

PERANCANGAN *WATERMARKING* AUDIO BERBASIS OFDM MENGUNAKAN METODE *QUANTIZATION INDEX MODULATION* (QIM) DAN BCH CODE

Dhimas Ariqstyawan Bhagaskara ¹⁾, Gelar Budiman ²⁾, Irma Safitri ³⁾

^{1),2),3)} Teknik Telekomunikasi, Telkom University
Jl. Telekomunikasi, Terusan Buah Batu, Bandung 40257, Jawa Barat
Email : dhimasarik@gmail.com

Abstrak. Dalam era globalisasi sekarang ini teknologi pengolahan data digital telah berkembang pesat. Salah satu aplikasi dari teknologi itu ialah watermarking pada digital audio. Hal ini dibutuhkan untuk menjaga keaslian data dan juga memberikan perlindungan hak cipta pada data digital audio tersebut. Prinsip watermarking itu sendiri ialah menyisipkan berbagai informasi ke dalam data digital audio tersebut dengan algoritma tertentu. Dalam makalah ini, akan dirancang watermark pada digital audio dengan menerapkan basis dari modulasi OFDM. Pemilihan basis OFDM dikarenakan bisa memberikan kapasitas ruang sisip watermark yang besar di audio host. Metode penyisipan pesan menggunakan *Quantization Index Modulation* (QIM) yang skemanya adalah mengkuantisasi host data ke sebuah nilai sesuai dengan quantizer yang diacu oleh watermark tersebut. Skema QIM akan diimplementasikan dalam watermarking audio pada domain frekuensi. Untuk memberikan proteksi terhadap pesan, diterapkan BCH Code agar data sisipan lebih aman dari serangan. Proteksi dilakukan saat pre-processing dari pesan sebelum disisipkan ke dalam audio host. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan audio terwatermark berkapasitas maksimum yang tinggi mencapai 24.22 Kbps dengan tingkat imperseptibilitas yang terjaga dimana nilai ODG > -1,5 dan SNR > 20db.

Kata kunci: audio watermarking, OFDM, QIM, domain frekuensi, BCH Code.

1. Pendahuluan

Dampak dari globalisasi ialah berkembangnya teknologi komunikasi antar manusia, salah satunya adalah internet. Internet memudahkan kita untuk saling bertukar informasi dalam bentuk digital yang berupa teks, *image*/citra, audio, maupun video. Dengan kemudahan seperti itu maka peran label/hak cipta menjadi penting agar data digital yang disebarluaskan itu tidak diakusisi oleh pihak lain. Saat ini digital audio sangat rentan terhadap pembajakan, oleh karena itu diperlukan *watermarking* audio yang memiliki karakteristik imperseptibilitas yang tinggi, tahan terhadap berbagai serangan dan berkapasitas tinggi. Pada penelitian yang telah dipublikasikan pada [1], menjelaskan bahwa penggunaan basis OFDM dengan penerapan QIM bisa dilakukan untuk *watermarking* pada sinyal telepon radio elektronik, sedangkan pada makalah [2] menjelaskan audio *watermarking* dengan modulasi *multicarrier non orthogonal* namun dilakukan pada *watermark*. Makalah [3] menghasilkan kesimpulan bahwa penggunaan basis OFDM mampu memberikan kapasitas maksimal penyisipan pesan yang besar. Sementara pada makalah ini, diusulkan teknik *watermarking* audio berbasis OFDM dengan metode QIM serta diperkuat dengan *error control coding* menggunakan BCH Code. Penggunaan basis OFDM mampu memberikan kapasitas ruang sisip *watermark* yang besar, hal ini merupakan pengaruh dari proses segmentasi *sample audio host serial to parallel*. Metode QIM yang dilakukan pada domain frekuensi akan mempengaruhi perubahan nilai *amplitude* dari audio *host* yang tersisipi bit *watermark*.

Makalah ini memiliki struktur sebagai berikut, bab 1 menjelaskan pendahuluan yang meliputi hasil studi makalah yang menjelaskan penelitian terkait, bab 2 menjelaskan landasan teori dan bab 3 menjelaskan pembahasan yang meliputi model perancangan dan analisis sistem, bab 4 menjelaskan kesimpulan. Berdasarkan deskripsi latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah di makalah ini, yaitu bagaimana penerapan skema *Quantization Index Modulation* (QIM) agar citra yang disisipkan ke sinyal audio tidak menimbulkan distorsi yang dideteksi indera pendengaran dan pengaruh penambahan *channel coding* terhadap perbaikan performansi deteksi *watermark* dari pengaruh serangan. Sehingga tujuan dari makalah ini adalah merancang *watermarking* audio yang efektif sehingga label tetap terjaga dari serangan dengan proteksi BCH Code dan

mengetahui besarnya kapasitas ruang penyisipan citra yang dihasilkan dengan basis OFDM dan skema *Quantization Index Modulation* (QIM).

2. Landasan Teori

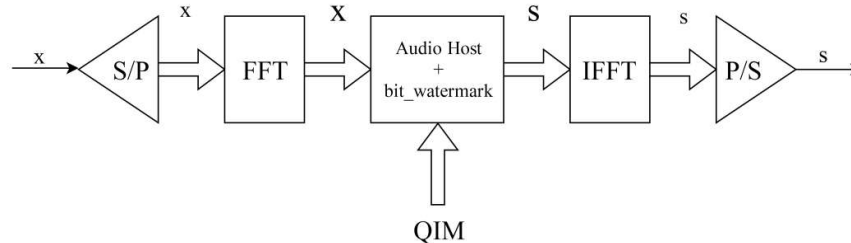
Dalam makalah ini, diperlukan teori-teori pendukung sebagai pedoman untuk memudahkan proses perancangan sistem agar tujuan pada makalah ini bisa tercapai, teori-teori tersebut adalah teori audio *watermarking*, OFDM, QIM, dan BCH Code.

2.1 Audio Watermarking

Audio *watermarking* merupakan teknik yang digunakan untuk menyisipkan informasi berupa data *digital* ke dalam file audio. *Host digitalnya* adalah audio, sedangkan data sisipannya dapat berupa teks, citra, audio, bahkan video. Prosesnya dirancang dengan algoritma tertentu yang memanfaatkan kelemahan indera telinga manusia sehingga informasi yang disisipkan tidak disadari keberadaannya dan tahan terhadap serangan [4]. Prinsip dalam proses audio *watermarking* itu sendiri ialah menjumlahkan file audio *host* dengan informasi yang akan disisipkan dan proses itu disebut *embedding process*. Sedangkan proses pengambilan informasi hasil sisipan pada audio ter*watermark* biasa disebut *extracting process*.

2.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan salah satu dari teknik modulasi yang paling banyak digunakan saat ini. OFDM digunakan untuk mengatasi *fading* frekuensi selektif dari kanal *multipath*, yang memungkinkan memiliki data rate yang tinggi dengan cara mengurangi *intersymbol interference* (ISI). Konsep OFDM adalah menyebarkan data yang akan ditransmisikan ke dalam sejumlah besar *carrier* [5]. Setiap *carrier* dibuat *orthogonal* terhadap yang lain dengan menggunakan Transformasi Fourier. Proses penyisipan informasi dengan basis OFDM ini dilakukan dengan cara membagi setiap audio *host* menjadi beberapa *frame/blok*. Secara sederhana, skema proses penyisipan *watermark* menggunakan basis OFDM dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Alur proses *watermarking* audio dengan basis OFDM [1]

Pada Gambar 1 menjelaskan tentang skema penyisipan *watermarking* dengan basis OFDM yang menggunakan metode QIM sebagai penyisipan bit *watermark* ke dalam audio *host*.

2.3 Quantization Index Modulation

Metode *watermarking* dengan skema QIM diperkenalkan oleh Brian Chen dan Gregory W. Wornell pada tahun 1999. Tahapan skema QIM adalah sebagai berikut [6] :

1. Memodulasi *watermark* dalam satu indeks atau himpunan indeks. Hasilnya kemudian disebut dengan *quantizer*.
2. Mengkuantisasi sinyal host pada frekuensi tertentu dengan *quantizer* yang sesuai dengan nilai *watermark* yang akan disisipkan pada sinyal tersebut.

Kuantisasi pada dasarnya dapat diterapkan di domain waktu atau frekuensi atau setelah proses transformasi. Data *watermark* disisipkan pada nilai maksimal/ekstrem sinyal. Dalam menggunakan teknik QIM pada makalah ini, digunakan parameter yang diubah-ubah nilainya untuk mencari hasil penyisipan terbaik, parameter itu adalah Δ . Nilai Δ didapat dari banyaknya *nbit* (bit kuantisasi pada QIM) yang mana Δ itu merupakan jarak antar nilai kuantisasi dari teknik QIM. Rumusan QIM untuk proses penyisipan (*embedding process*) dan proses ekstraksi (*extracting process*) pada *watermark* yang akan digunakan ialah sebagai berikut [7] :

1. Proses penyisipan :
Jika bit *watermark* yang disisipkan adalah bit '1', maka

$$F'(0) = A_k \text{ dan } \arg \min |F(0) - A_k| \quad (2.1)$$

Jika bit *watermark* yang disisipkan adalah bit '0', maka :

$$F'(0) = B_k \text{ dan } \arg \min |F(0) - B_k| \quad (2.2)$$

$$\text{dimana nilai } A_k = \left(2k + \frac{1}{2}\right)\Delta, B_k = \left(2k - \frac{1}{2}\right)\Delta, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.3)$$

2. Proses ekstraksi :

$$\tilde{v}(k) = \text{mod}(\text{ceil}\left(\frac{F(0)}{\Delta}\right), 2) \quad (2.4)$$

$$\Delta = \frac{1}{2^{(n\text{bit}-1)}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$F(0)$ = *sample host* audio sebelum di kuantisasi

$F'(0)$ = *sample host* audio setelah disisipkan

Δ = delta

k = indeks kuantisasi

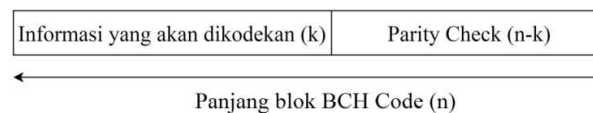
$n\text{bit}$ = bit kuantisasi pada metode QIM

2.4 Bose, Chadhuri, and Hocquenghem (BCH) Code

Bose, Chadhuri, and Hocquenghem (BCH) Code merupakan salah satu teknik penerapan *channel coding*, ditemukan oleh Hocquenghem pada tahun 1959 yang kemudian dikembangkan oleh Bose dan Ray-Chaudhuri pada tahun 1960. Istilah BCH sendiri berasal dari singkatan inisial nama-nama dari penemu kode ini [8]. Pada dasarnya cara kerja kode BCH ini ialah membentuk kelas kode deteksi dan koreksi *error*. Kelebihan utama dari kode BCH adalah kemudahan untuk dapat dikodekan melalui metode *elegant algebraic* yang dikenal sebagai *syndrome decoding*. Kode BCH ini merupakan *cyclic codes* dimana beberapa symbol tersusun dari m -bit yang berurutan, dimana m adalah integer positif yang lebih besar dari 2. Pada *binary BCH code* terdapat beberapa parameter sebagai berikut [9]:

Panjang blok	:	$n = 2^m - 1$
Jumlah digit parity-check	:	$n - k \leq mt$
Jarak minimal	:	$d_{\min} \geq 2t + 1$

Kode ini dapat mengoreksi kombinasi apapun dari t atau lebih kecil dalam blok n digit disebut dengan istilah BCH *t-error-correcting*. Format kode BCH bisa dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Kombinasi blok BCH Code [9]

BCH Code memiliki 2 tahapan inti yaitu, *encoding* BCH Code dan *decoding* BCH Code. Proses *encoding* adalah mengubah data dari sumber informasi menjadi suatu *codeword*, yakni gabungan antara bit informasi dengan bit *parity*. Proses *decoding* adalah pengambilan kembali bit informasi.

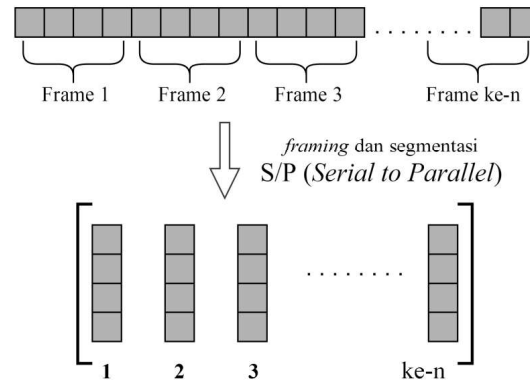
3. Perancangan Sistem dan Analisis Hasil Pengujian

Dalam proses perancangan sistem *watermarking* audio pada makalah ini, ada dua proses yaitu proses penyisipan dan proses ekstraksi. Proses penyisipan ialah tahap menyisipkan bit *watermark* pada audio. Data sisipan pada makalah ini ialah citra hitam putih dengan ukuran 60 x 60 *pixel*. Audio *host* yang digunakan adalah audio dengan format *.wav berdurasi 10 detik dimana besar frekuensi *sampling*nya 44100 Hz. Serangkaian tahap proses penyisipan ialah sebagai berikut :



Gambar 3. Citra *watermark*

1. Pada tahap *pre-processing* pesan berupa citra hitam putih berukuran 60 x 60 *pixel* dirubah ke dalam bentuk biner yang kemudian bit citra ditambah BCH Code (7,4,1) untuk memberikan proteksi kepada bit *watermark* agar lebih kuat dan tahan terhadap serangan.
2. Tahap kedua adalah segmentasi *sample audio host*. *Sample audio host* awalnya dipetakan dalam bentuk *serial*. Dari *serial* dirubah menjadi *parallel* dimana *sample audio host* akan menjadi sebuah matrik [A x B] sesuai dengan jumlah *framing* yang ditentukan seperti pada gambar berikut :



Gambar 4. Segmentasi *serial to parallel* pada *sample audio host*

3. Tahap selanjutnya merubah domain dari *sample audio host* dari domain waktu ke domain frekuensi dengan FFT. Yang kemudian dilakukan penyisipan bit citra *watermark* dengan metode QIM. Pada tahapan akhir ialah membalikkan domain audio menjadi domain waktu dengan IFFT dan didapatkan audio ter*watermark*.

Pada pembahasan selanjutnya ialah mengetahui performansi sistem dengan berbagai pengujian berdasarkan perubahan nilai Δ terhadap parameter ODG, SNR, BER dan dengan serangan. Berikut hasil dari analisis yang dilakukan :

Tabel 1. Hasil Pengujian Pengaruh Δ terhadap ODG, SNR, dan BER

No	<i>nbit</i>	Nilai Δ	ODG (0 sampai -4)	SNR (dB)	BER (0 sampai 1)
1	1	1	-1.2302	19.6826	0
2	5	1/16	-0.7771	23.5299	0
3	10	1/512	-0.7649	23.5572	0
4	14	1/8192	-0.7652	23.5572	0.0939
5	15	1/16384	-0.7652	23.5572	0.4258

Tabel 1 menjelaskan pengaruh nilai Δ terhadap parameter ODG, SNR, dan BER. Nilai ODG terbilang bagus jika diantara -1 sampai 0 [10]. Nilai SNR dikategorikan bagus jika berada di atas 20 dB [11]. Untuk parameter ODG dan SNR, jika nilai $\Delta < 1$ maka akan mendapatkan nilai ODG dan SNR semakin bagus, namun berbanding terbalik dengan BER dimana jika nilai $\Delta < 1$ maka nilai BER semakin menuju ke angka 1 yang mana artinya error pada citra *watermark* hasil ekstraksi semakin besar. Hal ini merupakan *trade-off* dari *watermarking* itu sendiri dimana jika kualitas/*imperceptibility* dari audio ter*watermark* nilainya tinggi, maka ketahanan/*robustness* dari audio ter*watermark* itu rendah dan begitu sebaliknya. Dari penelitian yang dilakukan bahwa nilai kualitas dan ketahanan yang bagus berada pada nilai *nbit* mulai dari 1 sampai 13. Selanjutnya dilakukan analisis ketahanan sistem terhadap serangan, serangan yang digunakan adalah *Noise Addition* dan *MP3 Compression*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pengaruh *Noise Addition* terhadap Nilai Parameter BER (*Bit Error Rate*)

No	Gain	BER (0 sampai 1)				
		$\Delta = 1$	$\Delta = 1/4$	$\Delta = 1/16$	$\Delta = 1/512$	$\Delta = 1/4096$
1	1/10	0	0.0075	0.4708	0.5044	0.5003
2	1/15	0	0	0.3339	0.4931	0.5047
3	1/20	0	0	0.1839	0.5056	0.5006
4	1/25	0	0	0.0883	0.4839	0.4983
5	1/30	0	0	0.0347	0.4972	0.5017

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengaruh *MP3 Compression* terhadap Nilai Parameter BER (*Bit Error Rate*)

No	Bitrate	BER (0 sampai 1)				
		$\Delta = 1$	$\Delta = 1/4$	$\Delta = 1/16$	$\Delta = 1/512$	$\Delta = 1/4096$
1	64k	0.1311	0.2917	0.4989	0.4881	0.5042
2	128k	0	0.0367	0.3172	0.5061	0.4989
3	192k	0	0.0031	0.1258	0.4967	0.5103
4	256k	0	0	0.0178	0.4994	0.4944
5	320k	0	0	0.0169	0.4956	0.4997

Tabel 2 menjelaskan pengaruh serangan *noise addition* terhadap parameter BER dimana sistem masih bisa bertahan di saat Δ bernilai 1 sampai 1/4, dibawah nilai 1/4 maka sistem sudah tidak tahan. Pada Tabel 3 menjelaskan pengaruh serangan *MP3 Compression* dimana sistem masih tahan di saat Δ bernilai 1 di *bitrate* 128k, 192k, 256k, dan 320k. Untuk Δ bernilai 1/4 sistem mulai tahan saat *bitrate* 256k dan 320k. Jika nilai $\Delta < 1/4$ sistem tidak mampu menahan serangan walaupun pada saat Δ bernilai 1/16 masih baik citra hasil ekstraksi di *bitrate* 192k, 256k, dan 320k.

4. Kesimpulan

Perancangan *watermarking* audio berbasis OFDM dengan menggunakan metode *quantization index modulation* (QIM) dan *BCH Code* yang dibuat dapat berjalan dengan baik dengan data sisipan berupa citra hitam putih dimana sistem mampu mencapai nilai SNR diatas 20 dB dan ODG lebih dari -1 saat $\Delta < 1$. Sedangkan untuk nilai BER yang mencapai 0 saat $\Delta > 1/8192$. Penggunaan basis OFDM mampu memberikan kapasitas maksimal yang besar. Dengan penggunaan *frame* bernilai 16, skema ini dapat menyisipkan sekitar 24.224 bit dalam satu detiknya.

Penggunaan *BCH Code* sebagai proteksi bit *watermark* terbukti bisa digunakan untuk melindungi citra *watermark* dari serangan yang diberikan seperti *Noise Addition* dan *MP3 Compression*. Dibuktikan dengan nilai BER yang bisa mencapai 0 pada level tertentu. Untuk *noise addition* BER bernilai 0 ketika Δ bernilai 1 sampai 1/4 saat nilai variabel gain = 1/15, 1/20, 1/25, 1/30. Untuk *MP3 Compression* dimana sistem masih tahan di saat Δ bernilai 1 di *bitrate* 128k, 192k, 256k, dan 320k. Untuk Δ bernilai 1/4 sistem mulai tahan saat *bitrate* 256k dan 320k. Jika nilai $\Delta < 1/4$ sistem tidak mampu menahan serangan *MP3 Compression* walaupun pada saat Δ bernilai 1/16 masih baik citra hasil ekstraksi di *bitrate* 192k, 256k, dan 320k.

Daftar Pustaka

- [1]. Shishkin, Aleksandr V., "OFDM-based Audio Watermarking for Electronic Radiotelephone Identification". Odessa National Maritime Academy. 2010.
- [2]. Budiman, Gelar, Suksmono B., Andriyan, "A Multicarrier Modulation Audio Watermarking System", The 5th International Conference on Electrical Engineering and Informatics 2015, pp. 164-170, Agustus 2015.
- [3]. Florean, Timotius, "Perancangan Simulasi Penyembunyian Citra pada Sinyal Audio berdasarkan Pendekatan Modifikasi OFDM". Universitas Telkom. Bandung. 2016.
- [4]. Petrovic, R. "Audio signal watermarking based on replica modulation", 5th International Conference TELSIKS'01, 227-234. 2001.
- [5]. Manushree Bhardwaj, Arum Gangwar, Devendra Soni, "A Review on OFDM : Concept, Scope & its Applications", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSRJMCE), 2012, pp.07-11.
- [6]. Chen, Brian dan Wornell, Gregoty W., "Quantization Index Modulation : A Class of Provably Good Methods for Digital Watermarking and Information Embedding". IEEE Transaction On Information Theory. Vol.47.No.4.
- [7]. Minh, Nhut, and Masashi Uniko. 2015. "Robust and Reliable Auido Watermarking Based On Phase Coding". IEEE.
- [8]. Wallace, Hank. 2011. "Error Detection and Correction Using BCH Codes". Virginia: Atlantic Quality Design.
- [9]. Lin, Shu and Costelo, Daniel Jr. 1983. "Error Control Coding : Fundamentals and Applications". New Jersey. Prentice-Hall Inc.

- [10]. G. Zeng and Z. Qiu. 2008. "Audio *watermarking in DCT : Embedding Strategy and Algoritm*", in Proceedings of 9th International Conference on Signal Processing, (ISP'09),pp 219302196.
- [11]. S. Wu, J. Huang, D. Huang, and Y. Q. Shi, "*Efficiently, self-synchronized audio watermarking for assured audio data transmission,*" IEEE Trans. Broadcasting, vol. 51, no.1, pp. 69-76, Mar. 2005.