

KINERJA TEKNIK COMPRESSIVE SAMPLING DAN SINKRONISASI PADA AUDIO WATERMARKING STEREO BERBASIS STATIONARY WAVELET TRANSFORM DENGAN METODE HISTOGRAM

Gelar Budiman ¹⁾, Puspa Bahari ²⁾, Sofia Saidah ³⁾

^{1),2),3)} Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro, Telkom University
Jl. Telekomunikasi No. 01, Terusan Buah Batu, Bandung
Email : gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak. Akibat dari berkembangnya teknologi, kini penjualan lagu dan album secara digital lebih diminati daripada penjualan album secara fisik (menggunakan disk) dikarenakan kepraktisannya. Namun di balik kepraktisan tersebut, sayangnya penjualan digital juga semakin memberi kesempatan para pembajak untuk melancarkan aksinya. Di sanalah teknik watermarking mengambil peran. Teknik Watermarking adalah suatu teknik atau cara untuk melakukan penyembunyian atau penanaman data (informasi) tertentu ke dalam suatu data digital lainnya. Pada makalah ilmiah ini akan dibahas penggabungan beberapa metode watermarking yang dapat dijadikan pertimbangan sebagai salah satu cara untuk mengatasi pembajakan audio yang marak terjadi. Metode watermarking yang digunakan adalah teknik Compressive Sampling (CS), sinkronisasi berbasis Stationary Wavelet Transform (SWT) dan metode Histogram. Diharapkan hasil dari penelitian makalah ilmiah ini akan didapatkan hasil audio ter-watermark yang memuaskan, meliputi: kualitas audio yang baik, ketahanan terhadap serangan serta kapasitas watermark yang besar, dengan menggunakan metode yang seperti disebutkan di atas.

Kata kunci : audio watermarking, CS, Histogram, Sinkronisasi, SWT.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Saat ini pengaruh teknologi kini bisa dirasakan di berbagai media tak terkecuali pada bidang seni musik sekalipun. Kini hampir seluruh produsen musik beralih pada penjualan digital ketimbang konvensional dengan menggunakan kaset karna tuntutan permintaan pasar. Pembeli lebih menyukai mengunduh ataupun streaming lagu kesukaannya di situs resmi ketimbang harus membeli album fisik karena dirasa lebih efisien dan mudah untuk mendengarkan lagu kesukaannya di mana saja. Namun sayangnya, bersamaan dengan kenyamanan yang dirasakan pelanggan dan kemudahan produsen musik untuk mencapai pasar penjuru dunia, tentu saja ada risiko yang mengikuti, terutama pada bidang hak cipta. Mudah sekali ditemui situs-situs yang memberikan lagu-lagu produsen secara cuma-cuma yang tentu saja sangat merugikan bagi produsen tersebut. Untuk melindungi hak produsen tersebut, digunakanlah sebuah teknologi yang disebut *watermarking*.

Watermarking atau *digital watermarking* merupakan suatu cara penyembunyian data atau informasi pada suatu media tertentu tetapi tidak diketahui kehadirannya oleh indera manusia (indera penglihatan atau indera pendengaran), serta mampu tahan terhadap serangan yaitu berupa pengolahan sinyal digital sampai pada tahap tertentu dan dapat diambil kembali (*extracting*) *watermark* yang media digitalnya telah diserang dengan berbagai serangan untuk memastikan keaslian dari media tersebut [1] [2]. Data yang disimpan dalam watermark pada *watermarked* data sangat penting karena menjadi identitas dari pemilik media tersebut [3]. Pada umumnya, *watermark* disisipkan dengan sedemikian rupa agar indra manusia tak dapat menyadari keberadaannya atau disebut *imperceptible*. Kemampuan *imperceptible* dari suatu *watermark* sangat penting untuk menjaga kualitas pada persepsi manusia. Manusia masih dapat mengasumsi keaslian dari konten tersebut dan menikmati konten tersebut tanpa kekecewaan karena konten yang kurang bagus kualitasnya yang disebabkan oleh *watermark* yang kurang kemampuan *imperceptible*-nya [4].

Masalah yang dibahas oleh makalah ini adalah proses perancangan dari audio watermarking dengan Sinkronisasi dan CS, besar kualitas audio yang sudah disisipkan *watermark* dibandingkan dengan kualitas audio asli dan besar ketahanan *watermark* terhadap beberapa serangan pengolahan sinyal.

Sementara untuk tujuan makalah ini adalah merancang Sinkronisasi dan CS pada audio *watermarking*, menganalisis kualitas audio yang sudah disisipkan *watermark* dibandingkan dengan kualitas audio asli dengan parameter SNR (*Signal to Noise Ratio*), BER (*Bit Error Rate*) dan ODG (*Objective Different Grade*) dan menganalisis ketahanan *watermark* terhadap beberapa serangan pengolahan sinyal.

1.2. Tinjauan Pustaka

Compressive Sampling memungkinkan untuk memulihkan sinyal secara sempurna dari sejumlah angka terbatas yang acak dan hasil perhitungan [5], penulis makalah tersebut menggunakan sinyal dengan nilai real dan hash signature sebagai teknik *encoding*-nya, namun performanya tidak begitu baik jika menggunakan hash signature yang kecil. Dalam [6] Ukash Nakarmi dan Nazanin Rahnavard memilih menggunakan binary compressive sampling (BCS) daripada sinyal dengan nilai real. Walaupun performa dari CS binary lebih baik, error rate antara menggunakan sinyal dengan nilai real dengan BCS adalah sama.

Dalam [7] menyatakan bahwa SWT dapat memberikan solusi atas kelemahan dari metode DWT ((Discrete Wavelet Transform), penulisnya menggunakan SWT sebagai metode pada penelitiannya untuk deteksi robustness akan tetapi hanya dapat menahan berbagai serangan hingga 50%.

Dalam [8] penulis menyatakan sinkronisasi memiliki peran yang sangat penting karena sinkronisasi akan mengarah pada false detection jika *watermark* kehilangan sinkronisasinya. Penelitiannya menunjukkan hasil yang baik kecuali ketika berurusan dengan modifikasi time scale invariant.

Dalam [9] Shijun Xiang dan Jiwu Huang menyatakan histogram audio diperoleh dengan membagi sejumlah range sampel kedalam bins yang berukuran sama besar. Kemudian menghitung jumlah sampel dari audio yang terdapat di bins Histogram tersebut. Penelitian tersebut menampilkan hasil yang baik namun hanya dengan menggunakan parameter SNR.

2. Pembahasan

Pada penelitian berikut ini, diciptakan suatu metode yang merupakan gabungan antara metode Compressive Sampling (CS), sinkronisasi berbasis Stationary Wavelet Transform (SWT) dan metode Histogram.

2.1. Stationary Wavelet Transform (SWT)

SWT adalah salah satu algoritma transformasi yang didesain untuk menyempurnakan kekurangan dari translasi-invarian milik *Discrete Wavelet Transform* (DWT). Perbedaan antara SWT dan DWT adalah SWT tak menggunakan *down-sampling* sehingga sub-bands-nya akan memiliki ukuran yang sama besar dengan cuplikan *audio* masukan. Dibandingkan dengan DWT, SWT lebih luwes, peka terhadap perubahan (*shifting invariant*) dan memberikan pendekatan transformasi *wavelet* yang terus menerus dibandingkan pendekatan yang ditawarkan oleh DWT. Translasi *invariant* tersebut sangat berguna ketika *audio* diserang dengan serangan *time scale modification* (TSM) [7].

Koefisien detail dari SWT [7]:

$$\hat{d}_{j+1,k} = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} h(l) \hat{d}_{j,k+2^j l} \dots\dots\dots(1)$$

Koefisien Perkiraan (*Approximation Coefficients*) dari SWT [7]:

$$\hat{c}_{j+1,k} = \langle f(x), \frac{1}{2^{(j+1)/2}} \phi\left(\frac{x-k}{2^{(j+1)/2}}\right) \rangle = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} h(l) \hat{c}_{j,k+2^j l} \dots\dots\dots(2)$$

Algoritma rekonstruksi (IDSWT) diperoleh dengan rumus [10]:

$$A_{j-1,n_1,n_2} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 \left\{ \sum_{k_1} \sum_{k_2} h_1(n_1 - 2k_1 - i) h_1(n_2 - 2k_2 - i) A_{j,k_1,k_2} + \sum_{k_1} \sum_{k_2} h_1(n_1 - 2k_1 - i) g_1(n_2 - 2k_2 - i) D^1_{j,k_1,k_2} + \sum_{k_1} \sum_{k_2} g_1(n_1 - 2k_1 - i) h_1(n_2 - 2k_2 - i) D^2_{j,k_1,k_2} + \sum_{k_1} \sum_{k_2} g_1(n_1 - 2k_1 - i) g_1(n_2 - 2k_2 - i) D^3_{j,k_1,k_2} \right\} \quad (3)$$

2.2. Compressive Sampling

Compressive sampling adalah paradigma baru yang menegaskan jika mungkin untuk memulihkan sinyal secara sempurna dari jumlah angka terbatas yang acak, pengukuran linear yang non-adaptif, dengan syarat sinyal tersebut memperbolehkan sebuah *sparse representation* dalam beberapa basis orthonormal atau dalam kamus *redundant*. Yaitu bisa direpresentasikan dengan angka kecil dari koefisien non-zero dalam beberapa baris ekspansi [5].

2.3. Histogram

Bentuk paling umum dari *audio* histogram diperoleh dengan membagi sejumlah *range* sampel kedalam bins yang sama besar. Kemudian menghitung jumlah sampel dari *audio* yang terdapat di bins Histogram tersebut [1]. *Mean* (nilai rata-rata) asli dari sebuah sinyal *audio* dihitung dengan menambahkan semua nilai sampel dan membagi hasilnya dengan jumlah sampel yang ada. Biasanya *mean* ini adalah sebuah pengukuran statistik penyebaran dari nilai data dan perbedaan nilai data dari pola terdistribusi normal. Karena *mean* asli dari sebuah sinyal *audio* bertanda selalu mendekati nol, aplikasikan nilai *mean* yang termodifikasi dari suatu sinyal *audio* agar bisa meng-estimasi sifat statistik dari sinyal *audio* dengan lebih baik.

Pada Histogram, misalkan resolusi dari sebuah sinyal *audio* yang sudah bertanda adalah R bit. Nomor dari bins dapat dihitung sebagai [9]:

$$L = \begin{cases} \frac{2^R}{M}, & \text{if } \text{Mod} \left(\frac{2^R}{M} \right) = 0 \\ \left\lfloor \frac{2^R}{M} \right\rfloor + 1, & \text{else} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Dengan M merupakan lebar dari bin, $h(i)$ mencakup range $[-2^{R-1} + (i-1) \cdot M - 1]$, dan $\lfloor \cdot \rfloor$ adalah floor function.

Mean A dihitung sebagai jumlah dari nilai absolut semua sampel terhadap durasinya [9]:

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |f(i)| \quad \dots\dots\dots (5)$$

2.4. Sinkronisasi

Sinkronisasi adalah salah satu kunci dari *audio watermarking*. Deteksi *watermark* dimulai dari penyusunan dari blok ter-*watermark* dengan detektor. Jika terjadi kehilangan sinkronisasi akan menyebabkan kesalahan deteksi. *Time-scale* atau *frequency-scale modification* membuat detektor kehilangan sinkronisasi [8].

2.5. Parameter Pengujian

Pengujian terhadap *watermarked audio* memiliki beberapa parameter sebagai berikut:

2.5.1 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) menyatakan tingkat *noise* terhadap *audio* yang berisikan pesan [11].

$$SNR (sw, so) = 10 \log \frac{\sum_n [so(n)]^2}{\sum_n [sw(n) - so(n)]^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

2.5.2 Bit Error Rate (BER)

Secara matematis persamaan BER dapat ditulis sebagai berikut [1]:

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit yang salah}}{\text{Jumlah bit keseluruhan}} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

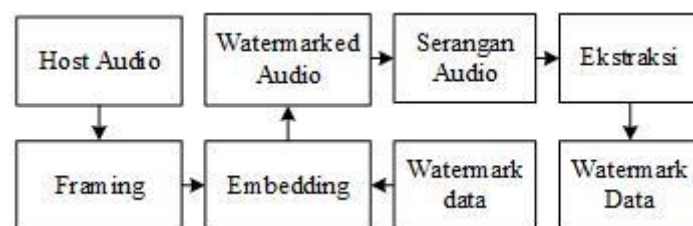
2.5.3 Objective Different Grade (ODG)

Objective Different Grade (ODG) merupakan parameter pengukuran dengan menghitung evaluasi persepsi dari algoritma kualitas audio yang ditentukan dalam ITU-R BS. 1387-1 standar (*International Telecommunication Union-Radio-communication Sector*).

Tabel 1. Skala ODG/PEAQ [12]

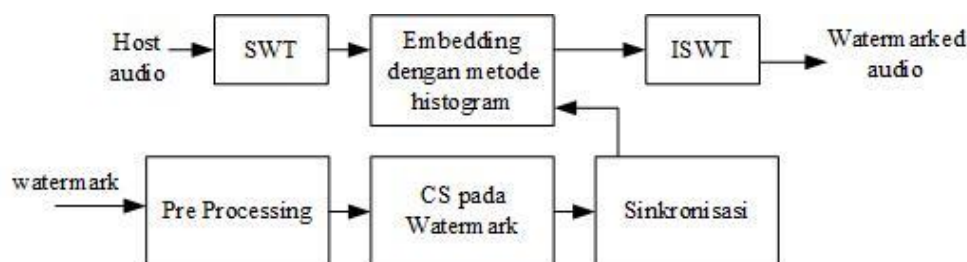
ODG/PEAQ Scale	Deskripsi Error	Kualitas
0	Tidak terlihat	Sangat bagus
-1	Terlihat tapi tidak mengganggu	Bagus
-2	Sedikit mengganggu	Cukup
-3	Mengganggu	Buruk
-4	Sangat mengganggu	Sangat Buruk

2.6. Pemodelan sistem



Gambar 1. Diagram blok rancangan sistem

2.6.1. Proses embedding



Gambar 2. Diagram blok proses *embedding*

Embedding proses adalah proses penyisipan data watermark pada host audio. Terdapat beberapa tahapan proses *Embedding* pada makalah ini, yaitu:

Langkah 1: Meng-input-kan host audio adalah tahapan awal untuk pemilihan audio sebagai host untuk menyisipkan suatu informasi. Kemudian, host tersebut akan disegmentasi menjadi sejumlah *frame* dengan ukuran tertentu.

Langkah 2: Kemudian pada proses SWT, terdapat dua proses pemilihan daerah penyisipan, yaitu pada daerah penyisipan domain rendah (LPF) atau pada domain tinggi (HPF). Pemilihan ini sendiri dilakukan sampai *level* tertentu.

Langkah 3: *Watermarking* yang akan disisipkan berupa image. Lakukan proses pengubahan image tersebut dari bentuk dua dimensi menjadi bentuk satu dimensi.

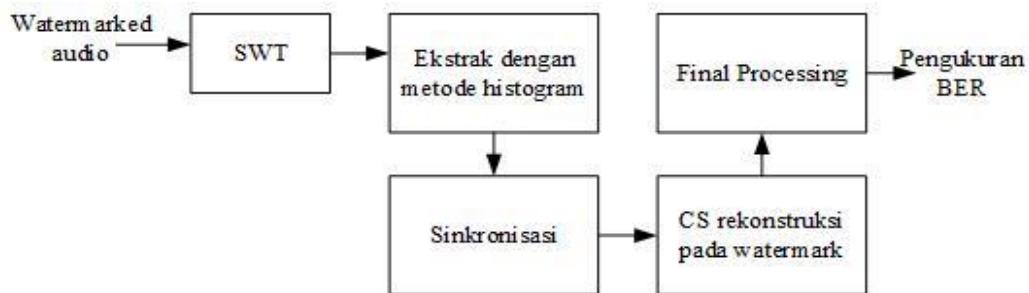
Langkah 4: Penambahan bit header pada watermark sebelum melakukan *embedding*.

Langkah 5: *Watermarking* yang sudah dalam bentuk satu dimensi tersebut selanjutnya akan disisipkan (*embedding*) pada host audio, proses *embedding* dilakukan dengan metode histogram.

Langkah 6: Setelah proses penyisipan selesai, host audio yang telah disisipkan tadi masuk ke dalam ISWT (Inverse SWT), yaitu proses pengubahan domain frekuensi ke domain waktu.

Selanjutnya didapatkan suatu audio yang telah disisipkan suatu informasi atau yang disebut *watermarked audio*.

2.6.2. Proses Ekstraksi



Gambar 3. Diagram proses ekstraksi *watermark*

Setelah proses penyisipan selesai, selanjutnya dilakukan proses pengujian ketahanan terhadap serangan. Kemudian dilakukanlah proses ekstraksi untuk mengambil kembali informasi yang disisipkan setelah serangan dilakukan, berikut adalah tahapan proses ekstraksi:

Langkah 1: Data audio yang telah disisipkan dan diuji serangan akan menjadi data awal sebelum diekstraksi untuk mendapatkan kembali data *watermark*.

Langkah 2: Melalui proses ISWT, dipisahkan kembali domain rendah dan domain tinggi di mana data *watermark* disisipkan.

Langkah 3: Pada proses SWT, domain waktu diubah ke domain frekuensi.

Langkah 4: Setelah itu, proses ekstraksi dengan metode histogram dilakukan sehingga didapatkanlah data *watermark* yang ingin diambil kembali.

Langkah 5: Selanjutnya dilakukan perbandingan antara data awal *watermark* sebelum di-*embedding* dengan data *watermark* yang diambil kembali setelah diuji terhadap serangan. Pada perbandingan tersebut diharapkan BER-nya bernilai nol.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian dapat dilihat dari uji ketahanan watermark terhadap serangan serta uji *imperceptibility*. Pada uji ketahanan didapatkan nilai BER. Sementara pada uji *imperceptibility* akan didapat dua analisis, objektif dan subjektif. Pada makalah ini yang diuji hanya secara analisis objektif yaitu nilai SNR dan ODG.

SNR dikatakan baik yaitu dengan nilai lebih dari 20 dB. Sementara untuk nilai BER pada *audio watermarking* adalah $BER < 10\%$. Untuk nilai ODG sendiri, seperti tertuang pada tabel 1, nilainya dikatakan baik apabila mendekati 0.

4. Simpulan

Dalam paper ini, *watermarking* diuji ketahanannya dengan menggunakan metode SWT dan Histogram dikombinasikan sebagai metode proses *embedding watermark* tersebut pada host audio sementara CS dan sinkronisasi diaplikasikan pada *watermark* sebelum proses *embedding* dieksekusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *watermarked audio* dengan gabungan metode-metode tersebut yang diuji ketahanannya dengan berbagai serangan pemrosesan sinyal menunjukkan hasil yang memuaskan yaitu SNR yang lebih besar dari 20 Db, nilai BER di bawah 10% dan ODG mendekati 0.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada penulis satu, dua dan tiga yang telah membantu sangat banyak dalam pembuatan makalah ini. Terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penulis baik secara moral maupun secara finansial.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Lin and W. H. Lin, *Audio watermark: A comprehensive foundation using MATLAB*. 2015.
- [2] Yiqing Lin and Waleed H. Abdulla, "Audio Watermarking for Copyrights Protection Audio Watermarking for Copyrights Protection Technical Report," no. August, 2014.
- [3] G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. Danudirdjo, "A Modified Multicarrier Modulation Binary Data Embedding in Audio File," vol. 8, no. 4, pp. 762–773, 2016.
- [4] G. Budiman, L. Novamizanti, and I. Iwut, "Genetics Algorithm Optimization of DWT-DCT Based Image Watermarking."
- [5] G. Valenzise, G. Prandi, M. Tagliasacchi, and A. Sarti, "Identification of sparse audio tampering using distributed source coding and compressive sensing techniques," *Eurasip J. Image Video Process.*, vol. 2009, no. September 2008, pp. 1–23, 2009.
- [6] U. Nakarmi and N. Rahnavard, "BCS: Compressive sensing for binary sparse signals," *Proc. - IEEE Mil. Commun. Conf. MILCOM*, no. 3, 2012.
- [7] C. M. Pun and X. C. Yuan, "Robust segments detector for de-synchronization resilient audio watermarking," *IEEE Trans. Audio, Speech Lang. Process.*, vol. 21, no. 11, pp. 2412–2424, 2013.
- [8] X. Y. Wang and H. Zhao, "A novel synchronization invariant audio watermarking scheme based on DWT and DCT," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 54, no. 12, pp. 4835–4840, 2006.
- [9] 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.
- [10] J. Deng, H. Yue, and Z. Zhuo, "A Stationary Wavelet Transform Based Approach to Registration of Planning CT and Setup Cone beam-CT Images in Radiotherapy," 2014.
- [11] W. Zeng, "A Novel Audio Watermarking Algorithm based on Chirp Signal and Discrete Wavelet Transform," pp. 0–3, 2012.
- [12] P. K. Dhar, "Studies on Digital Audio Watermarking Using Matrix Decomposition," no. September, 2014.