
**PERANCANGAN DAN ANALISIS *COMPRESSIVE SAMPLING* DAN SINKRONISASI
PADA *AUDIO WATERMARKING STEREO* BERBASIS *DISCRETE WAVELET
TRANSFORM* ADAPTIF DENGAN METODE *COMPLEX CEPSTRUM TRANSFORM***

***DESIGN AND ANALYSIS OF COMPRESSIVE SAMPLING AND SYNCHRONIZATION
ON AUDIO WATERMARKING OF STEREO SIGNAL BASED ON ADAPTIVE DISCRETE
WAVELET TRANSFORM WITH COMPLEX CEPSTRUM TRANSFORM METHOD***

Allisha Septariani Ahmad¹, Gelar Budiman², R. Yunendah Nur Fu'adah³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom,

¹allishaaa@telkomuniversity.ac.id, ²gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id, ³yunendah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Watermarking adalah teknik penyisipan data rahasia (*watermark*) ke dalam suatu informasi digital (*host*). *Watermark* dapat berupa teks, citra, maupun audio. Pada penelitian ini dilakukan analisis dan perancangan sistem *watermarking* dengan penggabungan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dan *Complex Cepstrum Transform* (CCT). DWT digunakan untuk menentukan *subband* yang akan digunakan sedangkan CCT digunakan untuk memperoleh koefisien cepstrum. *Compressive Sampling* (CS) diterapkan pada *watermark* sebelum disisipkan pada audio. Metode penyisipan yang digunakan adalah *Statistical Mean Manipulation* (SMM). Pengujian dilakukan dengan parameter BER untuk *watermark* hasil ekstraksi dan ODG, SNR dan MOS untuk *watermarked audio*.

Kata kunci: *watermarking*, *audio watermarking*, DWT, cepstrum, *compressive sampling*

Abstract

Watermarking is a technique of inserting confidential data (*watermark*) into a digital information (*host*). *Watermarks* can be in the form of text, image, or audio. In this research, the design of *watermarking* system using *Discrete Wavelet Transform* (DWT) and *Complex Cepstrum Transform* (CCT). DWT is used to determine the *subband* while CCT is used to obtain the coefficient cepstrum. *Compressive Sampling* (CS) is applied to the *watermark* before it is inserted in the audio. The insertion method using *Statistical Mean Manipulation* (SMM). The test was performed using the BER parameters for extracted *watermarks* and ODG, SNR and MOS for *watermarked audio*.

Keyword: *watermarking*, *audio watermarking*, DWT, cepstrum, *compressive sampling*

Copyright © 2018 Telkom University. All rights reserved.

1. PENDAHULUAN

Pertukaran dan penyebaran informasi dengan memanfaatkan jaringan internet sudah tidak asing lagi kita dengar. Namun, selain memberikan dampak positif, internet juga dapat berdampak negatif. Salah satu contohnya adalah pelanggaran hak cipta (*copyright*), seperti mengambil dan memodifikasi data secara ilegal oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab. Sesuai dengan sifatnya, informasi digital dapat menghasilkan salinan yang tak terbatas dan sulit dibedakan dengan informasi aslinya. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknik yang mampu melindungi hak cipta dan kepemilikan data digital. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah teknik *watermarking*.

Watermarking adalah teknik penyisipan data rahasia (*watermark*) ke dalam suatu informasi digital (*host*). *Watermark* dapat berupa teks, citra, maupun audio. Konsep *watermarking* berkaitan erat dengan konsep

steganografi, namun memiliki perbedaan pada tujuannya. *Watermarking* bertujuan untuk menunjukkan kepemilikan, sedangkan steganografi bertujuan untuk menyembunyikan informasi aslinya pada informasi lain.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kamalika Datta dan Indranil Sengupta yang berjudul “*A Redundant Audio Watermarking Technique using Discrete Wavelet Transformation*”, didapatkan nilai parameter SNR dan PSNR yang cukup memuaskan. Sistem *audio watermarking* terbukti tahan terhadap berbagai macam serangan seperti *MP3 compression*, *resampling*, kuantisasi dan penambahan *noise*. Penelitian ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan tingkat *robustness* yang baik perlu dilakukan penyisipan *watermark* beberapa kali pada level dekomposisi yang berbeda-beda[1]. Penelitian lain dilakukan oleh Xundi Zhang dan Yanling Haodan dengan judul “*An Adaptive Audio Watermarking Algorithm Based on Cepstrum Transform*”. Pada penelitian ini dihasilkan sistem *audio watermarking* yang dapat disisipkan *watermark* dengan ukuran yang besar, hasil ekstraksi *watermark* cukup bagus dengan *robustness* yang cukup tinggi serta kemampuan *anti-jamming* yang bagus. Sistem audio watermarking terbukti tahan terhadap berbagai macam serangan seperti *Low Pass Filter (LPF)*, *resampling*, *weight cutting* dan penambahan *noise*[2]. Penulis pada [3] mengusulkan untuk menggunakan *Fast Fourier Transform* adaptif dengan *Spread Spectrum Framework*. Metode ini menghasilkan nilai SNR dan ODG yang rendah serta ketahanan *watermark* yang buruk terhadap beberapa jenis serangan. Pada [4], penulis mengusulkan untuk menggabungkan penggabungan *Fast Fourier Transform* adaptif dan *Discrete Cosine Transform* dengan *Fibonacci Sequence*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode ini menghasilkan *watermarked audio* dengan nilai ODG > -1 dan SNR > 30 dB. Metode *audio watermarking* berbasis *Multicarrier Modulation* diusulkan pada [5], hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *gain watermark* berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja ekstraksi. Semakin rendah nilai *gain* maka akan semakin rendah kinerjanya namun semakin baik *imperceptibility*. Dalam [6] *Modified Multicarrier Modulation* diusulkan. Hasil prosedur *testbed* menghasilkan ketahanan pada beberapa jenis serangan seperti *noise addition*, *linear speed change*, *multi band equalization* dan *echo addition*. Ketahanan *audio watermarking* masih dapat diterima dengan serangan *MP3 compression* dan *filtering* pada frekuensi *cut off* sampai dengan 16 kHz, karena nilai BER lebih rendah dari 10%.

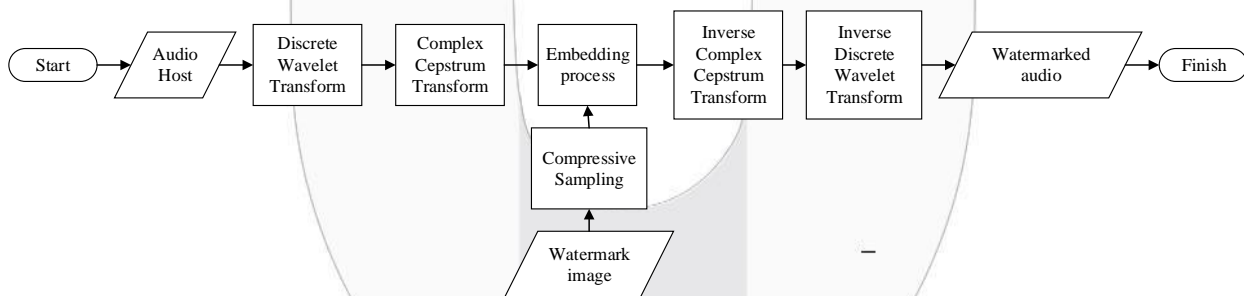
Penggabungan kedua metode ini diharapkan dapat menghasilkan sistem *watermarking* yang lebih tahan terhadap serangan dan data *watermark* dapat diekstraksi kembali.

2. MODEL SISTEM

Perancangan sistem *audio watermarking* terbagi menjadi dua proses, yaitu proses penyisipan *watermark* (*embedding*) dan proses ekstraksi *watermark* (*extraction*). Diantara kedua proses tersebut, terdapat proses pengujian ketahanan *watermarked audio* terhadap serangan.

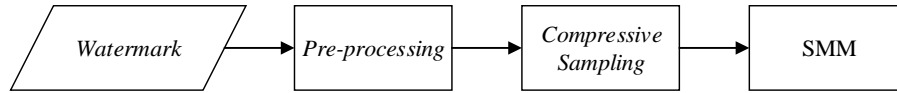
2.1 Perancangan Sistem Penyisipan

Skema perancangan sistem penyisipan *watermark* dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2. 1 Diagram alir proses penyisipan

Watermark yang digunakan pada penelitian ini berupa citra logo dengan ukuran matriks M x N. Sebelum disisipkan ke dalam *host* audio dilakukan proses *compressive sampling* (CS) dan penambahan bit sinkronisasi terlebih dahulu pada *watermark* seperti yang terlihat pada gambar berikut



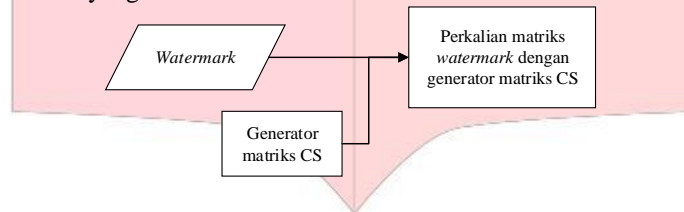
Gambar 2. 2 Proses CS sebelum watermark disisipkan

Tahapan proses kompresi adalah sebagai berikut:

- Langkah 1: Konversi citra logo watermark yang berupa matriks M x N dalam bentuk dua dimensi menjadi matriks satu dimensi.
- Langkah 2: Matriks satu dimensi tersebut kemudian melewati proses CS seperti gambar 2.2 dengan menggunakan persamaan berikut

$$y = \phi x = \phi \psi f \tag{1}$$

Pada proses ini, citra watermark akan dikompresi sehingga ukurannya menjadi lebih kecil dan akan diambil beberapa sampel piksel dari citra watermark tersebut yang cukup signifikan untuk digunakan pada proses rekonstruksi kembali. Sampel piksel yang diambil adalah piksel yang paling merepresentasikan citra watermark tersebut, atau dengan kata lain sampel piksel yang memiliki koefisien non-zero yang sedikit.



Gambar 2. 3 Proses perkalian matriks CS dan watermark

- Langkah 3: Proses penyisipan watermark pada host dilakukan.

Tahapan proses penyisipan watermark adalah sebagai berikut:

- Langkah 1: Membaca sinyal host audio $x(n)$. Karena $x(n)$ merupakan sinyal stereo, yaitu sinyal dalam bentuk matriks dua dimensi, maka perlu diubah terlebih dahulu ke dalam bentuk matriks satu dimensi. Misalnya matriks $x(n)$ adalah 6277370×2 kemudian diubah menjadi 6277370×1 . Karena pada dasarnya proses untuk tiap channel sama, maka channel diproses satu persatu. Jadi channel pertama yang berukuran 6277370×1 diproses terlebih dahulu, kemudian channel kedua dengan ukuran matriks yang sama diproses setelahnya. Hasil pemrosesan kedua channel ini kemudian digabungkan dan akan kembali ke ukuran matriks awal yaitu 6277370×2 .
- Langkah 2: Penambahan bit sinkronisasi untuk menandai posisi watermark dengan algoritma spread spectrum.
- Langkah 3: Sinyal host audio $x(n)$ dibagi menjadi dua komponen sinyal dengan metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) untuk menentukan subband yang akan digunakan. Hasil dari proses transformasi DWT disebut koefisien DWT. Pada penelitian ini dilakukan proses dekomposisi sinyal hingga level tiga

$$y_{low}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[2n - k] \tag{2}$$

$$y_{high}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[2n - k] \tag{3}$$

- Langkah 4: Koefisien DWT kemudian akan menjadi masukan pada proses selanjutnya, yaitu Complex Cepstrum Transform (CCT) dengan menggunakan persamaan (4). Hasil dari proses transformasi CCT disebut koefisien cepstrum dimana koefisien tersebut adalah hasil perubahan sinyal domain waktu menjadi sinyal domain cepstrum. Koefisien cepstrum ini dilambangkan dengan $c(n)$

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{-\infty}^{\infty} x(n) \cdot e^{-j\omega n} \tag{4}$$

Langkah 5: Menghitung rata-rata dan memodifikasi $c(n)$ dengan menggunakan persamaan (5) dan akan menghasilkan koefisien $c_N(n)$. Setelah itu, citra logo *watermark* yang telah melalui proses CS kemudian disisipkan ke dalam $c_N(n)$ dengan metode SMM menggunakan persamaan (6). Keluaran dari proses ini dilambangkan dengan $\widehat{c_N(n)}$.

$$c_N(n) = c(n) - \overline{c(n)} \tag{5}$$

$$y(n) = \begin{cases} c_N(n) - \alpha & \text{jika } W(n) = 0 \\ c_N(n) + \alpha & \text{jika } W(n) = 1 \end{cases} \tag{6}$$

Langkah 6: $\widehat{c_N(n)}$ kemudian masuk ke dalam proses ICCT dengan menggunakan persamaan (7) untuk mengembalikan sinyal dari domain cepstrum ke domain waktu dan IDWT dengan menggunakan persamaan (8) untuk mengembalikan sinyal panjang aslinya. Keluaran dari proses ini adalah *watermarked audio* yang dilambangkan dengan $\widehat{x(n)}$.

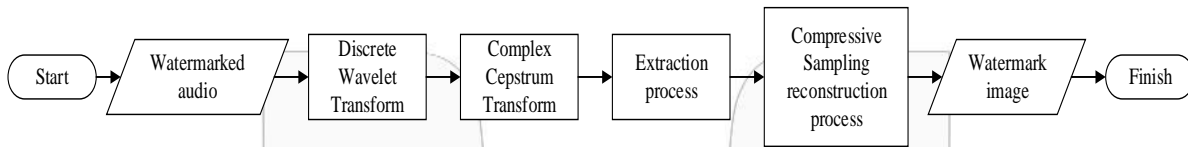
$$x(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega}) \cdot e^{j\omega n} d\omega \tag{7}$$

$$x(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} y_{high}[k]h(-k + 2n) + y_{low}[k]g(-k + 2n) \tag{8}$$

Langkah 7: Menghitung nilai ODG dan SNR untuk mengetahui kualitas *watermarked audio* yang dihasilkan.

2.2 Perancangan Sistem Ekstraksi

Skema perancangan sistem ekstraksi *watermark* dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2. 4 Diagram alir sistem ekstraksi *watermark*

Watermarked audio yang dihasilkan pada proses penyisipan diberikan beberapa jenis serangan seperti *low pass filter*, *band pass filter*, *noise*, *resampling*, *time scale modification*, *linear speed change*, *pitch shifting*, *equalizer*, *echo*, kompresi MP3, kompresi AAC, kompresi MP4 dan *delay* untuk menguji kualitas audio dan ketahanan *watermark* saat diekstraksi.

Tahapan proses ekstraksi *watermark* adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Membaca sinyal *watermarked audio* $\widehat{x(n)}$. Karena $\widehat{x(n)}$ merupakan sinyal stereo, yaitu sinyal dalam bentuk matriks dua dimensi, maka perlu diubah terlebih dahulu ke dalam bentuk matriks satu dimensi. Misalnya matriks $\widehat{x(n)}$ adalah 6277370x2 kemudian diubah menjadi 6277370x1. Karena pada dasarnya proses untuk tiap *channel* sama, maka *channel* diproses satu persatu. Jadi *channel* pertama yang berukuran 6277370x1 diproses terlebih dahulu, kemudian *channel* kedua dengan ukuran matriks yang sama diproses setelahnya. Nilai BER hasil pemrosesan kedua *channel* ini kemudian dirata-ratakan.

Langkah 2: Mendeteksi posisi bit sinkronisasi dengan algoritma *spread spectrum*.

- Langkah 3: Sinyal *watermarked audio* $\widehat{x(n)}$ didekomposisi dengan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) untuk mengetahui di *subband* mana *watermark* disisipkan.
- Langkah 4: Keluaran dari proses transformasi DWT kemudian masuk ke proses *Complex Cepstrum Transform* (CCT) dengan menggunakan persamaan (4) untuk mengubah sinyal domain waktu ke sinyal domain cepstrum $c(n)$.
- Langkah 5: Menghitung rata-rata $c(n)$ dengan menggunakan persamaan (5).
- Langkah 6: Melakukan proses ekstraksi *watermark* dengan menggunakan persamaan (9)

$$W(n) = \begin{cases} 1 & \text{jika } \sum_{i=1}^n c'(n) > T_c \\ 0 & \text{jika } \sum_{i=1}^n c'(n) < T_c \end{cases} \quad (9)$$

- Langkah 7: Melakukan proses rekonstruksi CS pada *watermark* hasil ekstraksi agar kembali menjadi citra logo *watermark* yang asli dengan metode ℓ_1 -minimization menggunakan persamaan (10) dan (11)

$$\min\{\|x\|_1 : A_x = b\} \quad (10)$$

$$\min\{\|x\|_1 : \|A_x - b\|_2 \leq \gamma\} \quad (11)$$

- Langkah 7: Menghitung nilai BER untuk mengetahui kualitas *watermark* hasil ekstraksi.

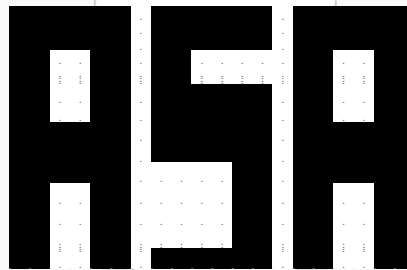
3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas performansi dari sistem *audio watermarking* yang diusulkan serta analisis ketahanannya terhadap berbagai jenis serangan seperti *low pass filter*, *band pass filter*, *noise*, *resampling*, *time scale modification*, *linear speed change*, *pitch shifting*, *equalizer*, *echo*, kompresi MP3, kompresi AAC, kompresi MP4 dan *delay*. Parameter ketahanan sistem *audio watermarking* yang diusulkan tersebut dilihat dari nilai BER, SNR dan ODG yang didapatkan dengan menggunakan simulasi MATLAB.

File audio yang digunakan pada sistem *audio watermarking* ini adalah *file* dengan format WAV. Frekuensi *sampling* yang digunakan adalah sebesar 44100 Hz dengan *channel* suara stereo. Jumlah *file* audio yang digunakan sebanyak lima buah, yaitu instrumen *bass* dan piano, musik dengan *genre* *rock* dan EDM serta suara percakapan.

3.1 Analisis Parameter CS Terhadap Watermark

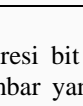
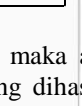
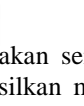
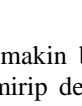
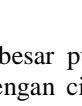
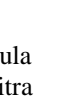


Subbab ini membahas mengenai pengaruh CS dengan nilai rasio kompresi dan sisi *watermark* yang diubah-ubah terhadap citra *watermark* yang dihasilkan. Citra *watermark* yang digunakan berupa logo dengan tulisan ASA yang berukuran 20x20. Berikut merupakan gambar logo yang digunakan



Gambar 3. 1 Logo watermark

Tabel di bawah merupakan hasil pengujian dengan menggunakan sisi *watermark* 16 piksel:

Tabel 3. 1 Kinerja CS dengan sisi watermark 16 piksel

Rasio Kompresi Bit	Sisi Watermark	Rasio Kompresi	Elapsed Time (s)	Gambar Watermark Setelah Diekstraksi
0.023	16	75.00%	1.586194	
0.024	16	75%	1.601779	
0.025	16	75%	1.811487	
0.026	16	87,5%	1.295141	
0.027	16	87,5%	1.082539	
0.028	16	87,5%	1.040156	
0.029	16	87.50%	1.031797	
0.03	16	100.00%	0.934058	

Dapat dilihat pada tabel diatas semakin besar nilai rasio kompresi bit maka akan semakin besar pula persentase rasio kompresi dan semakin kecil nilai *elapsed time* dan gambar yang dihasilkan mirip dengan citra *watermark* aslinya atau dengan kata lain dapat terbaca sebagai logo. Pada penelitian ini digunakan rasio kompresi bit sebesar 0.028 agar logo *watermark* dapat terkompresi sebesar 87,5% sehingga ukurannya menjadi lebih kecil dan juga waktu yang dibutuhkan untuk mengkompresi lebih cepat. Sisi *watermark* yang digunakan sebesar 16 piksel agar logo *watermark* yang dihasilkan mirip dengan logo *watermark* aslinya walaupun telah dikompresi.

3.2 Analisis Parameter Terhadap Kualitas Audio

Subbab ini membahas mengenai kualitas *watermarked audio* yang dihasilkan dengan mengubah-ubah nilai parameter sedemikian rupa sehingga didapatkan parameter terbaik yang akan menghasilkan nilai SNR, ODG, BER, dan C yang baik.

3.2.1 Parameter Terbaik Tanpa Serangan dan Optimasi

Parameter yang berpengaruh terhadap kualitas *watermarked audio* dan ketahanan *watermark* terhadap beberapa jenis serangan antara lain N (level dekomposisi), N Frame (jumlah sampel per *frame*), thr (*threshold*), alfa (intensitas *watermark*), nblock (panjang kode *header* 1 PNcode) dan alfass (parameter pada sinkronisasi). Setelah dilakukan uji coba, didapatkan parameter terbaik sebagai berikut dengan nilai ODG sebesar -1,33, SNR sebesar 29 dB dan BER sebesar 0 namun sinkronisasi banyak tidak terdeteksi.

Tabel 3. 2 Pengaruh parameter N terhadap nilai SNR, ODG dan BER

N	typew	issync	iscs	sync(0/1)	ODG	SNR	BER	C
1	1	1	1	1	-3.2509	13.9299	0	18.8063
2	1	1	1	1	-2.6716	16.8995	0	9.5069
3	1	1	1	1	-2.2739	19.0286	0	4.7798

Dapat dilihat pada tabel diatas jika menggunakan level dekomposisi satu dan dua dihasilkan nilai SNR dibawah 20 dB sehingga pada pengujian ini digunakan level dekomposisi tiga.

Tabel 3. 3 Parameter terbaik tanpa serangan dan optimasi

N	N Frame	thr	typew	issync	iscs	alfa	nblock	alfass
3	512	0.9	1	1	1	0.003	6	0.06

Hasil uji coba dari parameter pada tabel diatas dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3. 4 Nilai rata-rata BER 5 host audio yang diserang menggunakan parameter optimal tanpa serangan

Host Audio	BER
edm.wav	0.20693131
host.wav	0.132412
rock.wav	0.231571
piano.wav	0.1864986
bass.wav	0.3057905

3.2.2 Parameter Terbaik Dengan Serangan dan Optimasi




Setelah dilakukan optimasi terhadap beberapa jenis serangan, didapatkan parameter terbaik sebagai berikut dengan nilai ODG sebesar -1.49, SNR sebesar 26,78 dB dan BER sebesar 0. Meskipun nilainya sedikit lebih kecil dari parameter sebelumnya, namun sinkronisasi banyak terdeteksi jika menggunakan parameter hasil optimasi.

Tabel 3. 5 Parameter terbaik dengan serangan dan optimasi

N	N Frame	thr	typew	issync	iscs	alfa	nblock	alfass
3	512	0.9	1	1	1	0.002	7	0.3

Hasil uji coba dari parameter pada tabel diatas dengan file uji host.wav dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3. 6 Nilai BER host.wav dengan parameter terbaik dan serangan

Serangan	Fs	BER (Sebelum)	BER (Sesudah)	Watermark hasil ekstraksi	Serangan	Fs	BER (Sebelum)	BER (Sesudah)	Watermark hasil ekstraksi
LPF	3000	0	0	ASA	BPF	100-6k	0.48438	0.43359	
	6000	0	0	ASA		50-6k	0.46875	0.41406	
	9000	0	0	ASA		25-6k	0.50391	0.44922	
Resampling	11025	0	0	ASA	Kompresi MP3	32k	0.0078125	0	ASA
	16000	0	0	ASA		64k	0	0	ASA

	22050	0	0	ASA		128k	0	0	ASA
TSM	1%	0.26563	0.29297	ASA	Linear Speed Change	1%	0	0	ASA
	2%	0.25	0.23828	ASA		5%	0	0	ASA
	4%	0.21094	0.25	ASA		10%	0	0	ASA

3.3 Pengujian dengan Mean Opinion Score (MOS)

Mean Opinion Score (MOS) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas *watermarked audio* secara subjektif yang membandingkan *file* audio sebelum dan sesudah disisipi *watermark*. Penilaian dilakukan oleh 30 orang responden dengan mendengarkan 5 audio asli dan 5 audio yang telah disisipi *watermark*. Penilaian MOS berkisar antara 1 sampai 5, nilai 1 untuk *watermarked audio* yang sangat buruk hingga nilai 5 untuk *watermarked audio* yang sangat mirip dengan *host* audio asli. Nilai rata-rata MOS menurut para responden berada di skala 4 yang artinya *watermark* yang disisipkan sedikit terdengar namun tidak sampai mengganggu kualitas audio. Berikut merupakan nilai rata-rata pengujian dengan parameter MOS untuk 5 jenis *host* audio

Tabel 3. 7 Nilai rata-rata MOS, ODG dan SNR untuk 5 jenis *host* audio

Host Audio	MOS	ODG	SNR (dB)
host.wav	4.1333	-1.8887	21.5338
bass.wav	4	-0.48653	27.1963
piano.wav	4.1	-1.4846	26.3423
rock.wav	4.0667	-1.5868	29.5615
edm.wav	4.1	-0.22374	27.2825

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem *audio watermarking* dengan metode DWT dan CCT serta penambahan bit sinkronisasi dan CS, dapat disimpulkan bahwa implementasi sistem *audio watermarking stereo* pada *file* audio dengan format WAV dengan penambahan bit sinkronisasi menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) adaptif dan *Statistical Mean Manipulation* (SMM) berbasis *Complex Cepstrum Transform* (CCT) mampu menghasilkan performansi yang baik dengan nilai rata-rata ODG sebesar -1,13, SNR sebesar 26.38, BER sebesar 0.16 dan MOS sebesar 4,08. Penambahan bit sinkronisasi sangat berpengaruh terhadap ketahanan *watermarked audio* ketika diserang dengan beberapa serangan seperti LPF, *resampling*, *linear speed change*, MP3 *Compression*, MP4 *Compression*, AAC *Compression*, dan *delay* namun tidak tahan terhadap serangan BPF karena frekuensi yang diloloskan tidak sesuai dengan frekuensi *subband* dimana *watermark* disisipkan, *noise* karena jenis *noise* yang digunakan adalah penggabungan antara *white noise* yang tersebar sama rata pada semua frekuensi dan *pink noise* yang hanya muncul pada frekuensi warna *pink*, TSM karena skala waktu dari audio termodifikasi sehingga posisi *watermark* sulit dideteksi, *equalizer* karena mengubah frekuensi *watermarked audio* sehingga frekuensi *subband* dimana *watermark* disisipkan juga ikut berubah, *echo* karena adanya penambahan frekuensi dengan amplitudo yang berbeda sehingga *watermark* sulit dideteksi dan *pitch shifting* karena mengubah-ubah tinggi rendahnya bunyi audio sehingga berpengaruh pada frekuensi *subband* yang digunakan.

Daftar Referensi:

[1] K. Datta, I. Sengupta, "A Redundant Audio Watermarking Technique using Discrete Wavelet Transformation", *Second International Conference on Communication Software and Networks*, pp. 27-31, 2010.

[2] X. Zhang, Y. Hao, "An Adaptive Audio Watermarking Algorithm Based on Cepstrum Transform", *Fifth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, vol.1, pp. 806-809, 2012.

[3] G. Budiman, A. B. Suksmono, D. Danudirdjo, "FFT-based Audio Watermarking in Adaptive Subband with Spread Spectrum Framework," *J. of Tel., Elec., and Comp. Engineering (JTEC)*, 2018, in press.

- [4] G. Budiman, A. B. Suksmono, D. Danudirdjo, "Fibonacci Sequence-based FFT and DCT performance comparison in Audio Watermarking," *Pertanika J. Sci. & Technol. (JST)*, 2018, in press.
- [5] G. Budiman, A. B. Suksmono, D. Danudirdjo, K. Usman & Shin, D. H., "A Modified Multicarrier Modulation Binary Data Embedding in Audio File," *Int. Jour. on Electr. Enginee. and Inform.*, vol. 8, no. 4, 2016.
- [6] G. Budiman, Suksmono, A. B. & Shin, D. H., "A Multicarrier Modulation Audio Watermarking System," *International Conference on Electrical Engineering and Information*, pp. 164-171, 2015.