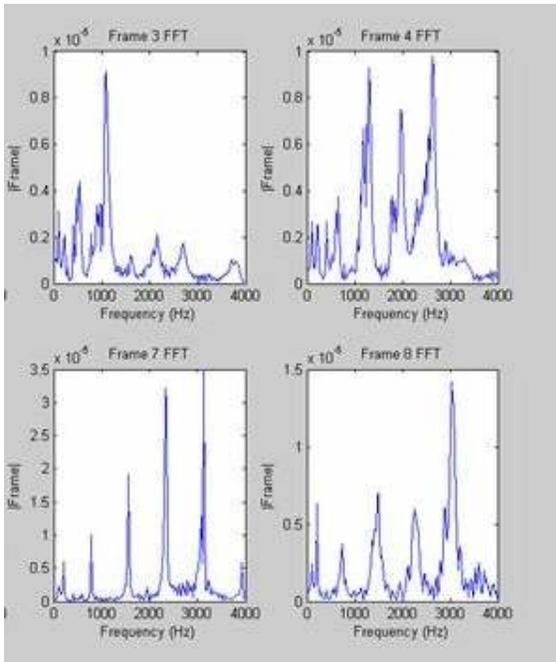
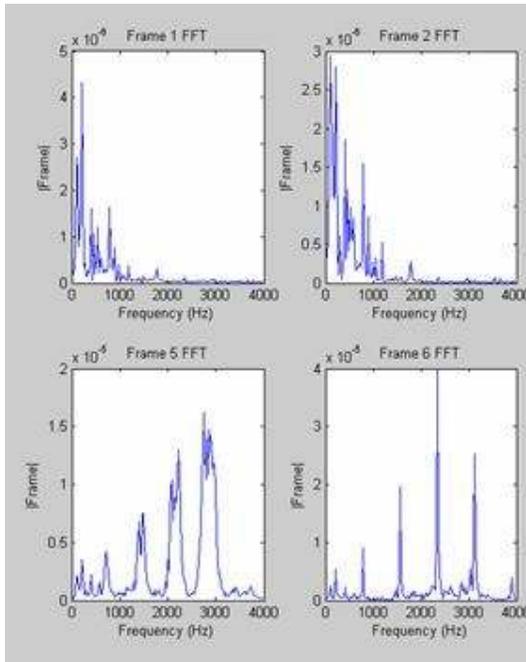
Dengan sebuah audio berkualitas CD 16 bit standard dengan *sampling rate* sebesar 44.100 *sample* per detik, sebuah *frame* akan memiliki 3969 *sample*. Jika kita melakukan FFT pada sebuah frame berukuran sama dengan $N = 3969$, kita akan mendapatkan resolusi frekuensi sebagai berikut:

$$\frac{44,100 \text{ Hz}}{2 \times \frac{3969}{2} \text{ samples}} = 5.6 \text{ Hz resolution} \quad (2)$$

Berdasarkan hasil FFT, kita bisa menentukan komponen berfrekuensi rendah pada *frame* $F(1)$, sekaligus dengan daya spektral yang dimilikinya. Untuk menghitung daya *frame*, dapat digunakan penjumlahan kuadrat amplitudo spektrum:

$$P_{Frame}(n) = \frac{1}{\left(\frac{3969}{2} + 1\right)} \sum_{k=1}^{3969+1} F(k)^2 \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

Gambar di bawah ini menunjukkan contoh dari spektral analisis sebelumnya pada 8 frame pertama dari sebuah file audio. Alur spektrum yang ditampilkan dibatasi dari frekuensi 0 hingga 4000 Hz agar mudah dilihat.



Gambar 3. Hasil analisis spektral

Berdasarkan hasil analisis spektral pada setiap frame, kita mendapatkan komponen berfrekuensi rendah yang akan dihilangkan dari setiap frame dengan menggunakan rumus berikut:

$$f(n) = \sum_{k=1}^{3009n} f(k) - F(1) \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

Analisis spektral sebelumnya juga menghasilkan daya spektral dari setiap frame yang sekarang akan digunakan untuk menyisipkan sinyal data watermark. Daya pada setiap frame menentukan amplitudo dari watermark yang dapat ditambahkan ke spektrum berfrekuensi rendah pada frame tersebut. Ukuran watermark yang ditambahkan dihitung dengan rumus berikut:

$$f(n) = \sum_{k=1}^{3009n} f(k) + K_s \times w(n) \times P_{frame}(n) \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

Dimana K_s adalah faktor skala yang memastikan watermark yang disisipkan berada di bawah batas ambang pendengaran manusia dan $w(n)$ mewakili data sinyal watermark yang merupakan data binary bernilai 1 atau -1.

Setelah proses sebelumnya, file audio sudah memiliki watermark dan siap untuk digunakan.

Proses meng-ekstrak digital watermark dari audio file mirip dengan teknik untuk menyisipkan watermark tersebut. Pemrosesan komputer untuk melakukan akan sedikit lebih ringan. Sebuah file audio dengan watermark di dalamnya akan diberikan ke sistem untuk kemudian dibagi menjadi frame, dianalisa dan diproses untuk membuang data yang disisipkan sebagai watermark.

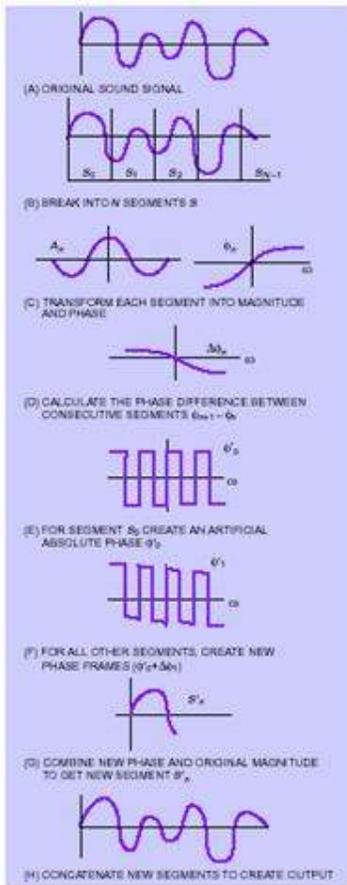


Gambar 4. Proses pengambilan watermark

2.2. Phase Encoding

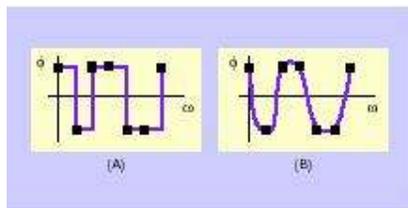
Teknik *Phase Encoding* memanfaatkan kelemahan manusia yang tidak dapat menyadari perubahan fase absolut dengan melakukan encoding data watermark pada sebuah fase digital buatan.

Phase encoding bekerja dengan memecah sinyal audio menjadi beberapa frame dan melakukan spectral analysis pada setiap frame tersebut. Setelah spektrum selesai dihitung, panjang dan fase dari fase yang berhubungan dibandingkan dan sebuah fase digital buatan diciptakan untuk menyimpan data. Fase buatan tersebut disesuaikan dengan fase dari setiap frame dan fase frame yang baru tersebut digabungkan untuk membentuk sinyal dengan watermark di dalamnya.



Gambar 5. Phase Encoding

Fase dari frame yang sudah disesuaikan juga dapat dihaluskan untuk membatasi jumlah distorsi yang terdapat pada sinyal dengan watermark. Akan tetapi, data rate yang dapat disimpan pada watermark menjadi lebih terbatas.

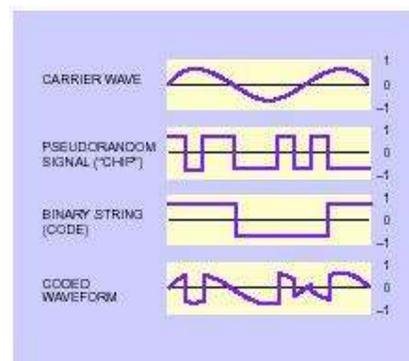


Gambar 6. Wave Smoothing

Teknik watermark phase encoding memberikan data rate yang lebih tinggi dibandingkan metode sebelumnya, yaitu sekitar 8 hingga 32 bits per detik. Teknik akan lebih efektif jika ada noise pada sinyal sebelumnya.

2.3. Spread Spectrum Watermarking

Teknik watermark ini bergantung pada direct sequence spread spectrum (DSSS) untuk menyebarkan sinyal dengan watermark ke seluruh spektrum frekuensi yang dapat didengar dengan seakan-akan mirip white noise, pada tingkat kekuatan yang tidak dapat didengar. Sebuah deret pseudorandom (chip) digunakan untuk membagi sebuah gelombang carrier yang menciptakan sinyal watermark yang akan disebarkan. Kode ini disesuaikan hingga tingkat sekitar 0.5% dari jarak dinamik dari file audio original, sebelum dicampur dengan file audio original.



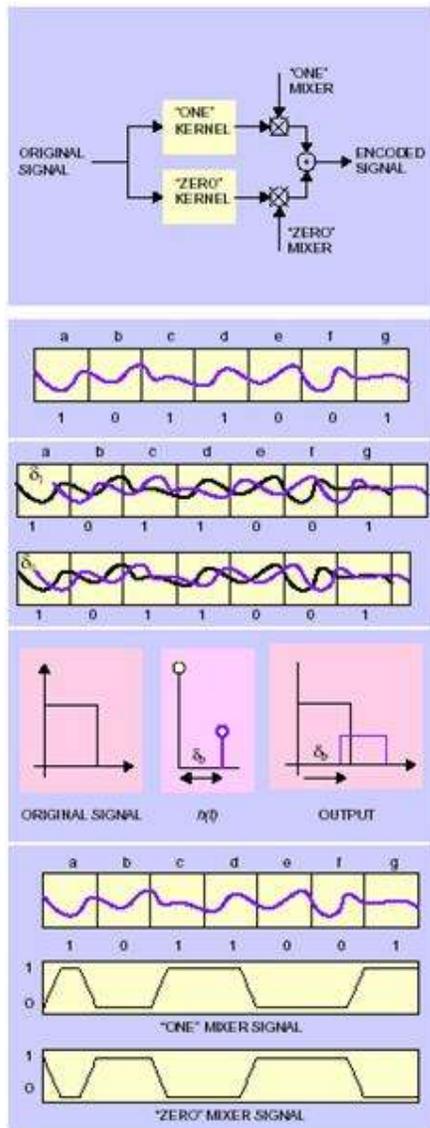
Gambar 7. Spread Spectrum Watermarking

Data rate dari teknik ini jauh lebih rendah dibandingkan metode sebelumnya, dan berkisar antara 4 bits per detik. Data rate yang rendah adalah konsekuensi dari robustness dari algoritma ini karena kekuatan noise yang tinggi.

2.4. Echo Watermarking

Teknik menyembunyikan data gaung bergantung pada membelokkan sebuah sinyal audio dengan cara dimana akan terjadi kesalahan persepsi dari sistem pendengaran manusia sebagai distorsi lingkungan.

Sinyal audio yang asli akan digandakan menjadi dua segmen (kernels), satu akan menjadi sinyal original yang sesuai dengan waktunya dan satunya lagi akan terlambat. Setiap kernel akan merepresentasikan bit 0 atau 1 untuk pengiriman data watermark. Aliran bit dari data watermark digunakan untuk mencampur dua kernel bersama.. Sinyal dicampur dengan memindahkan secara perlahan untuk mengurangi distorsi.



Gambar 8. Echo Watermarking

3. TEKNIK DETEKSI

Pada bab ini akan dibahas salah satu metode/teknik untuk mendeteksi watermarking yang dapat digunakan pada file audio yaitu *blind source separation* dengan menggunakan model *independent component analysis*.

3.1 Independent Component Analysis

Independent component analysis adalah framework statistik untuk memperkirakan faktor atau komponen tersembunyi berdasarkan data statistik yang bervariasi. Pada model ICA, variabel data dianggap sebagai

campuran linear atau nonlinear dari beberapa variabel tersembunyi yang tidak diketahui, dan sistem pencampuran yang tidak diketahui. Variabel tersembunyi tersebut juga diasumsikan sebagai non-Gaussian dan saling independent. Model ICA dapat dianggap sebagai perluasan dari principal component analysis (PCA) dan analisis faktor, karena data dimodelkan sebagai campuran linear dari faktor non-Gaussian. Framework ICA sudah digunakan pada berbagai skenario aplikasi termasuk blind source separation (BSS), feature extraction, telecommunication, dan ekonomi. Hanya linear ICA framework yang akan dibahas karena cuma itu yang relevan dengan model watermarking berbasis spread spectrum.

Noise-free ICA model: ICA dari sebuah vektor acak $X \in \mathbb{R}^m$ mengandung hasil perkiraan dari model data generatif berikut:

$$X = AS, \quad (6)$$

Dimana X mewakili n -realisasi dari vektor acak berdimensi m yang diamati, sehingga $S \in \mathbb{R}^{n \times m}$ adalah variabel acak tersembunyi dan $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ adalah matrix pencampuran. Variabel tersembunyi, $S(i)$, pada vektor $S = [S^{(1)}, \dots, S^{(n)}]^t$ diasumsikan independen secara statistik.

Noisy ICA model: ICA dari sebuah vektor acak X mengandung hasil perkiraan dari model data generatif berikut:

$$X = AS + N, \quad (7)$$

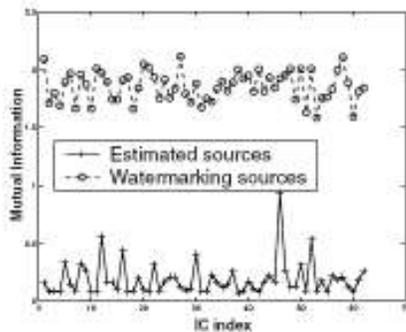
Dimana N adalah n -realisasi dari sebuah noise acak berdimensi m , sementara X , S , dan A memiliki peran yang sama seperti pada model noise-free.

Noisy ICA model dapat digunakan merancang sebuah detektor watermark berbasis ICA untuk skema watermarking berbasis spread spectrum. Detektor watermark berbasis ICA akan berusaha untuk memperkirakan watermark yang tertanam dari sinyal yang sudah diberi watermark dengan mengurangi interferensi dari sinyal induk. Sebelum memperkirakan dasar komponen independen dari data yang diamati dengan menggunakan *framework* ICA, model generatif harus memenuhi kondisi tertentu untuk memastikan keterbacaan dari model ICA. Batasan yang harus dipenuhi model *Undetermined* ICA (UICA) adalah sebagai berikut:

1. *Statistical independence*: Variabel atau sumber yang tersembunyi tidak boleh saling mempengaruhi secara statistik.
2. *Non-Gaussianity*: Paling banyak hanya satu dari komponen independen dasar yang terdistribusi secara normal.

Oleh karena itu, *independence* dan *non-Gaussianity*

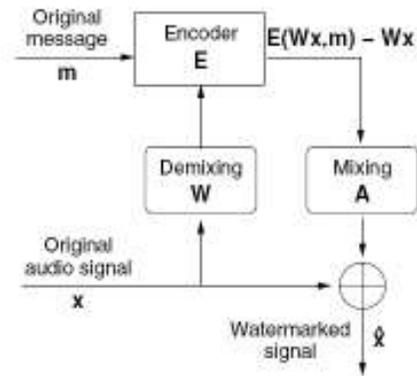
adalah dua bahan dasar dari framework UICA. Independen atau tidak sebuah komponen dasar adalah salah satu asumsi yang dibuat untuk menduga komponen-komponen dari campuran linear.



Blind source separation (BSS) adalah salah satu dari aplikasi model ICA yang banyak dipelajari. Pada kasus BSS yang menggunakan framework ICA, pemulihan dari sumber dasar menggunakan asumsi bahwa sumber yang ingin dicari bersifat tidak saling mempengaruhi. *Cocktail party problem* adalah permasalahan klasik untuk BSS, dimana beberapa orang terus berbicara secara simultan pada ruangan yang sama dan kita harus memisahkan suara dari pembicara yang berbeda-beda dengan menggunakan rekaman mikrofon dalam kamar yang lain. Untuk menggambarkan permasalahan tersebut, n_1 pembicara diperhitungkan. Hasil pengamatan $X \in R^{m \times n}$ diciptakan dengan mencampur sumber $S \in R^{n_1 \times n}$ dengan matriks pencampuran $A \in R^{m \times n_1}$. Model statis dari pencampuran linear dapat diekspresikan seperti berikut,

$$X_i = AS_i + N_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Target dari BSS adalah untuk memulihkan sumber dasar $S(l), l = 1, 2, \dots, n_1$ dari pengamatan X saja. ICA mendapatkan hasil pemisahan bergantung pada asumsi bahwa sumber dasar tersebut tidak saling mempengaruhi. Hingga tahap ini, framework ICA sudah menemukan representasi linear yang di dalamnya terdapat komponen yang tidak saling mempengaruhi. Dengan kata lain, BSS menggunakan ICA mencoba untuk menduga matrix pemisahan, $B \in R^{n_1 \times m}$, dari data pengamatan X . Matrix pemisahan dari hasil perkiraan tersebut adalah invers dari matrix pencampuran A .



Pada deteksi digital audio watermark, BSS yang berbasis ICA digunakan untuk memisahkan sinyal watermark dari file audio. Jika terdapat keanehan dari sinyal hasil pemisahan, maka dapat disimpulkan bahwa file audio tersebut memiliki watermark di dalamnya.

4. KESIMPULAN

Saat ini, digital audio watermark sudah dipergunakan dengan luas. Oleh karena itu, berbagai teknik dengan beragam kelebihan terus dikembangkan. Hal ini sejalan dengan teknik untuk menyerang watermark yang juga ikut berkembang. Independent component analysis sebagai salah satu pendekatan untuk mendeteksi watermark masih terus dipelajari untuk meningkatkan keamanan watermark.

REFERENSI

- [1] Rinaldi Munir. Bahan Kuliah IF5054 Kriptografi. Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung. 2004.
- [2] B.Toch, D. Lowe and D. Saad. Watermarking of Audio Signals Using Independent Component Analysis. Neural Computing Research Group, Aston University. IEEE 2003.
- [3] H. Malik. Blind Watermark Estimation Attack for Spread Spectrum Watermarking. Informatica 33 (2009) 49 - 68.
- [4] Matharany Rumondang. Perlindungan Hak Cipta Pada Data Audio Dengan Menggunakan Teknik Watermarking Phase Encoding. Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung. 2006.
- [5] Arya Tri Prabawa. Penerapan Digital Rights Management dan Watermarking pada Lagu. Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung. 2009.
- [6] <http://www.ece.uvic.ca/~aupward/w/watermarking.htm>, diakses pada 4 Maret 2010.