

## OPTIMASI *AUDIO WATERMARKING* BERDASARKAN FITUR *LOG COORDINATE MAPPING (LCM)* DENGAN METODE *SPREAD SPECTRUM* MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Kris Sunu Purnandaru <sup>1)</sup>, Imam Abdul Hakim <sup>2)</sup>, Gelar Budiman <sup>3)</sup>

<sup>1),2),3)</sup> Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi No. 1, Bandung  
Email : [kris.sunu@gmail.com](mailto:kris.sunu@gmail.com)

**Abstrak .** Dalam era modern seperti sekarang ini, penyebaran informasi sangat cepat dan informasi berupa *digital* sangat mudah untuk diperoleh. Namun, kemudahan itu menimbulkan permasalahan terhadap pelanggaran hak cipta. Untuk melindungi hak cipta tersebut terdapat salah satu metode yang dinamakan *audio watermarking*, yaitu menyisipkan sebuah informasi ke dalam file audio. Makalah ini berisi tentang penyisipan informasi ke dalam audio menggunakan metode *Spread Spectrum* berdasarkan fitur *Log Coordinate Mapping (LCM)*. *Watermark* yang disisipkan dalam Fitur LCM sebenarnya disisipkan dalam koefisien fourier yang sebelumnya dipetakan melalui LCM, sehingga proses *embedding* sebenarnya dilakukan pada domain FFT. Sementara itu, dengan algoritma genetika (algen), parameter-parameter yang dimasukkan ke dalam proses penyisipan *watermark* merupakan parameter yang paling optimal sehingga hasil yang didapat merupakan hasil yang paling baik. Pemilihan perancangan *Audio Watermarking* berdasarkan Fitur LCM dengan *Spread Spectrum* dan algen didasarkan pada keunggulannya yang tidak hanya tahan terhadap operasi sinyal biasa seperti LPF, kompresi, penambahan *echo*, dan perubahan *volume*, tetapi juga tahan terhadap distorsi geometrik audio seperti *time-scale modification*, *pitch shifting*, *random cropping*, dan *resample TSM*. Hasil yang dicapai adalah skema *watermarking* dengan kualitas audio yang memiliki SNR bernilai lebih dari 20 dB, BER≈0, dan SSIM citra hasil ekstraksi mendekati 1.

**Kata kunci:** *Audio watermarking*, LCM, *spread spectrum*.

### 1. Pendahuluan

Kemudahan akses terhadap data digital menjadi penyebab maraknya pembajakan, terutama pembajakan terhadap hak cipta (*copyright piracy*) dan kepemilikan yang sering menimpa industri bidang multimedia, khususnya industri musik yang berkaitan dengan *digital audio*. Perlindungan terhadap suatu file audio tidak cukup hanya dengan kode enkripsi. *Audio watermarking* merupakan salah satu alternatif cara untuk melindungi hak cipta.

*Audio watermarking* merupakan suatu teknik untuk menyisipkan informasi ke dalam file audio atau yang biasa disebut *host media* tanpa mengganggu kualitas dari audio tersebut. Informasi yang disisipkan dapat berupa bit, teks, gambar, ataupun file audio lain. *Audio watermarking* harus memenuhi syarat-syarat berikut: 1) *Perceptual transparency*. Informasi harus disisipkan tanpa mengurangi kualitas *host media*, tidak terdengar oleh telinga manusia, dan *signal-to-noise ratio (SNR)* dari *watermarked audio* dengan *host media* harus lebih dari 20 dB. 2) *Robustness*. Informasi yang disisipkan harus tahan terhadap manipulasi *signal processing* seperti *filtering*, kompresi, *temporal scaling*, dan *pitch shifting*. 3) *Security*. Informasi yang disisipkan tidak bisa diambil secara sembarangan [1]. Syarat-syarat tersebut memberikan tantangan yang besar terutama ketahanan terhadap *geometric distortion*. Pemrosesan sinyal seperti TSM, *pitch shifting*, dan *random cropping* menyebabkan ketidaksesuaian dalam domain waktu dan frekuensi, dan hal ini mengakibatkan hasil ekstraksi *watermarking* tidak sesuai dengan informasi awalnya.

Beberapa teknik *watermarking* bermunculan seiring perkembangan zaman, diantaranya *phase coding*, *echo hiding*, *frequency masking*, *multicarrier modulation*, dan *spread spectrum* [2]. Setiap metode *watermarking* ini memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Pada penelitian sebelumnya, yang menjadi fokus hanyalah pada satu *geometric distortion* saja seperti TSM [3] dan *random cropping*, sedangkan *pitch shifting* kurang diperhatikan padahal *pitch shifting* merupakan manipulasi audio yang umum dilakukan.

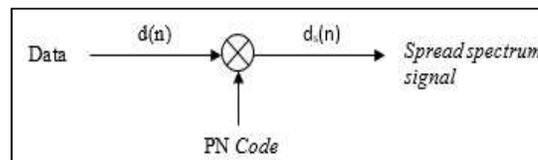
Skema *watermarking* menggunakan metode *Spread Spectrum* banyak digunakan pada proses *embedding* sinyal *watermark* namun masih memiliki beberapa kelemahan di dalamnya [7][8][9]. Pada penelitian sebelumnya metode *spread spectrum* telah digunakan pada file berbasis audio untuk menyisipkan suatu informasi kedalamnya, tetapi hasil penelitian tersebut menunjukkan metode *spread spectrum* masih memiliki beberapa kelemahan dari sisi ketahanannya (*robustness*), *error probability* dan juga *watermark energy* [10].

Pada makalah ini dilakukan perancangan *audio watermarking* menggunakan metode *Spread Spectrum* dan didukung dengan fitur *Log Coordinate Mapping* (LCM) sebelum informasi disisipkan serta optimasi dengan menggunakan algoritma genetika (algen) sehingga dapat mengatasi *geometric distortion* seperti *resample* TSM, *pitch shifting*, dan *random cropping* secara bersamaan. Pada penelitian lain yang menggunakan LCM [4], informasi yang disisipkan berupa bit, sedangkan pada penelitian ini informasi yang disisipkan adalah sebuah citra hitam putih dengan tujuan untuk mengurangi error karena file citra lebih tahan terhadap serangan.

Pada bagian ini, kami akan menjelaskan *spread spectrum* sebagai metode penyisipan *watermark* dan fitur *log coordinate mapping*.

### 1.1. Spread Spectrum

*Spread spectrum* merupakan sebuah metode komunikasi dimana semua sinyal komunikasi disebar di seluruh frekuensi yang tersedia [8]. Sinyal informasi dikirimkan menggunakan suatu kode untuk menebarkan *spectrum energy* sinyal informasi dalam *bandwidth* yang jauh lebih lebar dibanding *bandwidth* sinyal informasinya sendiri, proses ini disebut *spreading*. Sebaliknya, proses penyempitan kembali *bandwidth* sinyal informasi dilakukan disisi penerima, disebut *de-spreading*.



Gambar 14. Skema Spread Spectrum

Kode yang digunakan pada sistem *spread spectrum* memiliki sifat acak tetapi periodik sehingga disebut sinyal acak semu (*pseudo random*) untuk menyebar data dalam media audio [5].

### 1.2. Log Coordinate Mapping

*Log Coordinate Mapping* (LCM) bekerja pada domain frekuensi. Pada dasarnya LCM memanfaatkan fungsi logaritma. Diberikan sinyal  $s = [s_1 \dots s_N]$ , kemudian dilakukan FFT sehingga menghasilkan  $S(f)$ . Setelah memilih sebagian dari *frequency index* normalisasi ( $f_m \cdot 2f_m$ ),  $0 < f_m < 0,25$ , diperoleh *log coordinate transform* dari *frequency index*  $f$  seperti ditunjukkan dalam persamaan (1) [4]:

$$l = \text{floor} \left( \log_b \frac{f}{R} \right) + L/2 \quad (1)$$

Keterangan :

$$R = \sqrt{2}f_m$$

$$b = 2^{1/L}$$

di mana  $L$  merupakan interval log antara  $f_m$  dan  $2f_m$ . *Frequency index* yang dipilih, yaitu  $f$ ,  $f_m \leq f \leq 2f_m$  dipetakan ke dalam *discrete log coordinate*  $l$  ( $0 \leq l \leq L$ ), dan koefisien frekuensi yang dipilih  $S(f)$  dipetakan ke dalam fitur *log coordinate mapping*  $a(l)$ . Basis yang dipilih adalah  $b = 2^{(1/L)} \approx 1$ . Fitur *log coordinate mapping*  $a(l)$  didefinisikan sebagai *average fourier magnitude* (AFM) pada *discrete log coordinate*  $l$  [4]:

$$a(l) = \frac{1}{(f_2 - f_1)} \int_{f_1}^{f_2} S(f) df. \quad 0 \leq l \leq L \quad (2)$$

Keterangan :

$$Ket : f_1 = \min \left\{ f \mid \text{floor} \left( \log_b \frac{f}{R} \right) + L/2 = l \right\}$$

$$f_1 = \max \left\{ f \mid \text{floor} \left( \log_b \frac{f}{R} \right) + L/2 = l \right\}$$

### 1.3. Algoritma Genetika

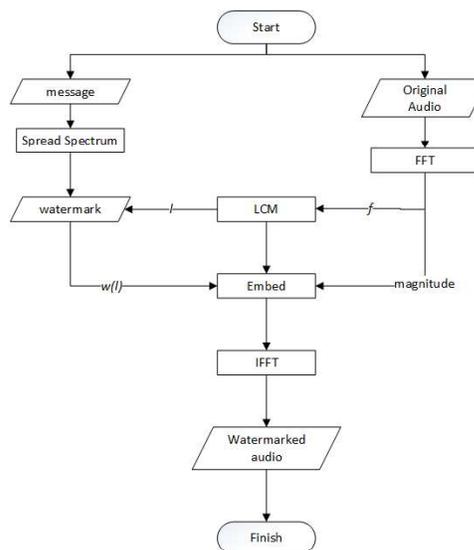
Algoritma Genetika adalah salah satu pendekatan untuk menentukan global optimum yang didasari oleh Teori Darwin. Algoritma Genetika banyak digunakan untuk memecahkan masalah optimasi. John Holland dari Universitas Michigan (1975) menyatakan bahwa setiap masalah yang berbentuk adaptasi (alami maupun buatan) dapat diformulasikan dalam terminologi genetika. Algoritma genetika adalah simulasi dari proses evolusi Darwin dan operasi genetika atas kromosom [6].

Pada algoritma genetika, teknik pencarian dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang mungkin dikenal dengan istilah populasi. Individu yang terdapat dalam satu populasi disebut dengan istilah kromosom. Kromosom ini merupakan suatu solusi yang masih berbentuk simbol. Populasi awal dibangun secara acak, sedangkan populasi berikutnya merupakan hasil evolusi kromosom-kromosom melalui iterasi yang disebut dengan generasi. Pada setiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur yang disebut dengan fungsi fitness. Nilai fitness dari suatu kromosom akan menunjukkan kualitas dari kromosom dalam populasi tersebut. Generasi berikutnya dikenal dengan istilah anak (*offspring*) terbentuk dari gabungan dua kromosom generasi sekarang yang bertindak sebagai induk (*parent*) dengan menggunakan operator penyilangan (*crossover*). Selain operator penyilangan, suatu kromosom dapat juga dimodifikasi dengan menggunakan operator mutasi. Populasi generasi yang baru dibentuk dengan cara menyeleksi nilai *fitness* dari kromosom induk (*parent*) dan nilai *fitness* dari kromosom anak (*offspring*), serta menolak kromosom-kromosom yang lainnya sehingga ukuran populasi (jumlah kromosom dalam suatu populasi) konstan. Setelah melalui beberapa generasi, maka algoritma ini akan konvergen ke kromosom terbaik [10]. Pada penelitian kali ini, teknik algoritma genetika diimplementasikan untuk mencari nilai-nilai optimal dari parameter yang digunakan pada proses *watermarking embedding*. Nilai output yang akan dievaluasi meliputi diantaranya kapasitas, kualitas *watermarked audio*, dan ketahanan *watermarked audio* [6].

## 2. Pembahasan

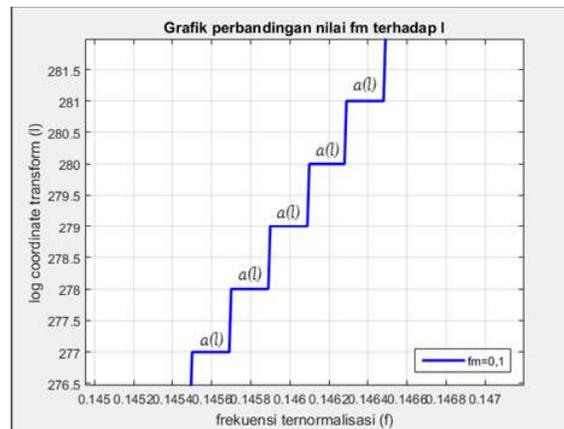
### 2.1. Embedding Process

*Embedding* adalah proses penyisipan informasi/watermark ke dalam host audio. Proses *embedding* pada perancangan *audio watermarking* ini dilakukan dengan *flowchart* seperti dibawah ini [4].



Gambar 2. Flowchart proses embedding

Pertama, dilakukan FFT terhadap *host audio* yang akan digunakan untuk mengubah audio dari domain waktu ke dalam domain frekuensi sehingga didapatkan *Fourier magnitude*  $S(f)$ . Selanjutnya dilakukan normalisasi frekuensi untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan *log coordinate transform* seperti ditunjukkan formula(1) sehingga didapatkan daerah penyisipan *watermark*  $a(l)$  seperti ditunjukkan Gambar . Setiap  $a(l)$  memiliki panjang berbeda untuk setiap level.



Gambar 3. Daerah penyisipan watermark  $a(l)$

Proses selanjutnya adalah mengubah informasi yang berupa citra ke dalam matriks satu dimensi. Kemudian dilakukan *direct sequence spread spectrum*, yang dikodekan dengan *PN Code* ( $N_p$ ) dengan jumlah berbeda disesuaikan dengan masing-masing panjang  $a(l)$ . Hasil spread spectrum kemudian dikali dengan parameter pengontrol tingkat distorsi ( $\alpha$ ) sehingga dihasilkan  $w(l)$ . Dalam proses penyisipan, satu bit disisipkan ke dalam satu fitur LCM. Dengan kata lain, satu bit *watermark* disisipkan ke dalam beberapa FFT *magnitude* yang dipetakan ke dalam satu fitur LCM. Oleh karena itu, penyisipan data secara langsung diimplementasikan dalam FFT. Setelah itu, dilakukan modifikasi terhadap audio yang telah ditambahkan informasi sisipan.

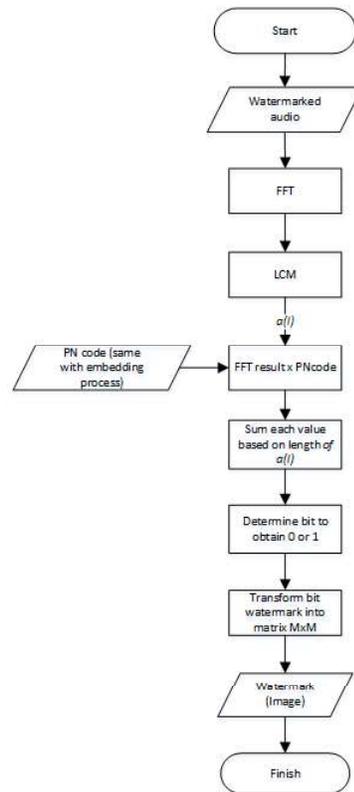
$$\hat{S}(f) = S(f) \times (1 + \alpha \times w(l)) \quad (3)$$

$S(f)$  dan  $\hat{S}(f)$  merupakan koefisien *Fourier magnitude* sebelum dan setelah proses *embedding*. Selanjutnya dilakukan IFFT pada koefisien FFT yang baru dan dihasilkan audio ter-*watermark*.

## 2.2. Extraction Process

Pada tahap ini akan dilakukan FFT terhadap audio ter-*watermark* terlebih dahulu sehingga menghasilkan koefisien *magnitude*  $\hat{S}(f)$ . Selanjutnya dilakukan *log-coordinate transform* terhadap frekuensi indeks  $f$  menggunakan persamaan (1) sehingga didapat level sisipan sama seperti pada proses *embedding*. Selanjutnya adalah melakukan *de-spread* untuk mengetahui data yang disembunyikan. Dengan mengambil sejumlah  $N_p$  elemen dari  $\hat{a}(l)$  untuk membentuk sebuah urutan dan dikorelasikan dengan *PN code* yang telah digunakan sebelumnya pada proses *embedding*. Jika korelasinya lebih besar dari 0, maka bit yang terekstraksi dianggap “1”, dan sebaliknya jika korelasinya lebih kecil dari 0, maka bit dianggap sebagai “0”.

Berikut ini merupakan diagram alir dari skema proses ekstraksi data dari audio ter-*watermark*:



Gambar 4. Flowchart proses ekstraksi

### 2.3. Algoritma Genetika

Proses algoritma genetika dilakukan untuk memperoleh parameter optimal dari variabel yang telah ditetapkan, yaitu pengontrol tingkat distorsi ( $\alpha$ ). Nilai fitness function (FF) diperoleh menggunakan persamaan:

$$FF = 0,3 x \left(\frac{ODG}{4}\right) + 0,7x (1 - BER) \quad (4)$$

Persamaan (4) menunjukkan perbandingan antara BER dengan ODG adalah 70% dan 30%. Nilai maksimum untuk FF adalah 1, didapatkan saat parameter yang dicari optimum sehingga nilai  $BER = 0$  dan nilai  $ODG = 0$ . Hal ini menunjukkan bahwa audio watermarking memiliki *robustness* dan *imperceptibility* yang bagus.

### 2.4. Analisis

Pada penelitian ini *host audio* yang digunakan adalah file audio dengan format .wav dengan durasi 10 detik. *Watermark* yang disisipkan berupa citra hitam putih berukuran 20x20 piksel dan disisipkan pada frekuensi ternormalisasi  $0 < f_m < 0,25$ . Didapatkan 677 level  $a(l)$  dan 6615 bit yang bisa disisipi *watermark*. Setelah *watermark* disisipkan ke dalam *host audio*, langsung dilakukan proses ekstraksi pada *watermarked audio*.

Berikut merupakan hasil watermarked audio dengan nilai alpha yang berbeda-beda:

Tabel 10. Tabel Pengujian

File	alpha	ODG	SNR	BER	SSIM
'watermarked.wav'	3,5	-1,7174	38,5965	0,0025	0,9948
'watermarked.wav'	4,0	-1,8951	37,4368	0,0025	0,9948
'watermarked.wav'	4,01	-1,8991	37,4151	0	1
'watermarked.wav'	4,5	-2,0436	36,4140	0	1

Tabel 1 menunjukkan bahwa untuk mendapatkan nilai BER = 0, alpha yang digunakan harus lebih besar sama dengan 4,01. Nilai alpha berbanding terbalik dengan nilai BER dan SNR. Semakin besar alpha yang digunakan maka nilai ODG dan SNR semakin kecil. Kapasitas penyisipan watermark tergolong kecil, yaitu 129,252 sampel/detik.

### 3. Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

- 1) Proses *embedding audio watermarking* dilakukan pada fitur LCM, tetapi sebenarnya *embedding* dilakukan pada koefisien *Fourier* hasil FFT.
- 2) Kapasitas data sisipan *watermark* ditentukan oleh area penyisipan pada frekuensi ternormalisasi. Semakin lebar *range*-nya, maka semakin banyak data yang bisa disisipkan.
- 3) Nilai *alpha* berbanding terbalik dengan nilai BER dan SNR. Semakin besar *alpha* yang digunakan maka nilai ODG dan SNR semakin kecil.
- 4) Berdasarkan hasil pengujian, metode *watermarking* yang digunakan memiliki *imperceptibility* yang cukup bagus ditunjukkan dengan nilai ODG = -1,8991 dan SNR = 37,4151 dB.

### Daftar Pustaka

- [1] R. F. Olanrewaju and O. Khalifa, "Digital Audio Watermarking ; Techniques and Applications," no. July, pp. 3–5, 2012.
- [2] G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. H. Shin, "A multicarrier modulation audio watermarking system," in International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2015.
- [3] S. Xiang and J. Huang, "Histogram-based audio watermarking against Time-Scale Modification and cropping attacks," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 9, no. 7, pp. 1357–1372, 2007.
- [4] X. Kang, R. Yang, S. Member, J. Huang, and S. Member, "Geometric Invariant Audio Watermarking Based on an LCM Feature," vol. 13, no. 2, pp. 181–190, 2011.
- [5] Lin, and Waleed, H. Abdulla, "Audio Watermark A Comprehensive Foundation Using MATLAB" Springer, pp.58-63, 2015.
- [6] Suyanto. 2005. Algoritma Genetika Dalam Matlab. Yogyakarta :Andi Offset.
- [7] A. Z. Tirkel, C. F. Osborne, and R. G. van Schyndel, "Image watermarking— A spread spectrum application," in Proc. IEEE 4th Int. Symp. Spread Spectrum Techn. Applicat., Mainz, Germany, 1996, pp. 785–789.
- [8] D. Kirovski and H. Malvar, "Robust spread-spectrum audio watermarking," in Proc. Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process., Salt Lake City, UT, May 2001.
- [9] F. Hartung, J. K. Su, and B. Girod, "Spread spectrum watermarking: Malicious attacks and counterattacks," Proc. SPIE, vol. 3657, pp. 147–158, Jan. 1999.
- [10] Darko Kirovski, and Henrique S.Malvar, "Spread-spectrum audio watermarking:requirements, applications, and limitations" 2001 IEEE fourth workshop on multimedia signal processing, PP. 219-224, 2002.