

EVALUASI PERFORMANSI METODE *PHASE CODING* PADA TEKNIK AUDIO WATERMARKING

Shelvie Nidya Neyman, Ayi Dianitasari

Departemen Ilmu Komputer
FMIPA IPB

Email : shelvie@ipb.ac.id, ayi_dianitasari@yahoo.com

ABSTRAK

Watermarking adalah sebuah proses untuk menyisipkan suatu informasi, yang biasanya disebut sebagai *watermark*, pada suatu data (*digital*) penampung, seperti gambar, audio, dokumen *text*, video dan bentuk produk *digital* lainnya. *Audio watermarking* merupakan salah satu jenis dari *digital watermarking*, adalah suatu proses penyisipan pesan yang berisikan informasi dari berkas audio seperti nama pencipta, tanggal pembuatan, tujuan, atau informasi lainnya tanpa mempengaruhi kualitas audio tersebut. Dari hasil evaluasi performansi metode *Phase Coding* memiliki performansi dapat digunakan sebagai teknik audio watermarking. Pada evaluasi kriteria *bit rate* menunjukkan bahwa watermark berhasil disisipkan dan diekstraksi pada berkas audio asal dengan nilai BER 0%. Hasil pengujian *perceptual quality* menunjukkan bahwa *watermarked audio* memiliki kualitas baik dengan nilai PSNR masing-masing audio tersebut diatas 30 db. Metode *Phase Coding* memiliki ketahanan terhadap proses pemrosesan signal *resampling* dan penambahan derau tetapi tidak tahan terhadap serangan *cropping*, *time stretching*, dan *multiple watermark* dengan metode yang sama.

Kata kunci : evaluasi performansi, audio watermarking, metode *phase coding*

1 Pendahuluan

Penggunaan teknologi data digital telah mengalami perkembangan yang pesat karena kelebihanannya dalam penyimpanan data yang efisien, kemudahannya untuk dimanipulasi dan didistribusikan. Data digital berupa citra, audio, dan video merupakan aset komersial yang harus dikendalikan, didistribusikan, dan dilindungi. Pesatnya perkembangan transmisi data menimbulkan banyaknya penyalahgunaan data digital salah satunya seperti pelanggaran hak cipta atau pemalsuan kepemilikan data digital. Teknik digital *watermarking* merupakan salah satu solusi untuk perlindungan hak cipta dari suatu data digital. Teknik digital *watermarking* diterapkan pada berbagai data digital dengan memanfaatkan kekurangan-kekurangan sistem indera manusia seperti mata dan telinga.

Audio watermarking merupakan salah satu jenis dari digital *watermarking*, adalah suatu proses penyisipan pesan yang berisikan informasi dari berkas audio seperti nama pencipta, tanggal pembuatan, tujuan, atau informasi lainnya tanpa mempengaruhi kualitas audio tersebut. Secara umum, teknik *audio watermarking* terbagi atas beberapa jenis, yaitu teknik substitusi, teknik transformasi, *echo hiding*, *phase coding*, dan *DC lifting level* (Thanuja & Nagaraj 2010). Teknik substitusi memanfaatkan bagian redudansi atau tidak signifikan dari berkas audio penampung

dimana bagian tersebut akan disubstitusi dengan watermark, contohnya teknik *Least Significant Bit* (LSB) dalam (Cvejic & Seppanen 2004) dan (Xiong & Ming 2006). Teknik transformasi menyisipkan pesan watermark dalam domain transformasi, contohnya teknik DCT dan DWT dalam (Wang & Zhao 2006) dan (Bender & Morimoto 1996). Teknik *echo hiding* menyisipkan watermark dengan imperceptible echo ke host signal (Erfani *et al* 2007). Teknik *phase coding* bekerja dengan mensubstitusi segmen awal audio dengan fase referensi yang merepresentasikan data (Seok *et al* 2002). Penyembunyian data watermark dilakukan pada bagian frekuensi rendah pada signal audio yang berada di bawah ambang batas *Human Auditory System* (HAS) dalam (Uludag dan Arslan 2001) dan (Herkiloglu *et al* 2004)

Berdasarkan hasil penelitian Thanuja dan Nagaraj (2010), teknik audio watermarking yang paling tahan terhadap proses pemrosesan signal menggunakan metode *phase coding*. Untuk itu penelitian ini melakukan evaluasi performansi metode *phase coding* pada teknik audio watermarking menggunakan kriteria dari Gordy dan Burton (2000). Dari hasil penelitian ini dapat bahwa metode *phase coding* pada audio watermarking memenuhi kriteria *bit rate* (mampu menampung keseluruhan bit-bit watermark), *perceptual quality* (nilai PSNR watermark hasil ekstraksi diatas 30) dan *robustness to signal processing* meliputi proses *resampling* dan penambahan derau tetapi tidak

tahan terhadap proses cropping, time stretching, dan multiple watermark yang berbeda.

Pada bagian selanjutnya dari tulisan ini akan menjelaskan kriteria-kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi performansi audio watermarking, metode phase coding, metode penelitian yang digunakan, hasil evaluasi, dan diakhiri dengan penutup yang berisi kesimpulan dan saran pengembangan penelitian lebih lanjut.

2 Evaluasi Performansi Audio Watermarking

Menurut Gordy dan Burton (2000) ada empat kriteria untuk mengevaluasi algoritma audio watermarking, dimana bisa juga diterapkan ke media lain seperti gambar dan video.

Kriteria pertama adalah *bit rate*, yaitu jumlah data watermark yang dapat disisipkan dengan baik ke dalam berkas audio asli per-satuan ruang atau waktu (per pixel atau per detik). Tingkat keterbaikan dapat dihitung dengan cara menghitung *bit error rate* (BER) dari watermark yang dideteksi dari berkas audio asli. *Bit error rate* didefinisikan sebagai perbandingan *bit watermark* hasil deteksi yang berbeda dari *bit watermark* yang disisipkan (Acevedo 2003). BER digunakan untuk menghitung persentase *bit watermark* yang dideteksi berbeda saat proses deteksi *watermark*. BER dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.

$$BER = \frac{100}{B} \sum_{n=0}^{B-1} \begin{cases} 1, \tilde{w}(n) \neq w(n) \\ 0, \tilde{w}(n) = w(n) \end{cases} \quad (1)$$

dengan, B adalah jumlah *bit watermark*, w *bit watermark* yang disisipkan dan \tilde{w} *bit watermark* hasil deteksi (Gordy & Bruton 2000).

Kriteria kedua adalah *perceptual quality*, yakni besarnya pengaruh watermark terhadap kondisi berkas audio penampung. Adalah sangat penting dalam banyak aplikasi bahwa pendengar atau pemakai tidak sadar akan adanya data watermark yang disisipkan. Kriteria ini dapat diaplikasikan dengan membandingkan *signal-to-noise* dari data penampung sebelum dan sesudah data watermark disisipkan. Dalam tulisan ini, PSNR digunakan untuk mengukur rasio antara berkas audio asli dengan *watermarked audio*. Menurut Pelton (1993) nilai PSNR yang rendah menunjukkan bahwa berkas audio telah mengalami distorsi yang cukup besar. Kualitas audio yang baik yaitu memiliki nilai PSNR minimal 30 db. Perhitungan PSNR dapat dilihat pada Persamaan 2 dan Persamaan 3 :

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAXI^2}{MSE} \right)$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{MAX I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2)$$

Nilai MSE dapat dihitung dengan rumus:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i,j) - K(i,j)\| \quad (3)$$

Kriteria berikutnya adalah *conceptual complexity* adalah beban kerja proses yang dibutuhkan penyisipan data dan pengambilan data watermark ke dan dari data penampung. Beban kerja proses dapat dihitung dari kompleksitas algoritma atau berdasarkan CPU time yang dihabiskan proses.

Kriteria terakhir adalah *Robustness to Signal Processing*. Signal digital yang telah disisipi watermark sangat mungkin dipengaruhi oleh operasi pemrosesan signal biasa seperti kompresi, konfersi analog/digital atau sebaliknya, linear filtering dll. Penting untuk diketahui seberapa jauh suatu algoritma audio watermark dapat resistan terhadap pemrosesan signal biasa.

3 Metode Phase Coding

Phase Coding termasuk dalam kelompok *transform domain audio watermarking* yang bekerja dengan cara mengubah *spectral content* dalam domain frekuensi dari sinyal. *Phase Coding* bekerja berdasarkan karakteristik sistem pendengaran manusia HAS (*Human Auditory System*) yang mengabaikan suara yang lebih lemah jika dua suara itu datang bersamaan (Gordy 2000). Secara garis besar data *watermark* dibuat menjadi *noise* dengan amplitudo yang lebih lemah dibandingkan amplitudo data audio, lalu digabungkan (Bender et al 1996).

Ide dasar metode *Phase Coding* adalah menyembunyikan data dengan cara menukarkan fase asli segmen inisial dari sinyal suara dengan fase absolut dari sinyal *watermark* dengan tetap menjaga fase relatif antara segmen sinyal menggunakan beda fase segmen dari sinyal asli. Ketika beda fase antara sinyal asli dan sinyal yang dimodifikasi adalah kecil, maka perbedaan suara yang dihasilkan tidak terdeteksi oleh pendengaran manusia (Bender et al 1996).

4 Fast Fourier Transform (FFT)

FFT adalah algoritme transformasi Fourier yang dikembangkan dari algoritme *Discrete Fourier Transform* (DFT). Menurut Proakis dan Manolakis (1997), FFT merupakan algoritme yang efisien secara komputasional karena memanfaatkan dua sifat dasar yaitu sifat simetri dan sifat keperiodikan pada faktor fase. Dengan FFT, laju komputasi dari

perhitungan Fourier dapat ditingkatkan. FFT bekerja dengan membagi sinyal menjadi beberapa bagian kecil yang bertujuan untuk mendapatkan waktu proses yang lebih cepat. FFT mengonversi tiap *frame* dengan N sampel dari domain waktu menjadi domain frekuensi, yang dirumuskan pada Persamaan 1 berikut:

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{-2\pi jkn/N} \quad (1)$$

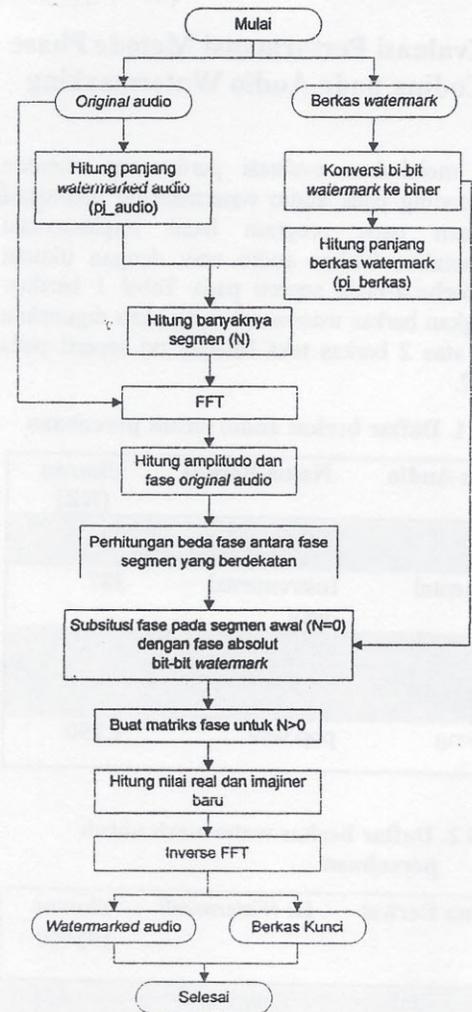
Dimana N berupa bilangan bulat $0, 1, 2, \dots, N-1$, adalah banyaknya FFT poin, j digunakan untuk menotasikan unit imajiner, yaitu $j = \sqrt{-1}$ dan X_n adalah bilangan kompleks.

5 Metode *Phase Coding* untuk Audio Watermarking

Tahap implementasi metode *Phase Coding* pada proses audio watermarking secara garis besar terbagi menjadi 2 (dua) proses yaitu penyisipan watermark dan pendeteksian watermark.

5.1 Tahap Penyisipan Watermark

Proses penyisipan *watermark* memerlukan berkas audio asli dan berkas informasi yang akan disisipkan (*watermark*) sehingga menghasilkan *watermarked audio*. Berkas *watermarked audio* berisi *watermark* dan kunci yang merepresentasikan variabel panjang *watermark*. Berkas kunci tersebut dibutuhkan pada proses pengekstraksian *watermark*. Alur proses metode *Phase Coding* pada tahap penyisipan *watermark* dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Alur proses penyisipan watermark menggunakan metode *phase coding*

5.2 Tahap Pendeteksian Watermark

Pada tahap pendeteksian *watermark* diperlukan *watermarked audio* dan berkas kunci. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pendeteksian *watermark* adalah:

- 1 Membaca *watermarked audio* dan berkas kunci kemudian menghitung panjangnya masing-masing.
- 2 Menghitung banyaknya segmen (N) pada *watermarked audio*.
- 3 Menghitung nilai FFT pada *watermarked audio*.
- 4 Menghitung nilai amplitudo dan fase dari *watermarked audio*.
- 5 Mengonversi nilai fase pada segmen awal dengan $\pi/2$ menjadi bit 1 dan $-\pi/2$ menjadi bit 0. Proses ini merupakan kebalikan dari langkah pada proses penyisipan *watermark*. Hasil konversi merupakan bit-bit *watermark* yang disisipkan.

6 Evaluasi Performansi Metode *Phase Coding* pada Audio Watermarking

Untuk melakukan evaluasi performansi metode *phase coding* pada audio watermarking dilakukan percobaan pada program hasil implementasi menggunakan berkas audio wav dengan ukuran yang berbeda-beda seperti pada Tabel 1 berikut. Sedangkan berkas *watermark* yang akan digunakan terdiri atas 2 berkas teks bertipe .txt seperti pada Tabel 2.

Tabel 1. Daftar berkas audio untuk percobaan

Jenis Audio	Nama Berkas	Ukuran (KB)
Speech	speech.wav	651
Intrumental	Instrumental .wav	387
Intrument-mix	instrumen-mix.wav	1.320
Full song	pop.wav	1.290

Tabel 2. Daftar berkas watermark untuk percobaan

Nama Berkas	Isi <i>Watermark</i>	Ukuran (bytes)
message1.txt	sonyMusic	4,096
message2.txt	Universal	4,096

6.1 Kriteria *Bit Rate*

Hasil yang diperoleh dari proses penyisipan *watermark* adalah *watermarked audio* dan berkas kunci, sedangkan hasil dari pengekstraksian *watermark* adalah berkas teks *watermark*. Setelah itu dilakukan perhitungan persentase *bit error watermark* (BER). Persentase *bit error watermark* pada berkas *watermark* dalam *watermarked audio* tanpa serangan akan dibandingkan dengan persentase *bit error watermark* pada berkas *watermark* dalam *original audio*. Hasil ekstraksi dari *watermarked audio* tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 4. Hasil pengujian kriteria *Bit Rate*

Nama Berkas	Isi <i>Watermark</i>		Nilai BER (%)
	Asal	Hasil Ekstraksi	
Speech .wav	sonyMusic	sonyMusic	0
Instrumental .wav	sonyMusic	sonyMusic	0
Instrumen-mix.wav	sonyMusic	sonyMusic	0
pop.wav	sonyMusic	sonyMusic	0

Berdasarkan nilai dari Tabel 3 diatas dimana nilai BER untuk masing-masing berkas audio adalah 0%. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah data *watermark* yang ada berhasil disisipkan dengan baik, dikarenakan tidak diketemukannya bit *error* dari *watermark* hasil ekstraksi.

6.2 Kriteria *Perceptual Quality*

Hasil pengujian *perceptual quality* menunjukkan apakah *watermarked audio* mengalami penurunan kualitas. Berkas *watermarked audio* akan melalui perhitungan PSNR untuk mengetahui besarnya distorsi yang disebabkan oleh proses penyisipan *watermark*. Hasil perhitungan PSNR tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan PSNR (satuan db)

Nama Berkas	Nilai PSNR (db)
speech.wav	651
Instrumental .wav	387
instrumen-mix.wav	1.320
pop.wav	1.290

Tabel 4 diatas menunjukkan bahwa nilai PSNR dari masing-masing *watermarked audio* diatas 30 db sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas dari *watermarked audio* tersebut masuk dalam kategori baik dalam artian besar distorsi yang ada masih bisa diterima.

6.3 Kriteria *Robustness to Signal Processing*

Pengujian *robustness to signal processing* untuk mengetahui ketahanan *watermarked audio* setelah dilakukan operasi-operasi pemrosesan sinyal. Setelah berkas *watermarked audio* diberikan beberapa operasi-operasi pemrosesan sinyal, berkas *watermark* akan dideteksi dan diukur kualitasnya. Operasi-operasi pemrosesan sinyal

yang diberikan adalah *resampling*, *cropping*, penambahan derau, *time stretching* dan *multiple watermark* dengan metode yang sama.

Evaluasi ketahanan terhadap operasi *resampling* dilakukan terhadap *watermarked audio* dengan mengubah nilai *sampling watermarked audio* menggunakan aplikasi bantuan, Cool Edit Pro 2.0. Berkas *watermarked audio* tersebut akan di *resampling* dari 44100 Hz menjadi 16000 Hz dan 48000 Hz. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil *watermark* yang terekstraksi tidak mengalami perubahan yaitu sama dengan *watermark* asal yang disisipkan walaupun ada perubahan pada *watermarked audio* pada saat pemutaran kembali. Metode *Phase Coding* tahan terhadap operasi *resampling* ini hanya mengubah jumlah sampel per detik dari berkas *watermarked audio* sehingga tidak mempengaruhi nilai fase dari berkas audio dan menghasilkan nilai BER masing-masing 0% untuk setiap *watermark* hasil ekstraksi.

Evaluasi ketahanan terhadap operasi *cropping* dilakukan terhadap *watermarked audio* dengan memotong sebagian dari berkas *watermarked audio* menggunakan aplikasi bantuan, Cool Edit Pro 2.0. Berkas *watermarked audio* tersebut melalui proses *cropping* di 1/2 bagian awal, 1/2 bagian tengah dan juga 1/2 bagian akhir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *watermark* hasil ekstraksi mengalami perubahan yaitu berbeda dengan *watermark* asal dan adanya perubahan *watermarked audio* pada saat pemutaran kembali. Metode *Phase Coding* tidak tahan terhadap operasi *cropping* karena operasi *cropping* mempengaruhi nilai fase dari *watermarked audio* sehingga berkas *watermark* tidak bisa diekstraksi sehingga berkas *watermark* hasil ekstraksi berbeda dengan berkas *watermark* asal dan menghasilkan nilai BER masing-masing di atas 0%.

Evaluasi ketahanan terhadap operasi penambahan derau dilakukan terhadap *watermarked audio* dengan menambahkan derau sebesar 0.1, 0.5, dan 0.9 baik pada domain waktu dan juga domain frekuensi dengan menggunakan fungsi yang dijalankan di Matlab. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil *watermark* yang terekstraksi tidak mengalami perubahan yaitu sama dengan *watermark* asal yang disisipkan dan ditemukannya derau pada *watermarked audio* saat pemutaran kembali. Untuk penambahan derau 0.9, berkas *watermark* tidak dapat diekstraksi secara sempurna karena penambahan derau yang relatif besar mempengaruhi nilai fase dari berkas *watermarked audio* dan menghasilkan nilai BER diatas 0%.

Evaluasi ketahanan terhadap operasi *time stretching* dilakukan terhadap *watermarked audio* dengan mengubah durasi *watermarked audio* menggunakan

fungsi *phase vocoder* yang dijalankan di Matlab. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil *watermark* yang terekstraksi mengalami perubahan atau berbeda dengan *watermark* asal yang disisipkan dan diketemukannya perubahan pitch serta tempo pada *watermarked audio* saat pemutaran kembali. Metode *Phase Coding* tidak tahan terhadap operasi *time stretching* karena berkas *watermark* yang disisipkan tidak lagi berkumpul pada segmen awal fase *watermarked audio*. Dengan demikian *watermark* asal tidak dapat diekstraksi kembali dan menghasilkan nilai BER masing-masing diatas 0%.

Evaluasi ketahanan terhadap operasi *multiple watermark* dilakukan terhadap *watermarked audio* dengan cara menyisipkan kembali *watermark* yang sama dan *watermark* yang berbeda melalui aplikasi yang dibuat di Matlab. Hasil ekstraksi dengan penyisipan *watermark* yang sama menunjukkan bahwa *watermark* yang terekstraksi tidak mengalami perubahan. Sedangkan hasil ekstraksi dengan penyisipan *watermark* yang berbeda menunjukkan bahwa *watermark* yang terekstraksi mengalami perubahan, mengikuti bentuk *watermark* terakhir. Untuk *watermarked audio* tidak terdapat derau pada saat pemutaran kembali. Metode *Phase Coding* tidak tahan terhadap operasi *multiple watermark* yang berbeda karena yang terekstraksi adalah *watermark* terakhir yang disisipkan di tempat yang sama, yaitu pada segmen awal fase audio. Dengan demikian berarti *watermark* awal ditimpa dengan *watermark* terakhir. Hal ini disebabkan oleh metode *Phase Coding* hanya mensubstitusi nilai pada fase awal segmen tertentu sehingga ketika disisipi kembali dengan berkas *watermark* lain maka nilai fase lama tergantikan dengan nilai fase baru yaitu fase absolut dari bit-bit berkas *watermark* yang baru.

7 Kesimpulan

Metode *Phase Coding* memiliki performansi yang baik untuk digunakan sebagai teknik audio watermarking. Dari evaluasi kriteria *bit rate* menunjukkan bahwa *watermark* berhasil disisipkan dan diekstraksi pada berkas audio asal dengan nilai BER 0%. Hasil pengujian *perceptual quality* menunjukkan bahwa *watermarked audio* memiliki kualitas baik dengan nilai PSNR masing-masing audio tersebut diatas 30 db. Metode *Phase Coding* memiliki ketahanan terhadap proses pemrosesan signal *resampling* dan penambahan derau tetapi tidak tahan terhadap serangan *cropping*, *time stretching*, dan *multiple watermark* dengan metode yang sama.

8 Referensi

- [1] Acevedo A. 2003. Digital Watermarking for Audio Data in Techniques and Applications of Digital Watermarking and Content Protection, USA: Artech House, 75-11.
- [2] Bender W, Gruhl D, Norimoto N, Lu A. 1996. Techniques For Data Hiding. *IBM Systems Journal* 35: 325-326.
- [3] Cvejic N, Seppanen T. 2004. Increasing Robustness Of LSB Audio Steganography Using A Novel Embedding Method. International Conference on Information Technology: Coding and Computing, 2004. Proceedings. Volume 2, 2004 Page(s):533 - 537 Vol.2.
- [4] Erfani Y, Parviz M, dan Ghanbari S. 2007. Improved Time Spread Echo Hiding Method for Robust and Transparent Audio Watermarking. IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications, 2007. SIU 2007. 11-13 June 2007 Page(s):1 - 4.
- [5] Gordy JD, Bruton LT. 2000. Performance Evaluation of Digital Audio Watermarking Algorithms. Proceedings of the IEEE 43rd Circuits and Systems.
- [6] Gordy JD. 2000. Performance Evaluation of Digital Watermarking Algorithms [tesis]. Kanada: The University Of Calgary.
- [7] Herkiloglu K, Yaslan Y, Sener D, dan B.Gunsel. 2004. Robust Audio Watermarking by Adaptive Psychoacoustic Masking. Proceedings of the IEEE 12th Signal Processing and Communications Applications Conference, 2004. 28-30 April 2004 Page(s):29 - 32.
- [8] Pelton G. 1993. *Voice processing*. Singapore: McGraw-Hill.
- [9] Proakis JG, Manolakis DG. 1997. *Digital Signal Processing; Principles, Algorithms, and Applications 3e*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- [10] Seok J, Hong J, dan Kim J. 2001. A Novel Audio Watermarking Algorithm for Copyright protection of Digital Audio. ETRI Journal, Volume 24, Number 3, June 2002.
- [11] Uludag U, Arslan LM. 2001. Audio Watermarking Using DC Level Shifting. 2001. EE 683.01 Advanced Topics in Speech Processing Project Report January 2001.
- [12] Wang XY, Zhao H. 2006. A Novel Synchronization Invariant Audio Watermarking Scheme Based on DWT and DCT. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 54, No. 12, December 2006.
- [13] Xiong Y, Ming ZX. 2006. Covert Communication Audio Watermarking Algorithm Based on LSB. International Conference on Communication Technology. ICCT '06. Nov. 2006 Page(s):1 - 4.