

PERANCANGAN DAN ANALISIS *AUDIO WATERMARKING* BERBASIS TEKNIK MODULASI DIGITAL DENGAN PENGKODEAN KONVOLUSI

Augiska Muliansyahputra ¹⁾, Briliant Hadi Akbar ²⁾, Gelar Budiman ³⁾

^{1),2),3)}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Bandung
Jl. Telekomunikasi No. 1 Bandung
Email : amuliansyahputra@gmail.com

Abstrak . Perkembangan teknologi informasi menyebabkan penyebaran data digital berjalan sangat pesat. Di balik kemudahan mendapatkan segala jenis informasi digital, terdapat suatu masalah terhadap kepemilikan hak cipta dari informasi tersebut, contohnya dalam industri multimedia. Karya-karya multimedia, khususnya dalam industri musik yang berkaitan dengan audio digital, dengan mudahnya dicopy-paste, direkam ulang, dan diedarkan kembali dengan mengganti nama pemilik asli dengan nama pembajak. Salah satu cara untuk menghadapi masalah pembajakan karya khususnya dalam industri musik adalah dengan teknik audio watermarking. Audio watermarking merupakan suatu teknik penyisipan informasi dalam bentuk data digital ke dalam suatu file audio dengan tujuan sebagai penanda keaslian dari file audio tersebut. Dalam penelitian ini akan dirancang suatu skema audio watermarking berbasis teknik modulasi digital, dengan merepresentasikan bit informasi ke dalam bentuk lain, dalam hal ini suatu code sequence. Code sequence yang digunakan harus diketahui saat proses embedding dan ekstraksi. Dalam skema ini terdapat rangkaian convolutional code dan interleaver yang digunakan sebagai error correction code. Pengujian sistem dilakukan melalui beberapa parameter penilaian seperti SNR, ODG, BER, dan SSIM. Skema audio watermarking dalam penelitian ini mendapatkan range nilai SNR 35 dB hingga 52 dB dan tingkat deteksi 100% tanpa serangan.

Kata kunci: perlindungan hak cipta, audio watermarking, M-ary, code sequence, pengkodean konvolusi

1. Pendahuluan

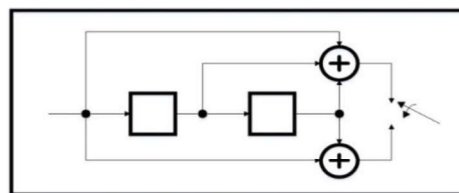
Dewasa ini, saat teknologi informasi berkembang sangat pesat, hampir semua data telah berbentuk digital. Mulai dari data sederhana seperti buku referensi kuliah, tugas-tugas kuliah, hingga data penting seperti perjanjian kontrak saham perusahaan pasti memiliki data dalam bentuk digital. Apalagi dengan kehadiran internet, digital sudah dijadikan suatu ranah untuk kebutuhan komersil, contohnya dalam industri multimedia. Masalah yang sering terjadi dalam industri ini baik dalam skala perorangan sampai skala perusahaan adalah kasus pembajakan hak cipta (*copyright piracy*). Dikarenakan penyebaran pada internet yang begitu cepat, karya-karya multimedia khususnya dalam industri musik yang berkaitan dengan *digital audio* dengan mudahnya dicopy-paste, direkam ulang, dan diedarkan kembali dengan mengganti nama pemilik asli dengan nama pembajak. Sebenarnya, kegiatan pembajakan di indutri musik sangat sulit untuk dihentikan. Ketika suatu karya diunggah ke internet, dengan mudahnya karya tersebut akan menyebar luas tanpa pengawasan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu cara untuk menghadapi masalah pembajakan karya khususnya dalam industri musik, salah satunya dengan menggunakan teknik *audio watermarking*.

Audio watermarking merupakan suatu teknik penyisipan informasi ke dalam suatu sinyal *host* (*host media*) yang berbentuk *file* audio tanpa mengganggu keaslian dari audio tersebut. Informasi yang disisipkan dapat berupa bit, teks, citra, atau audio dalam bentuk lain. Informasi yang disisipkan harus unik, agar informasi dalam suatu audio tidak sama dengan informasi dalam audio lain. Dalam *audio watermarking*, terdapat berbagai macam teknik penyisipan diantaranya modifikasi LSB, *phase coding*, *spread spectrum*, *echo hiding*, dan lain-lain. Secara umum, ada 2 kriteria yang harus dipenuhi dalam *audio watermarking* [1]. Pertama, informasi yang disisipkan harus tahan terhadap berbagai serangan (robustness), dengan parameter pengukuran berupa nilai *Bit Error Rate* (BER). Kedua, hasil proses

Contoh untuk penggunaan *spreading* data menjadi suatu *pseudo sequence* dalam melakukan modulasi *watermark* dipaparkan pada penelitian [2] dan penggunaan pengkodean konvolusi dipaparkan pada penelitian [3], [4] dan [5]. Pada penelitian [5], skema *watermarking* berhasil mendapatkan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) diatas 20 dB. Pada proses ekstraksi akan digunakan *Euchclidean distance* dan *cross correlation* pada demodulasi dan *Viterbi decoder* pada dekonvolusi untuk mencari apakah bit yang diperoleh memiliki korelasi yang tinggi terhadap bit informasi sebelum disisipkan. Dengan menggabungkan metode-metode tersebut, skema *audio watermarking* ini diharapkan dapat meningkatkan nilai *robustness* dan *imperceptibility* dari sistem dengan bukti *Bit Error Rate* (BER) mendekati 0, *Structural Similarity* (SSIM) *Index* mendekati 1, dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) diatas 20 dB.

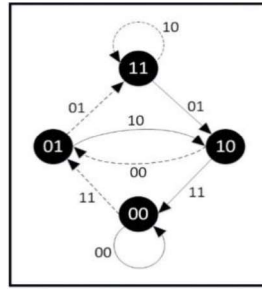
2.1.1 Convolutional Code (CC)

Convolutional code diwakili dengan 3 parameter yaitu n , k , dan K . n merupakan jumlah bit *output* yang ingin dihasilkan tiap k *input*, dan K adalah *constraint length* dimana *encoder* mempunyai $K-1$ elemen memori. Dalam *convolutional code* dikenal juga $R_c = k/n$ yang disebut sebagai *coding rate* (laju pengkodean) yang menyatakan jumlah bit data *input* per bit yang ingin dikodekan. Pada *shift register*, proses konvolusi dilakukan dengan membuat dua buah *adder modulo-2* yang melakukan operasi XOR. *Output* yang dihasilkan dari dua buah *adder* ini akan diswitch antar satu dan lainnya untuk mendapatkan suatu urutan kode [6]. Contoh rangkaian *convolutional code* ditunjukkan pada Gambar 1, yang memiliki $K=3$ dan $R_c = \frac{1}{2}$.



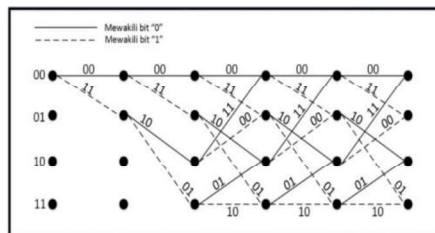
Gambar 1. Convolutional encoder dengan $K=3$ dan $Rc=1/2$ [4]

B17.2



Gambar 2. State diagram untuk encoder pada Gambar 1 [7]

Convolutional code juga bisa direpresentasikan dengan *trellis diagram* yang memperhatikan transisi tiap proses. *Trellis diagram* menggambarkan bit *input* dengan panah-panah dari satu *node* menuju *node* lainnya, dimana tiap panah mengandung suatu *output sequence* tersendiri. Pada Gambar 3 ditunjukkan suatu *trellis diagram* yang merepresentasikan *state diagram* dalam Gambar 2.



Gambar 3. Trellis diagram untuk encoder pada Gambar 1 [7]

2.1.2 PN Code

Pseudorandom Noise code (PN *code*) merupakan suatu kode dengan suatu urutan bit data yang terlihat *random* namun bersifat periodik. PN *code* mempunyai 2 level, yaitu polar (bit -1 & 1) dan nonpolar (bit 0 & 1). Secara umum, PN *code* dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis [8], yaitu *linear* dan *non-linear*. Kode *linear* dibangkitkan dengan mengkombinasikan keluaran *feedback shift register* dalam fungsi yang tetap (biasanya bermudulo 2). Sedangkan kode *non-linear* diperoleh dengan melakukan *feedback shift register* sebagai fungsi waktu. PN *code* mempunyai autokorelasi yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk sinkronisasi. Sifat-sifat yang harus dimiliki oleh PN *code* adalah sebagai berikut [9] :

1. Harus berbeda antara satu dengan yang lain, tetapi yang digunakan pada sisi pengirim dan penerima harus sama untuk mendapatkan kembali sinyal data infromasi.
2. Harus berbentuk acak, tetapi memiliki pola tertentu.
3. *Cross correlation* antara dua kode yang berbeda harus bernilai kecil.
4. Kode harus mempunyai periode yang panjang.

2.1.3 Spreading

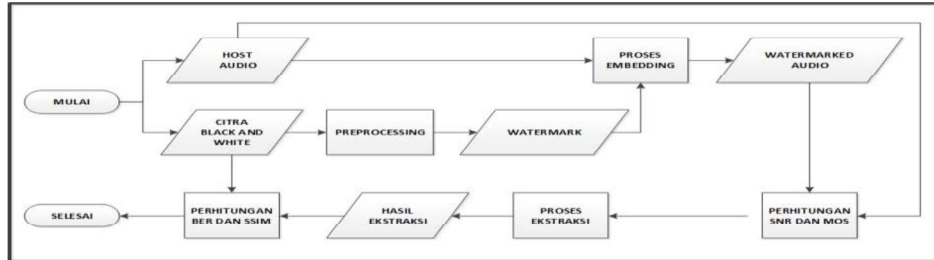
Spreading merupakan suatu proses penyebaran atau penambahan panjang *sequence* data yang menghasilkan bit-bit keluaran sesuai dengan kode yang digunakan. Data masukan menentukan deretan *sequence* manakah yang menjadi keluaran dari kode. Dalam penelitian ini, data masukan tidak dikalikan dengan kode, hanya menentukan kode yang akan dipakai. Kode tersebut harus diketahui di sisi pengirim dan penerima untuk melakukan *despreading* yang akan mengambil kembali data masukan awal.

3. Pembahasan

3.1 Perancangan Sistem

Dalam penelitian ini akan dibuat suatu sistem *audio watermarking* dengan data sisipan berupa citra biner (*black and white*). Skema dari *audio watermarking* ini menggunakan teknik modulasi digital, dengan

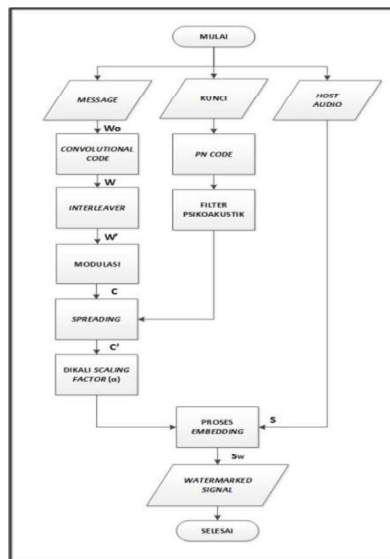
merepresentasikan bit informasi ke dalam suatu *code sequence*, dan menggunakan pengkodean konvolusi. Perancangan sistem dibagi menjadi dua tahap yaitu proses penyisipan informasi ke dalam *host audio* dan proses ekstraksi untuk mengambil kembali informasi sisipan dari *host audio*. Secara umum, skema *audio watermarking* yang akan dilakukan adalah seperti pada diagram alir dalam Gambar 4.



Gambar 4 Diagram alir skema audio watermarking

3.1.1 Proses *Embedding*

Embedding adalah suatu proses penyisipan informasi berbentuk data *watermark* ke dalam *host audio*. Dalam penelitian ini, informasi yang ingin disisipkan berupa citra biner. Skema *embedding* pada penelitian ini dipaparkan pada Gambar 5. Citra biner akan diolah terlebih dahulu (*preprocessing*) sebelum nantinya dihasilkan suatu data *watermark* yang merepresentasikan citra biner tersebut.



Gambar 5 Diagram alir proses embedding

Berikut adalah tahapan-tahapan pada proses *embedding watermark* ke dalam *host audio* :

1. Informasi berupa citra digital biner (*black and white*) berbentuk 2 dimensi diubah (*reshape*) menjadi 1 dimensi.
2. Dalam bentuk 1 dimensi, data *watermark* $w_o \in \{0, 1\}$ memasuki blok *convolutional code* dengan rate $\frac{1}{2}$ yang berarti 1 bit *input* w_o menghasilkan 2 bit *output* w dengan mengikuti aturan pada *trellis diagram* yang digunakan.
3. Dilakukan proses *blok interleaving* pada *bit sequence* w yang akan melakukan pengacakan pada bit-bit tersebut dan menghasilkan *bit sequence* baru w' .
4. *Bit sequence* w' yang berbentuk bit-bit biner akan dimodulasi dengan mengelompokkan bit-bit biner tersebut menjadi bilangan desimal sesuai dengan *M-ary* yang digunakan dan menghasilkan *sequence* desimal C .

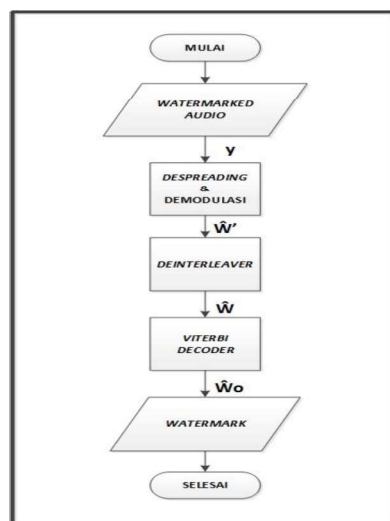
5. PN code $\in \{-1, 1\}$ digunakan sebagai kode orthogonal yang berbentuk matriks $N_{code} \times N_{code}$. Penentuan kolom PN code yang akan digunakan didasari oleh pemilihan kunci, dengan ketentuan kunci = $[1:M\text{-ary}]$ sehingga menghasilkan PN code dengan ukuran panjang kunci dikali N_{code} . (Contoh : $N_{code} = 512$, kunci = $[1:4]$, kode orthogonal yang digunakan adalah PN code dengan ukuran 512×4)
6. PN code kemudian melalui filter psikoakustik agar watermark yang dihasilkan tidak terasa oleh indera pendengaran manusia.
7. Sequence desimal C dipetakan (*spreading*) ke dalam PN code sesuai dengan bilangan desimal yang dikandungnya ditambah 1. Sebagai contoh, bilangan desimal 0 akan digantikan oleh PN code kolom pertama, bilangan desimal 1 akan digantikan oleh PN code kolom kedua, dan seterusnya. Proses *spreading* menghasilkan data sequence C' dengan ukuran panjang dari sequence desimal C dikali N_{code} .
8. C' akan dikali *scaling factor* (α) membentuk $\alpha C'$.
9. Hasil proses *embedding* berupa *watermarked audio* S_w didapatkan dari hasil $\alpha C'$ dijumlahkan dengan *host audio* S melalui persamaan (1).

$$S_w = S + \alpha C' \quad (1)$$

Watermarked audio di penerima akan dibandingkan dengan file *host audio* awal, sehingga dapat diketahui nilai *perceptual quality* menggunakan pengukuran parameter SNR dan MOS. Terdapat parameter-parameter yang harus disepakati antara pengirim dan penerima dalam skema *audio watermarking* ini, diantaranya *rate* dan *trellis* yang digunakan dalam pengkodean konvolusi, jumlah baris dan kolom yang digunakan dalam *interleaver*, kode orthogonal yang digunakan dalam modulasi, dan nilai alfa yang digunakan sebagai *scaling factor*. Parameter tersebut harus diketahui pada penerima untuk melakukan proses ekstraksi *watermark*.

3.1.2 Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi adalah proses untuk mengambil data *watermark* yang telah disisipkan ke dalam *host audio* pada proses *embedding*. Skema ekstraksi pada penelitian ini dipaparkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir proses ekstraksi

Dalam penelitian ini, tidak dilakukan serangan pada *watermarked audio*. Berikut adalah tahapan-tahapan pada proses ekstraksi *watermark* dari *watermarked audio* :

1. *Watermarked audio* y dideteksi dengan *despreading* dan menghasilkan *bit sequence* $\hat{w}'$. Proses pendeteksian dilakukan dengan dua cara, yaitu :

a. *Euclidean distance*

Pendeteksian dengan mencari jarak terdekat dari *watermarked audio sequence* $\hat{S}_w$ ke kode yang digunakan (PN *code*). Secara matematis, *Euclidean distance* ditunjukkan dalam persamaan (2).

$$\arg \min \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{code}} ((\hat{S}_{w_i} - Code_i)^2)} \quad (2)$$

b. *Cross Correlation*

Pendeteksian dengan mencari hubungan tertinggi antara *watermarked audio sequence* $\hat{S}_w$ dengan kode yang digunakan (PN *code*), dengan mengalikan secara kontinu bit-bit dari kedua *sequence* tersebut dan dicari nilai maksimumnya.

Pendeteksian akan menghasilkan *sequence* desimal sesuai dengan nomor kolom dalam kode yang terdeteksi.

2. *Sequence* desimal akan didemodulasi dengan merepresentasikan bilangan desimal tersebut menjadi bilangan biner kembali sesuai dengan *M-ary* yang digunakan dan menghasilkan bit *sequence* $\hat{w}'$.
3. *Deinterleaver* akan mengembalikan urutan dari *bit sequence* $\hat{w}'$ menjadi $\hat{w}$ sesuai dengan *interleaver* yang digunakan pada proses *embedding*.
4. Dekonvolusi akan dilakukan oleh *Viterbi decoder* dengan pendekatan menggunakan algoritma Viterbi. Dekonvolusi ini digunakan untuk mengubah $\hat{w}$ yang merupakan *codeword* dari informasi menjadi bit-bit informasi sebenarnya $\hat{w}_o$.

Watermark yang diperoleh dalam proses ekstraksi akan dibandingkan dengan *file watermark* awal, sehingga dapat diketahui nilai *robustness* menggunakan pengukuran parameter BER dan SSIM.

3.2 Analisis Sistem

Pada penelitian ini *host audio* yang digunakan adalah *file* audio berformat .wav dengan durasi menyesuaikan panjang dari *watermark* hasil *preprocessing*. Data yang disisipkan berupa citra digital *black and white* beresolusi 20x20 piksel. Setelah *watermark* disisipkan ke dalam *host audio*, langsung dilakukan proses ekstraksi pada *watermarked audio* tanpa melalui serangan.

Penelitian ini menggunakan beberapa nilai parameter, diantaranya nilai *Ncode* yang digunakan adalah 512, dan nilai *M-ary* yang digunakan adalah 2, 4, dan 8. Pada demodulasi juga menggunakan dua cara (lihat 2.1.2), pertama menggunakan *Euclidean distance* dan kedua menggunakan *cross correlation*. Tabel 1 menunjukkan nilai pengukuran terbaik yang didapat dari masing-masing *Ncode* pada penelitian ini.

Tabel 1 Tabel nilai pengukuran terbaik untuk masing-masing *Ncode*

<i>Ncode</i>	<i>M-ary</i>	Batas nilai alfa	Tipe Demod	SNR	ODG	BER	SSIM
512	2	0.000531	1	52.5872	0.1498	0	1
512	2	0.00163	2	42.8289	0.0943	0	1
512	4	0.000991	1	47.0673	0.1216	0	1
512	4	0.00154	2	43.2347	0.0909	0	1
512	8	0.000945	1	47.8087	0.1220	0	1
512	8	0.00326	2	37.0530	-0.0130	0	1

Tabel 1 menunjukkan kisaran batas minimum nilai alfa yang dapat digunakan dalam skema *audio watermarking* pada penelitian ini untuk menghasilkan parameter penilaian terbaik. Semakin besar nilai alfa, nilai SNR dan ODG akan semakin memburuk, sedangkan nilai BER dan SSIM akan semakin membaik. Dalam skema ini, parameter penilaian terbaik didapatkan saat *M-ary* bernilai 2 dengan demodulasi *Euclidean distance* yang menghasilkan SNR bernilai 52.5872, ODG bernilai 0.1498, BER bernilai 0 dan SSIM bernilai 1.

4. Simpulan

1. Terdapat batas minimum nilai alfa sehingga saat proses deteksi *watermark* menghasilkan nilai BER 0 dan nilai SSIM 1 tanpa melalui serangan.
2. Nilai alfa yang digunakan sangat berpengaruh kepada parameter pengukuran. Semakin besar nilai alfa, nilai SNR dan ODG yang dihasilkan akan semakin buruk, namun nilai BER dan SSIM akan yang dihasilkan akan semakin baik.
3. Tipe demodulasi *Euclidean distance* dapat mendeteksi *watermark* dengan nilai alfa lebih kecil dibandingkan demodulasi *cross correlation* untuk memperoleh nilai BER 0 dan nilai SSIM 1.
4. Dengan analisis yang dilakukan, harus dicari nilai *Ncode*, *M-ary*, alfa, dan tipe demodulasi yang digunakan untuk menghasilkan semua nilai parameter pengukuran terbaik.

Daftar Pustaka

- [1] M. M. Alsalamy, Mikdam A. T.; Al-Akaidi, "DIGITAL AUDIO WATERMARKING: SURVEY," pp. 12–13.
- [2] M. K. Pandey, G. Parmar, and R. Gupta, "Audio watermarking by spreading echo in time domain using pseudo noise gray sequence," 2015 Int. Conf. Ind. Instrum. Control. ICIC 2015, no. Icic, pp. 740–743, 2015.
- [3] 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.
- [4] E. K. Rosita, Suwadi, and A. Ansori, "Implementasi Convolutional Code dan Viterbi Decode pada DSK TMS320C6416T," vol. 2, no. 1, 2013.
- [5] X. Da-Wen, W. Rang-Ding, and B. Ji-Long, "A Blind Audio Watermarking Algorithm Based on Convolutional Code," in *8th International Conference on Signal Processing*, 2006.
- [6] E. K. Adiyanto, "Tugas Akhir : Perbandingan Performansi Convolutional Code dengan Convolutional Turbo Code," Universitas Mercu Buana, 2009.
- [7] A. J. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communications*. Addison Wesley Longman Inc., 1995.
- [8] Dixon, R.C., "Spread Spectrum System", John Wiley & Sons, 1976.
- [9] Tataq Ajie R. and Y. Moegiharto, "Studi Perbandingan Kinerja Direct Sequence Spread Spectrum Code Division Multiple Acces (DS-SS CDMA) dengan Kode Penebar Walsh, Gold, dan Kasami," Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.