

ANALISIS AUDIO WATERMARKING BERBASIS METODE DISCRETE WAVELET TRANSFORM DAN PHASE CODING PADA AMBIENT MODE

ANALYSIS AUDIO WATERMARKING BASED ON DISCRETE WAVELET TRANSFORM AND PHASE CODING METHOD ON AMBIENT MODE

Rolasris¹, Gelar Budiman, S.T., M.T.², I Nyoman Apraz R, S.T., M.T.³

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

¹nrolasris@gmail.com, ²gelarbudiman@telkomuniversitv.ac.id, ³ramatryana@gmail.com

Abstrak

Dengan berkembangnya pertumbuhan informasi di bidang teknologi terutama pada internet, penyebaran media digital di internet lebih mudah didapat. Kemudahan ini menyebabkan adanya pelanggaran terhadap kepemilikan data multimedia seperti pengambilan data multimedia secara ilegal dan modifikasi data multimedia tersebut. Karena permasalahan tersebut untuk menjaga kepemilikan data digital maka diperlukan teknik *watermark* dalam suatu *host* data seperti gambar, suara dan video. *Watermarking* adalah metode penyembunyian informasi yang dianggap sebagai penanda tanpa merusak media aslinya. Pada penelitian ini dilakukan *watermarking* pada audio dengan teks, diharapkan teks yang disisipkan tidak mengganggu kualitas suara dan *watermark* yang disisipkan tahan terhadap serangan. Pengimplementasian dilakukan dengan *software* MATLAB. Metode yang digunakan adalah DWT dan *Phase Coding*, pengujian *audio watermarked* pada *ambient mode* (pendeteksian *audio watermark* yang direkam kembali pada jarak tertentu). Hasil yang didapat pada saat ekstraksi tanpa serangan memiliki nilai BER = 0 dan pada *mode ambient* nilai BER terendah adalah 0.19. Dengan metode ini audio tahan terhadap serangan LPF, BPF, *stereo to mono*, *noise*, *resampling*, kompresi MP3 dengan BER bernilai nol pada serangan tersebut.

Kata kunci : *Watermarking, Audio watermarking, DWT, Phase Coding, Ambient mode.*

Abstract

With the development of the growth of the information on the internet, the spread of digital media on internet easily to obtained. This easiness led violations of the ownership of multimedia data such as multimedia data retrieval illegally and modification of the multimedia data. Because of this problem to keep the ownership of digital data it needs watermark techniques in a host data such as picture, sound, and video. Watermarking is a concealment information method that mark out without damaging the original media. In this study conducted audio watermarking with text with expectation that the embedded text does not interfere audio quality and the embedded watermark resistant from attack. The implementation is done with MATLAB software. The method used DWT and Phase Coding, watermarked audio testing at ambient mode (audio watermark detection is recorded gain at certain distance). The results obtained during extraction without attack value of BER = 0 and at ambient mode lowest BER value is 0.19. With this method the audio resistant from the attack of LPF, BPF, stereo to mono, noise, resampling, time scale modification, MP3 compression with value of BER = 0.

Keyword : *Audo Watermarking, DWT, Phase Coding, ambient mode*

1 Pendahuluan

Dengan perkembangan teknologi komunikasi terutama dalam bidang internet, penyebaran informasi pada media internet sangat mudah didapat. Akses informasi melalui internet seperti saat ini menyebabkan penyebaran berbagai jenis file sangat mudah didapat dan di juga disebarluaskan. Pengembangan teknologi sangat bermanfaat untuk kalangan masyarakat namun hal ini terkadang dipergunakan untuk hal yang tidak baik seperti penyebaran file digital dapat diambil atau diakses secara ilegal, padahal seharusnya hasil karya tersebut patut untuk diamankan untuk menjaga keasliannya (tidak ada modifikasi data). Untuk menanggulangi pelanggaran kepemilikan seperti ini dibutuhkan cara untuk menandai suatu file agar file hanya dapat diakses oleh pemilik dan pihak-pihak yang sudah mendapat izin terlebih dahulu. Teknik yang dapat digunakan adalah teknik *watermark* yang disisipkan dalam suatu *host*. Untuk melindungi kepemilikan suatu file, menjaga hak cipta, identitas pengguna dan penentu keaslian data. *Watermarking* adalah proses penyisipan informasi (*watermark*) ke suatu *host* multimedia yang berfungsi sebagai penanda dalam *host* yang akan dilindungi, teknik *watermarking* dapat digunakan dalam berbagai *host* media seperti gambar, suara, atau video. Digital *watermarking* digunakan untuk berbagai tujuan yaitu perlindungan hakcipta (*copyright protection*), identifikasi hakcipta dan penentuan keaslian *host* media. *Audio watermarking* adalah perlindungan *host* audio untuk dijaga keasliannya, penyisipan informasi sebagai penanda tidak merubah isi dari

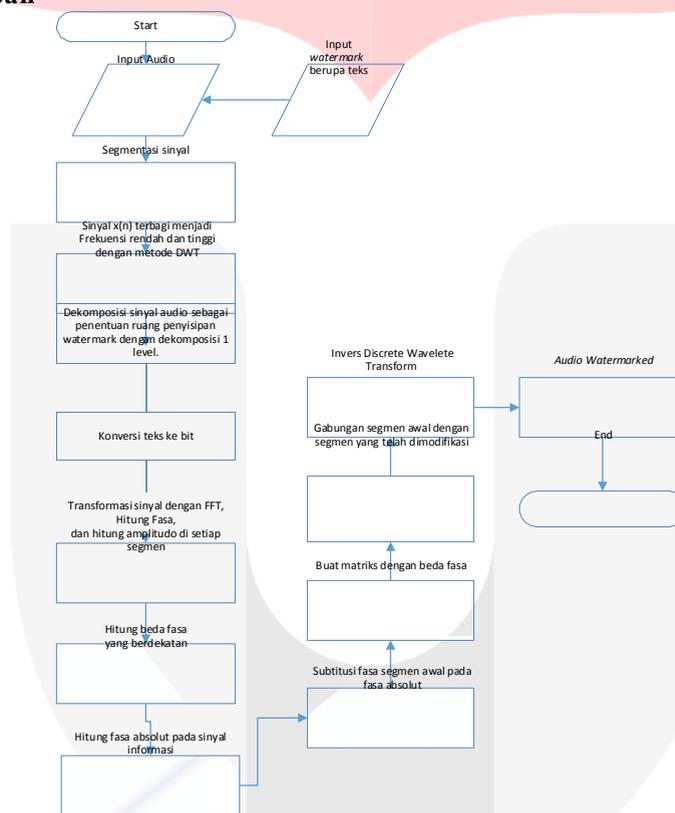
audio setelah dilakukan *watermarking* sehingga tidak mengganggu kualitas audio dalam jangka pendengaran manusia sehingga tetap seperti audio aslinya.

Dalam penggunaan teknik *watermarking* pada audio, banyak metode yang bisa digunakan namun dalam tugas akhir ini metode watermarking yang digunakan adalah menggabungkan 2 metode yaitu DWT (*Discrete Wavelet Transform*) dan *Phase Coding*. Penelitian dengan metode ini dilakukan pada *ambient mode* yaitu perekaman ulang audio watermarked pada jarak tertentu dengan perangkat perekam kemudian di olah dengan program yang telah dibuat pada MATLAB. Analisis tugas akhir membandingkan hasil perekaman audio kembali dari skema *ambient mode* dengan audio asli akan didapat nilai BER yang menunjukkan ketahanan watermark dalam perekaman pada jarak tertentu.

2 Teori dan Tahap Perancangan

Dalam melakukan perancangan pada penelitian tugas akhir menggunakan 2 metode yaitu DWT dan *phase coding*. Dalam kasus *watermarking* akan melewati 2 tahap pemrosesan sinyal, tahap pertama adalah penyisipan (*embedding*) yaitu penyisipan informasi yang diinginkan berupa teks pada audio sehingga audio yang dihasilkan sudah tertanam oleh informasi teks tersebut. Tahap kedua adalah proses ekstraksi (*extracting*), hal ini dilakukan pada sinyal audio yang sudah tersisipi informasi kemudian dilakukan proses pendeteksian informasi yang disisipkan sehingga mendapatkan nilai BER dengan membandingkan bit penyisipan di awal dan bit hasil ekstraksi.

2.1 Proses penyisipan



Gambar 1 Diagram alir penyisipan (*embedding*)

Proses tahap penyisipan dimulai dengan penginputan audio dalam format *.wav. Audio akan melewati tahapan transformasi yaitu dengan menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* dan *Phase Coding*.

2.1.1 Penentuan subband penyisipan dengan DWT

Discrete Wavelete Transform merepresentasikan sinyal dalam beberapa komponen frekuensi, proses untuk mendapatkannya dilakukan pada dekomposisi sinyal yang bertujuan untuk mendapatkan komposisi sinyal pada frekuensi tinggi dan rendah. . Proses dekomposisi wavelet yang dilakukan adalah melewatkan sinyal audio asli melalui 2 filter yang ada yaitu *High pass filter* dan *Low pass Filter* lalu di *down sampling* yang menghasilkan *detailed coeficient* (D) yang merupakan keluaran HPF dan menghasilkan *approximate coefficient* (A) yang merupakan keluaran LPF. Dekomposisi sinyal dapat dilakukan dalam beberapa level, panjang sinyal host asli akan di bagi menjadi 2 pada dekomposisi level pertama. Penentuan *sub-band* penyisipan menggunakan metode DWT.

2.1.2 Penyisipan informasi dengan *phase coding*

Metode *phase coding* bekerja dengan menggantikan *phase* pada segmen audio asli dengan referensi *phase* yang mewakili data yang akan digunakan pada penyisipan. *Phase* segmen berikutnya disesuaikan dalam rangka menggantikan *phase* relatif antar segmen. *Phase coding* adalah salah satu metode pengkodean yang paling efektif dalam kualitas SNR. Ketika terdapat hubungan *phase* antara setiap komponen frekuensi yang berubah secara drastis akan terjadi dispersi *phase* namun, apabila hanya sedikit modifikasi *phase* yang terjadi pada saat penyisipan informasi tidak akan mengganggu pendengaran,

Prosedur metode *phase coding* :[10]

1. Sinyal suara dipecah menjadi beberapa segmen dengan panjang sinyal yang sama dengan ukuran bit yang akan dikodekan.
2. Penggunaan *Fast Fourier Transform* (FFT) pada setiap segmen akan membentuk matriks pada *phase* dan *magnitude* pada *fourier transform*.
3. *Phase* yang berbeda antara segmen yang berdekatan akan diperhitungkan.
4. Pergeseran *phase* yang antar segmen berturut dapat dideteksi dengan mudah. Dengan kata lain, segmen *absolute phase* dapat diubah tetapi perbedaan segmen *relative phase* antara segmen yang berdekatan harus dipertahankan. Oleh karena itu pesan anya disisipkan dalam vektor *phase* dalam segmen sinyal pertama seperti berikut :
5. Matriks *phase* dibuat menggunakan *phase* baru dari segmen pertama dan perbedaan *phase* yang asli.
6. Menggunakan matriks *phase* yang baru dan *magnitude* matriks, sinyal suara direkonstruksi dengan menggunakan IFFT lalu merangkai segmen suara kembali.

2.4 Proses Ekstraksi (*extraction*) pada *ambient mode*



Gambar 2 Diagram alir ekstraksi (*extracting*)

Ambient mode adalah mode perekaman *audio watermarked* pada jarak tertentu yang digunakan dengan perangkat lain seperti *smartphone*. Parameter yang digunakan untuk mode ini biasanya jarak perekaman dan level volume. Proses ini akan diawali dengan memutar *audio watermarked* yang sudah tersimpan pada PC kemudian hasil audio yang dihasilkan oleh speaker PC direkam kembali dengan *sound recorder* pada *smartphone* dengan jarak 1 meter dan 4 meter. Hasil suara tersebut kemudian diekstraksi kembali untuk melihat ketahanan watermark dengan skema *ambient mode*. Proses ekstraksi hampir meyerupai proses penyisipan, sinyal *audio watermarked* $y(n)$ akan dilakukan proses *discrete wavelete transform* dan *phase coding* dan akan didapatkan informasi teks. Informasi teks

yang didapatkan pada proses ini dibandingkan dengan informasi teks asli yang disisipkan, perbandingan ini yang menentukan kualitas ketahanan *watermark* dalam *ambient mode* dan akan didapatkan bagaimana pengaruh jarak perekaman nilai BER.

3. Hasil dan Analisis

Pembahasan bab ini adalah hasil pengujian teknik *watermark* yang sudah diimplementasikan pada *host* audio. Pengujian dilakukan dengan program yang di buat menggunakan *software* MATLAB, dalam pengujian ketahanan *watermark* pada audio terhadap serangan melibatkan 5 file audio yang berbeda jenis. Proses ini dilakukan pada beberapa *sub-band* DWT dan *phase coding* untuk proses penyisipan teks informasinya. Analisis ini dibuat untuk memberikan gambaran hal-hal apa saja yang akan mempengaruhi kualitas dan ketahanan *host* audio dengan teknik *watermarking* yang diimplementasikan. Dari hasil analisis tiap komponen akan dapat ditarik kesimpulan bagaimana menggunakan parameter yang ada untuk mendapatkan hasil terbaik dengan metode DWT dan *phase coding*. File yang digunakan untuk pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Nama file audio dan deskripsi jenisnya

Nama	File Audio	Jenis Audio
Audio 1	diskusi.wav	Diskusi
Audio 2	musik pop.wav	Lagu pop
Audio 3	musik klasik.wav	Lagu klasik
Audio 4	musik rock.wav	Lagu rock
Audio 5	sepak bola.wav	Komentator sepak bola

3.1 Ketahanan watermark terhadap serangan

Pada proses *audio watermarking*, setelah proses penyisipan informasi berhasil kemudian diberi gangguan sinyal dengan menggunakan beberapa serangan. Hal ini bertujuan untuk melihat ketahanan sinyal audio yang terlah disisipkan informasi pada gangguan yang dapat merusak *watermark* yang terdapat dalam *host* audio. Dalam hal ini terdapat pengujian dengan 9 serangan yaitu *Low Pass Filter* (LPF), *Band Pass Filter* (BPF), *stereo to mono*, penambahan *noise*, *resampling*, *time scaling*, *echo*, *cropping* dan perubahan kompresi MP3. *Test-bed* adalah sekumpulan tes yang dilakukan secara mandiri untuk mengetes kualitas ketahanan audio yang dihasilkan

Tabel 2 parameter item *test-bed*

No	TestBed	Tipe sinyal processing	Deskripsi
1	TestBed 01	Low pass filter	Frequency cutoff 3K, 6K and 10K
2	TestBed 02	Band pass filter	Range frequency 100 - 6k Hz
3	TestBed 03	Resampling	Changing the sample rate 44.1K to 11.025K, 22.05K, 33.075K, 55.125 K, 88.2K
4.	TestBed 04	Time scaling	Using scale 1.05, 1.1 and 1.15 for audio time
5	TestBed 05	MP3 compression	compressing bitrate to 96 kbit/s, 128 kbit/s, 160 kbit/s, 192 kbit/s
6	TestBed 06	Stereo to Mono	2 channel to 1 channel audio
7	TestBed 07	Noise addition	Adding white and pink noise with constant level of 20dB lower than total averaged music power
8	TestBed 08	Echo addition	Maximum delay: 3000ms Minimum delay : 100 ms Feedback coefficient: around 0.1 and 0.3
9	TestBed 09	Cropping	1s cropping

Tabel 3 Hasil serangan terhadap BER

TestBed	diskusi.wav	musik pop .wav	musik klasik.wav	musik rock.wav	sepak bola.wav
TestBed 01	0	0	0	0	0
TestBed 02	0	0	0	0	0
TestBed 03	0	0	0	0	0
TestBed 04	0.10	0.08	0.13	0.05	0.13
TestBed 05	0	0	0	0	0
TestBed 06	0	0	0	0	0
TestBed 07	0	0	0	0	0

TestBed 08	0.04	0	0	0.02	0
TestBed 09	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36

Penguji anaudio watermarked diberikan serangan dengan 9 jenis serangan, hasil terbaik berada pada serangan LPF, BPF, stereo to mono, noise addition, resampling, kompresi MP3 dengan nilai BER=0. Hal ini memperlihatkan bahwa audio watermarked memiliki ketahanannya yang tinggi karena hasil BER bernilai 0.

3.2 SNR (Signal to Noise Ratio)

Signal to noise ratio menjelaskan perbandingan kekuatan sinyal dengan kekuatan noise pada audio. Penyisipan dilakukan pada ukuran frame 441. Hal ini memperlihatkan semakin besar nilai SNR semakin baik imperseptibilitasny.

Tabel 4 Tabel hasil SNR

Audio	SNR (dB)
diskusi.wav	18.5209
musik pop.wav	9.0544
musik klasik.wav	11.7574
musik rock.wav	6.0957
sepakbola.wav	21.3297

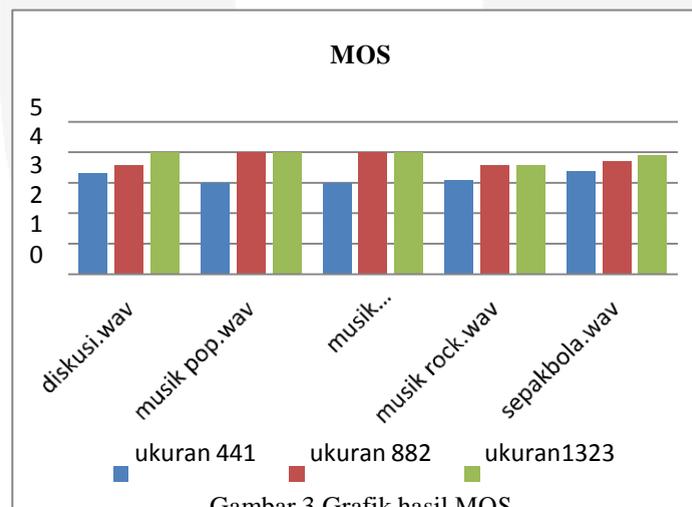
3.3 Mean Option Score (MOS)

Mean Option Score adalah penilaian bersifat subjektif yang diambil minimal dari 30 responden, hasil penilaian MOS berikut diambil dari 40 responden dengan membandingkan setiap jenis audio dengan membedakan 3 ukuran frame yaitu 441, 882 dan 1323. Berikut adalah grafik penilaian MOS yang sudah dilakukan:

Tabel 5 Hasil MOS (Mean Option Score)

Nama file	Ukuran frame 441	Ukuran frame 882	Ukuran frame 1323
diskusi.wav	3.3	3.6	4
musik pop.wav	3	4	4
musik klasik.wav	3	4	4
musik rock.wav	3.1	3.6	3.6
sepakbola.wav	3.4	3.7	3.9

Berikut adalah grafik hasil kuisioner untuk analisis MOS :



Dapat dilihat hasil dari kuisioner yang sudah dirangkum semakin besar ukuran frame hasil suara yang dihasilkan semakin baik terlihat pada grafik bahwa pada ukuran frame 882 dan 1323 menghasilkan nilai MOS 4 yang termasuk dalam kategori baik (*good*) sedangkan pada ukuran frame 441 nilai MOS yang didapat adalah 3 yang termasuk dalam kategori cukup. Responden memberikan pendapat bahwa sulit membedakan audio asli dengan *audio watermarked*.

3.1 Analisis pengaruh *sub-band* terhadap nilai BER

Proses dekomposisi sinyal level 1 dengan metode DWT menghasilkan frekuensi tinggi dan rendah setelah melalui *High Pass Filter* (HPF) dan *Low Pass Filter* (LPF) yang dalam analisis ini akan dilihat bagaimana hasil penyipan teks informasi yang digunakan sebagai *watermark* atau penanda pada audio yang akan diuji. *Sub-band high* merepresentasikan ruang penyipan pada frekuensi tinggi sinyal asli, *sub-band low* pada frekuensi rendah dan *sub-band low-high* penyipan dilakukan di kedua *sub-band* dengan metode *phase coding*. Dalam pengimplementasian audio watermarking dengan dilakukan penyipan teks pada beberapa *sub-band* yang berbeda yaitu *low sub-band*, *high sub-band*, *low-high sub-band* ke dalam 5 jenis file.

Tabel 6 Pengaruh penggunaan subband DWT pada nilai BER

Subband DWT	File audio	BER	BER BCH
Low	diskusi.wav	0.50	0.24
	musik pop.wav	0.50	0.33
	musik klasik.wav	0.42	0.19
	musik rock.wav	0.54	0.26
	sepak bola.wav	0.50	0.19
High	diskusi.wav	0.50	0.26
	musik pop .wav	0.25	0.29
	musik klasik.wav	0.38	0.29
	musik rock.wav	0.46	0.29
	sepak bola.wav	0.38	0.31
Low-High	diskusi.wav	0.46	0.21
	musik pop .wav	0.29	0.29
	musik klasik.wav	0.50	0.33
	musik rock.wav	0.50	0.29
	sepak bola.wav	0.63	0.24

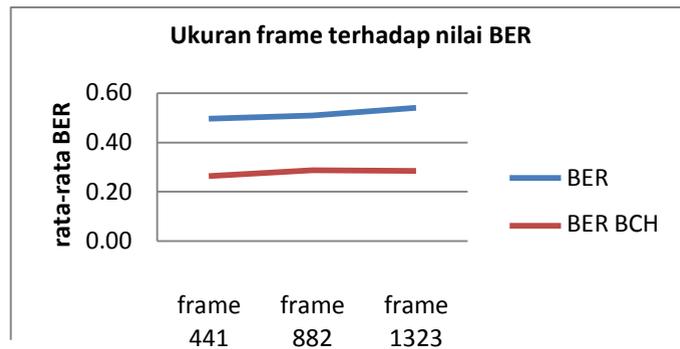
Pengujian dilakukan dengan perekaman kembali *audio watermarked* pada jarak 1 m dan level suara pada speaker 60 dB . Hal ini dilakukan agar mengetahui *sub-band* terbaik untuk disisipkan informasi berupa teks agar menghasilkan audio yang tahan terhadap serangan *ambient mode*. Dari perbandingan yang didapat hasil paling baik berada pada *sub-band low* dengan akurasi tertinggi yaitu 81% dengan BER 0.19 di pengujian file sepak bola.wav yang berisi suara komentator sepak bola dengan BCH code. Fasa sinyal pada frekuensi rendah lebih mencerminkan seperti fasa sinyal asli.

3.2 Analisis pengaruh ukuran frame terhadap nilai BER

Pengujian dilakukan menggunakan 5 jenis file dengan membedakan ukuran frame, ukuran frame yang digunakan adalah 441, 882 dan 1323. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 7 Ukuran frame terhadap nilai BER

Nama file	Ukuran Frame	BER	BER BCH
diskusi.wav	441	0.40	0.30
	882	0.46	0.31
	1323	0.51	0.24
musik pop .wav	441	0.50	0.30
	882	0.44	0.27
	1323	0.48	0.26
musik klasik.wav	441	0.49	0.28
	882	0.53	0.29
	1323	0.57	0.29
musik rock.wav	441	0.47	0.26
	882	0.54	0.27
	1323	0.49	0.32
sepak bola.wav	441	0.48	0.30
	882	0.50	0.26
	1323	0.54	0.25



Gambar 4 Grafik ukuran frame terhadap nilai BER

Grafik diatas memperlihatkan pengaruh ukuran *frame* terhadap tingkat akurasi pada penyisipan tanpa coding dengan metode *phase coding* dan DWT. Hasil tertinggi berada pada ukuran *frame* terkecil yaitu ukuran 441. Semakin kecil ukuran *frame* tingkat akurasi nya semakin tinggi. Ukuran *frame* yang lebih kecil akan menghasilkan lebih banyak jumlah *frame* sehingga bit informasi yang disisipkan akan bisa lebih banyak dalam host audio.

3.3 Analisis pengaruh level volume suara dengan nilai BER

Pengujian ini dengan memutar file audio yang sudah disisipkan informasi kemudian direkam kembali. Teks informasi pada audio dan jarak yang digunakan sama namun pembedanya dengan pengujian yang lain adalah pada pengaturan level volume. Analisis ini dilakukan untuk melihat hasil akurasi ketika level volume ditingkatkan. Pengukuran level volume diukur dengan aplikasi *sound meter* lalu perekaman dilakukan dengan aplikasi *sound recorder* pada smartphone pada jarak 1 meter dilevel 60 dB, kemudian dinaikan level volume menjadi 70dB. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 8 Level volume terhadap nilai BER

Ukuran frame	Level Volume	Nama file	BER	BER BCH
441	60 dB	diskusi.wav	0.50	0.24
		musik pop .wav	0.50	0.33
		musik klasik.wav	0.42	0.19
		musik rock.wav	0.54	0.26
		sepak bola.wav	0.50	0.19
	70dB	diskusi.wav	0.38	0.24
		musik pop .wav	0.38	0.29
		musik klasik.wav	0.46	0.16
		musik rock.wav	0.46	0.24
		sepak bola.wav	0.38	0.24

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa dengan level yang berbeda pada pemutaran file audio akan menghasilkan tingkat akurasi yang berbeda pula, nilai akurasi tanpa pengkodean di level volume 70 dB hampir keseluruhan file audio memiliki nilai akurasi lebih tinggi dibandingkan level volume 60 dB kecuali file *sepakbola.wav* memiliki tingkat akurasi yang sama pada level volume 60 dB dan 70 dB, namun dengan BCH code tidak keseluruhan file mengalami peningkatan nilai akurasi pada level volume yang berbeda.

3.4 Analisis pengaruh jarak dengan nilai BER

Analisis jarak terhadap BER dilakukan pada ruangan standar yang tidak kedap suara, jarak yang digunakan adalah 1 meter dan 4 meter. Level volume yang digunakan adalah 60dB. Hasil yang didapat, pada jarak 1 meter nilai akurasi lebih besar dibandingkan dengan 4 meter karena jarak yang digunakan juga 4 kali lebih jauh. Berikut adalah hasil pengujian yang sudah dilakukan :

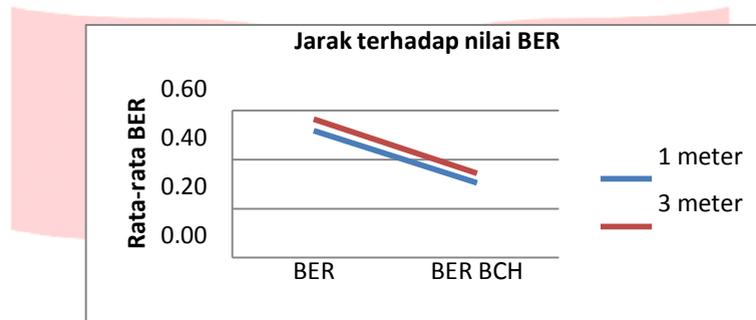
Tabel 9 Jarak terhadap BER

Ukuran frame	Jarak pengukuran	Nama file	BER	BER BCH
441	1 meter	diskusi.wav	0.50	0.24
		musik pop .wav	0.50	0.33
		musik klasik.wav	0.42	0.19
		musik rock.wav	0.54	0.26
		sepak bola.wav	0.50	0.19
	3 meter	diskusi.wav	0.54	0.45

	musik pop .wav	0.48	0.38
	musik klasik.wav	0.46	0.31
	musik rock.wav	0.42	0.26
	sepak bola.wav	0.54	0.31

Pada hasil tabel di atas memperlihatkan nilai BER pada perekaman dengan jarak yang semakin jauh akan menghasilkan nilai BER semakin besar namun pada jenis musik rock pada pengukuran jarak pada 3 meter nilai BER yang didapat lebih kecil, hal ini dikarenakan pada saat jarak 1 meter suara audio getarannya sangat terdengar sehingga hal tersebut memberikan *noise* pada file rekaman. Hal ini memperlihatkan bahwa pada jenis file dengan suara yang besar seperti musik rock tdk dapat menghasilkan BER yang linier terhadap jarak.

Berikut ini adalah grafik rata-rata nilai BER terhadap jarak perekaman file audio, semakin jauh jarak BER yang di dapat akan lebih besar.



Gambar 5 Grafik pengaruh jarak terhadap nilai BER

4 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis dari setiap pengujian yang sudah dilakukan, bab ini berisi tentang kesimpulan selama penelitian dilakukan, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan penggunaan *subband* DWT yang berbeda untuk penyisipan informasi dengan *phase coding*, dari hasil pengujian ketiga *subband* yang ada yaitu *low subband*, *high subband* dan *low-high subband* dapat dilihat bahwa hasil terbaik pada pengujian *ambient mode* berada pada *subband low* yaitu penyisipan bit-bit dari teks informasi pada frekuensi rendah dengan ukuran frame 441. Dengan nilai akurasi tertinggi adalah 81% dengan menggunakan *BCH code*.
2. Dari ukuran *frame* yang berbeda, terdapat 3 jenis yang digunakan yaitu ukuran *frame* 441, 882 dan 1323. Sebagian besar dengan pengkodean *BCH* hasil terbaik berada pada *frame* paling kecil yaitu 441. Hal ini dikarenakan, semakin kecil ukuran *frame* semakin banyak pula bit informasi yang dapat disisipkan. Karena setiap *frame* mewakili 1 inputan bit informasi dari karakter input yang digunakan sebagai *watermark*.
3. Pengujian yang dilakukan dengan 15 testbed, yaitu serangan terhadap audio yang sudah disisipkan menguji apakah informasi di dalam sinyal dapat dirusak atau tidak, didapatkan 7 hasil terbaik pengujian yaitu *LPF*, *BPF*, *stereo to mono*, *noise*, *resampling*, *time scale modification*, *pitch shifting*, *mp3* diubah ke *wav* dengan $BER = 0$.

5 Saran

Hal-hal yang disarankan penulis sebagai berikut :

1. Penggunaan metode yang lain untuk meningkatkan kualitas *watermark*.
2. *Watermark* yang digunakan sebaiknya gambar karena teks sangat rentan pada perubahan nilai binernya.
3. Dalam pengujian rekam audio pada *ambient mode* sebaiknya dilakukan didalam ruangan kedap suara agar suara lain tidak menambahkan *noise* pada *audio watermarked* yang direkam.

Daftar Pustaka :

- [1] Dutta, P., Bhattacharyya, D. & Kim, T.-h., 2009. Data Hiding in Audio Signal: A Review. *International Journal of Database Theory and Application*, 2(2), pp. 1-8.
- [2] F, I. & T.K, A., 2012. *Watermarking Techniques for Protecting Intellectual Properties in a Digital Environment*. *JCS&T*, 12(1), pp. 27-31.
- [3] Husein, S., 2015. *ANALISA AUDIO WATERMARKING BERBASIS TEKNIK REPLICA*, Bandung: s.n.
- [4] Kuncoro, R., 2016. *Perancangan dan Implementasi Sistem Adaptif Audio Watermarking Berdasarkan Nilai SNR pada File Audio*. Bandung: s.n.
- [5] Nikmehr, H. & Hashemy, S. T., 2010. A New Approach to Audio *Watermarking* Using Discrete Wavelet and Cosine Transforms. December, pp. 3-10.

- [6] Patil, M. & Chitode, J., 2013. Improved Technique for Audio Watermarking Based on Discrete Wavelet Transform. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2(5), pp. 511-516.
- [7] Singh, P. & Chadha, R. S., 2013. A Survey of Digital Watermarking Techniques, Applications and Attacks. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (JEIT)*, 2(9), pp. 165-175.
- [8] Digital Signal Processing Book Ch.14 (Online), ([http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/dsp-book/dsp-book Ch14.pdf](http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/dsp-book/dsp-book%20Ch14.pdf), diakses 24 Mei 2016)
- [9] A. Tandyo, Martono and A. Widyatmoko, " Speaker Identification menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit dan Jaringan Saraf Tiruan Back-Propagation Jakarta ", 2015.
- [10] W. Bender, D. Ghrul, N. Moritomo and A. Lu, "Technique for Data Hiding," *IBM System Journal*, vol. 35, no. 3 & 4, pp. 235-236, 1996.

