

ANALISIS KETAHANAN AUDIO WATERMARKING DI DOMAIN FREKUENSI PADA AMBIENT MODE DENGAN MENGGUNAKAN FREQUENCY MASKING METHOD

ROBUST AUDIO WATERMARKING ANALYSIS IN FREQUENCY DOMAIN BASED ON AMBIENT MODE BY USING FREQUENCY MASKING METHOD

Nurbani Yusuf

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Email: nurbaniy99@gmail.com

Abstrak

Audio watermarking adalah teknik penyembunyian data lain kedalam data audio sebagai host file dengan memanfaatkan kelemahan pada indera pendengaran manusia. Pada riset ini, akan dikaji sedikit tentang *audio watermarking* menggunakan metode *Frequency Masking*. Metode yang diusulkan tersebut akan diterapkan pada mode *ambient* yaitu kondisi ketika audio yang sudah disisipkan informasi diputar dan direkam kembali dengan menggunakan alat yang berbeda. Lalu, hasil rekaman audio tersebut dianalisa pada MATLAB untuk didapatkan informasi yang telah disisipkan sebelumnya, apakah data yang disisipkan berhasil diekstraksi kembali dengan baik atau tidak dengan mengecek nilai BER dan CER yang dihasilkan.

Kata Kunci : *Audio watermarking, Audio, Frequency Masking, Ambient Mode*

Abstract

Audio watermarking is a technique for another data hiding into set of audio data as a host file by utilizing the weakness in human hearing sense. In this research, will examine a brief of audio watermarking using Frequency Masking method. The proposed method will be applied in ambient mode which is conditions that the audio that has been embedded by information will be played and recorded with another device. Then, that recorded audio will be analyze in MATLAB to get the information that has been embedded before, is embedded data success to be extracted again well or not by checking the value of BER and CER.

Keywords : *Audio watermarking, Audio, Frequency Masking, Ambient Mode*

1. Pendahuluan

Pertukaran dan penyebaran informasi dengan memanfaatkan jaringan internet sudah sangat tidak asing lagi kita dengar dan sangat mudah dalam penggunaan maupun penyebaran informasinya. Dibalik keunggulan tersebut, tidak disadari bahwa internet telah menciptakan masalah baru untuk melindungi data digital dari pembajakan. Masalah yang sering terjadi umumnya dialami oleh perindustrian dalam bidang multimedia yaitu kasus pembajakan hak cipta (*copyright piracy*) dan kepemilikan. Dalam hal ini, masalah yang lebih ditonjolkan yaitu pada pembajakan di bidang industri musik yang berkaitan dengan *digital audio*. Sehingga untuk penanggulangan masalah pembajakan yang berkaitan dengan *digital audio* tersebut, diperlukan solusi yang sangat handal, salah satunya yaitu teknik *audio watermarking*.

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, banyak sekali teknik-teknik bermunculan yang didapat dari hasil penelitian mengenai *audio watermarking* diantaranya, *low bit coding, patch work, phase coding, echo coding, spread spectrum, frequency masking*, dan lain sebagainya. Dan dalam penelitian kali ini, akan dibahas tuntas mengenai penerapan atau implementasi dalam penggunaan teknik *frequency masking* pada *audio watermarking* yaitu dengan memanfaatkan penyisipan informasi pada frekuensi yang tidak bisa direkam oleh sistem pendengaran manusia atau memakai frekuensi lebih rendah dari frekuensi lainnya sehingga frekuensi rendah yang sudah disisipi informasi tersebut tidak terdengar. *Digital Watermarking* memiliki parameter-parameter yang harus dicapai yaitu mencakup *robustness*, keamanan, *imperceptibility*, kapasitas data, waktu komputasi, dan tingkat kesalahan positif (*false positive rate*)

Robustness adalah salah satu parameter *Digital Watermarking* yang meninjau ukuran sejauh mana *watermark* bertahan setelah data mengalami bentuk-bentuk pemrosesan *signal*, perubahan geometris, ukuran, dan sebagainya. Sesuai dengan judulnya, maka tugas akhir kali ini hanya akan membahas lebih dalam tentang ketahanan data hasil *Audio Watermarking* yang akan dihasilkan nantinya. Pada tugas akhir ini pemrosesan *watermark* hanya pada domain frekuensi dengan memakai teknik FFT (*Fast Fourier Transform*) dan uniknya dalam keadaan *ambient mode* (direkam kembali menggunakan alat yang berbeda) merupakan tantangan terbesar untuk memperoleh *robustness* yang besar, dan solusi metode yang dipakai yaitu menggunakan *frequency masking* pada proses *embedding*-nya dan ekstraksinya yang diharapkan dapat memperbesar *robustness* agar informasi yang disisipkan tetap dalam kondisi yang utuh.

2. Audio Watermarking

Audio Watermarking adalah proses *watermarking* yang dilakukan pada sinyal audio. *Watermarking* pada sinyal audio memiliki tantangan yang lebih dibandingkan dengan *watermarking* pada gambar atau video. *Watermarking* pada audio memanfaatkan kelemahan pada *Human Auditory System* (HAS) yang dikenal juga sebagai *audio masking*. Akan tetapi, HAS memiliki sensitivitas yang lebih dibandingkan *Human Visual System* (HVS). Hal ini disebabkan karena HAS bekerja pada jarak yang cukup luas, sehingga untuk mendapatkan suara yang tidak terdengar jauh lebih sulit dibandingkan dengan gambar yang tidak terlihat[3]. Untuk mengatasi permasalahan ini, biasa diperlukan penambahan proses pada metode yang digunakan. Proses yang ditambahkan salah satunya adalah *psychoacoustic*. Penambahan proses ini diperlukan untuk mengurangi distorsi sinyal yang dapat dideteksi oleh HAS.

Berdasarkan domain penyisipannya, teknik *watermarking* audio dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu *temporal watermarking* dan *spectral watermarking*. *Temporal watermarking* adalah melakukan penyisipan data pada audio host dalam domain waktu, sedangkan *spectral watermarking* terlebih dulu melakukan proses transformasi dari domain waktu ke dalam domain frekuensi, sehingga penyisipannya dilakukan pada elemen-elemen frekuensi.

Metode audio *watermarking* dibagi berdasarkan domain yaitu :

1) Domain Waktu

Metode ini bekerja dengan cara mengubah data audio dalam domain waktu yang akan disisipkan *watermark*. Contohnya dengan mengubah LSB (*Least Significant Bit*) dari data tersebut. Secara umum metode ini rentan terhadap proses kompresi, transmisi dan *encoding*.

Beberapa teknik algoritma yang termasuk dalam metode ini adalah:

- a) *Compressed-domain watermarking* : Pada teknik ini hanya representasi data yang terkompresi yang diberi *watermark*. Saat data di *uncompressed* maka *watermark* tidak lagi tersedia.
- b) *Bit dithering* : *Watermark* disisipkan pada tiap LSB, baik pada representasi data terkompresi atau tidak. Teknik ini membuat derau pada sinyal.
- c) Modulasi Amplitudo : Cara ini membuat setiap puncak sinyal dimodifikasi agar jatuh ke dalam pita-pita amplitudo yang telah ditentukan
- d) Penyembunyian Echo: Dalam metode ini salinan-salinan terputus-putus dari sinyal dicampur dengan sinyal asli dengan rentang waktu yang cukup kecil. Rentang waktu ini cukup kecil sehingga amplitudo salinannya cukup kecil sehingga tidak terdengar.

2) Domain Frekuensi

Metode ini bekerja dengan cara mengubah konten spektral dalam domain frekuensi dari sinyal seperti membuang komponen frekuensi tertentu atau menambahkan data sebagai derau dengan amplitudo rendah sehingga tidak terdengar.

Beberapa teknik yang bekerja dengan metode ini:

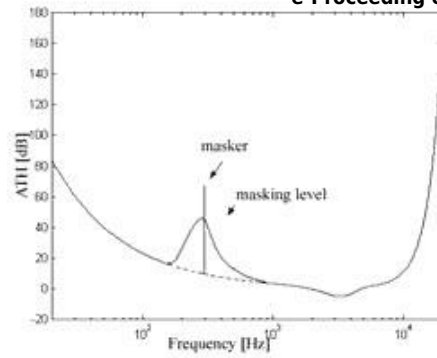
- a) *Phase coding* : Bekerja berdasarkan karakteristik sistem pendengaran manusia (*Human Auditory System*) yang mengabaikan suara yang lebih lemah jika dua suara itu datang bersamaan. Secara garis besar data *watermark* dibuat menjadi derau dengan amplitudo yang lebih lemah dibandingkan amplitudo data audio lalu digabungkan
- b) Modifikasi Pita Frekuensi : Informasi *watermark* ditambahkan dengan cara membuang atau menyisipkan ke dalam pita-pita (*band*) spektral tertentu.
- c) Penyebaran spektrum : metode ini diadopsi dari teknik penyebaran spektrum dalam telekomunikasi.
- d) *Frequency masking* : metode ini memanfaatkan kelemahan pendengaran manusia yang tidak dapat mendengar pada frekuensi tertentu.

2.1 Frequency Masking[6]

Berdasarkan domain penyisipannya, teknik *watermarking* audio dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu *temporal watermarking* dan *spectral watermarking*. *Temporal watermarking* melakukan penyisipan data pada *audio host* dalam domain waktu, sedangkan *spectral watermarking* terlebih dulu melakukan proses transformasi dari domain waktu ke dalam domain frekuensi, sehingga penyisipannya dilakukan pada elemen-elemen frekuensi.

Spectral watermarking melibatkan proses transformasi frekuensi seperti DWT (*Discrete Wavelet Transform*) atau DCT (*Discrete Cosine Transform*) kepada *audio host* untuk memperoleh komponen *audio* dalam domain frekuensi, kemudian menyisipkan sinyal *watermark* ke dalam *audio host* tersebut, dan selanjutnya melakukan invers transformasi frekuensi untuk mendapatkan *audio* yang telah diberi *watermark* (*audio watermarked*).

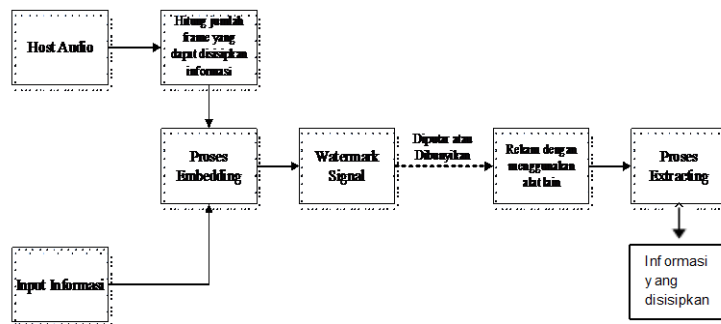
Frequency masking merupakan metode yang memanfaatkan kelemahan pendengaran manusia yang tidak dapat mendengar pada frekuensi tertentu. *Masking model* yang digunakan adalah model yang didefinisikan pada ISOMPEG *Audio Psychoacoustic Model*. Fenomena frekuensi domain dimana sinyal *low level* dapat dibuat tidak terdengar merupakan *masking* terbesar yang dalam *critical band* dan *masking* ini efektif untuk sebuah *lesser degree* dalam *neighboring bands*[5].



Gambar 1 *Frequency Masking Method* pada Suatu Sinyal Audio [5]

2.2 Skenario Perancangan Sistem

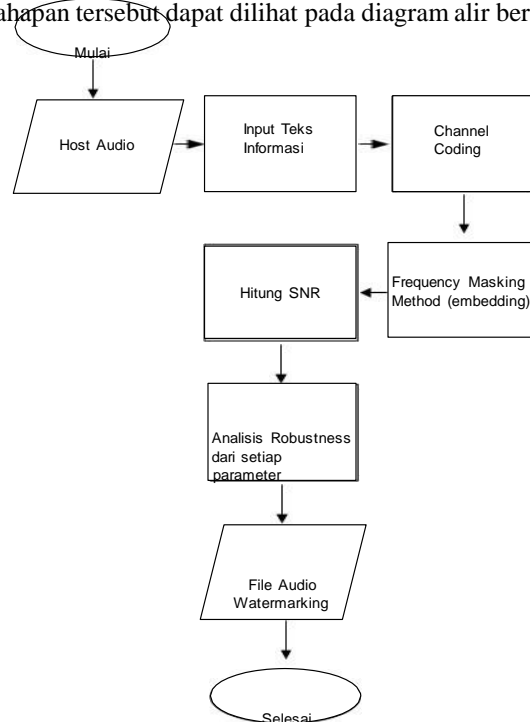
Dalam proses perancangan sebuah sistem *audio watermarking* terdapat dua jenis tahapan penting yaitu, *embedding* (proses penyisipan) dan *extracting* (proses pengambilan informasi) kedalam sebuah *file host* yang berupa audio. Namun dalam tugas akhir kali ini digunakan teknik *Frequency Masking* di *ambient mode* (ketika direkam kembali menggunakan alat yang berbeda). Sehingga akan terdapat berbagai macam jenis tahapan yang dilalui selain dua jenis proses diatas. Tahapan – tahapan yang dilalui tersebut secara umum dapat dilihat pada blok diagram berikut :



Gambar 2 Skenario Pengujian Sistem

2.3 Proses *Embedding* dengan metode *Frequency Masking*

Proses penyisipan informasi dengan menggunakan metode *frequency masking* pada audio watermarking perlu melalui beberapa tahap. Tahapan tersebut dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3 Diagram Alur Proses *Embedding*

Pada Pada diagram alur diatas, setelah pemilihan *audio host* dilakukan proses pemasukan teks informasi yang berfungsi sebagai kunci diletakkannya informasi yang akan disisipkan sebelum dilakukan proses *channel coding* sebagai gerbang awal sebelum dilakukannya proses penyisipan informasi. Setelah itu akan dilakukan proses *frequency masking* dan penghitungan *Signal to Noise Ratio* pada *file mode* (mode *file* setelah disisipkan informasi) sehingga dihasilkan sebuah audio yang sudah disisipi oleh informasi yang disebut juga sebagai *watermark signal*.

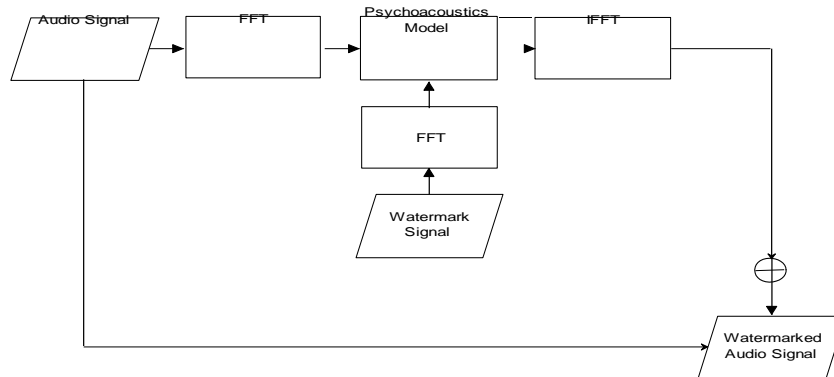
Dalam kasus ini, sinyal *audio* asli yang berdurasi 10 detik ini akan di-*framing* terlebih dahulu menjadi 500 *frame* dengan panjang tiap *frame* berdurasi 10ms.

Frame ke-1	Frame ke-2	Frame ke-499	Frame ke-500
------------	------------	-------	-------	-------	--------------	--------------

Tiap *frame* berisikan data sebanyak 885 bit yang akan diproses dengan FFT untuk diubah dari domain waktu ke domain frekuensi sebanyak jumlah *frame*. Hasil dari proses FFT akan menghasilkan nilai respon magnitude dari sejumlah *frame* dan sebanyak data tiap *frame*.

Frame ke-1	Data ke-1	Data ke-2	.....	.....	.....	Data ke-884	Data ke-885
Frame ke-2	Data ke-1	Data ke-2	.....	.....	.....	Data ke-884	Data ke-885
.....	Data ke-1	Data ke-2	.....	.....	.....	Data ke-884	Data ke-885
.....	Data ke-1	Data ke-2	.....	.....	.....	Data ke-884	Data ke-885
Frame ke-499	Data ke-1	Data ke-2	.....	.....	.....	Data ke-884	Data ke-885
Frame ke-500	Data ke-1	Data ke-2	.....	.....	.....	Data ke-884	Data ke-885

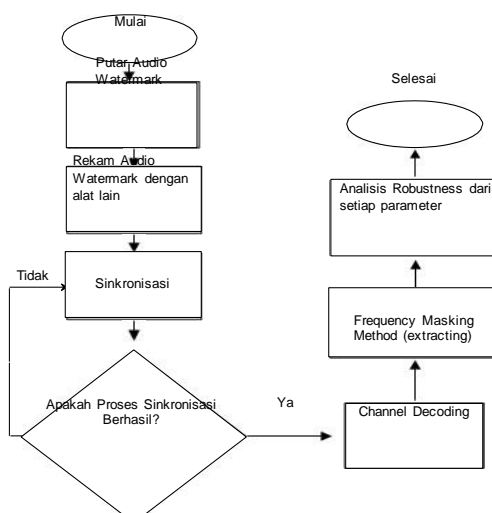
Lalu informasi yang disisipkan berupa teks yang sudah dikonversi menjadi biner, tiap bit informasi akan disisipkan secara berurutan ke tiap *frame*. Namun sebelum proses tersebut, dari tiap *frame* akan dicari letak data yang memiliki nilai respon magnitude paling maksimum, dan data setelah data dari nilai respon magnitude yang paling maksimum tersebut, akan digantikan dengan bit informasi yang akan disisipkan, lalu dikalikan dengan variabel alpha. Proses tersebut berlaku untuk nilai bit 1 pada informasi yang disisipkan. Untuk nilai bit 0 pada informasi yang disisipkan, maka hanya akan dilakukan proses FFT saja pada *frame* tertentu yang akan menggantikan bit 0 pada informasi yang disisipkan (*watermark signal*). Setelah proses penyisipan selesai sejumlah bit pada *watermark signal*, maka dilakukan proses IFFT sejumlah *frame* dan banyak data setiap *frame* untuk mengubah sinyal tersebut dari domain frekuensi menjadi domain waktu kembali, yang pada akhirnya akan menghasilkan *watermarked audio signal*. Proses penyisipan *watermark signal* tersebut dapat dilihat prosesnya dalam gambar 4 berikut :



Gambar 4 Proses Watermarking dengan Frequency Masking Method[14]

2.3 Ambient Mode dan Proses Ekstraksi Data

Proses yang kedua adalah proses *extracting* atau proses pengambilan data. Namun sebelum masuk kedalam tahap ini, audio yang disisipi watermarking atau disebut sinyal *watermark* akan diputar dan direkam ulang menggunakan alat yang berbeda, contohnya *smartphone android*. Proses perekaman ulang ini disebut juga dengan *ambient mode*. Diagram alir dari keseluruhan proses ini dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini :



Gambar 5 Diagram Alur Proses Ekstraksi dan Ambient Mode

Setelah dilakukan proses rekam pada *ambient mode*, audio yang dihasilkan akan dimasukkan kedalam proses sinkronisasi terlebih dahulu sebelum dilakukan proses ekstraksi untuk mendapatkan informasi awal yang dikirimkan. Pada penelitian ini menggunakan sinkronisasi sempurna dengan proses *cropping* sejumlah data pada *audio host*. Sinyal *watermark* yang telah direkam ulang akan difilter untuk dipisahkan sinyal replikanya. Setelah itu sinyal replika tersebut akan di masukkan kembali kedalam *replica creator* sebelum nantinya difilter kembali menggunakan *Low-Pass Filter (LPF)* untuk mendapatkan kembali informasi yang telah disisipkan. Setelah melalui LPF maka dilakukan pengecekan nilai BER dan CER untuk mengetahui apakah informasi yang didapatkan sama seperti informasi awal yang disisipkan.

3. Analisa dan Pengujian Aplikasi

Watermarking pada audio memiliki tantangan tersendiri dibandingkan dengan gambar atau video, ini karena HAS bekerja pada *range* frekuensi yang lebar dan memiliki sensitifitas yang sangat besar ketika terjadi perbedaan dari data hasil watermark dibandingkan dengan data asli. Untuk menindak lanjuti masalah tersebut maka dilakukanlah beberapa pengujian ketika setelah selesai melakukan proses penyisipan dengan metode tersebut. Audio yang dihasilkan dari proses penyisipan atau disebut juga sebagai *watermark audio* atau *watermark signal* tersebut diberi berbagai macam serangan untuk menguji ketahanan data yang disisipkan dan menguji kualitas *watermark signal* tersebut. Pada tugas akhir ini juga akan mengkaji tentang pengujian *ambient mode* atau mode ketika audio hasil watermark tersebut diputar atau dibunyikan lagi, kemudian direkam kembali menggunakan alat yang berbeda, contohnya *smartphone*. Didalam *ambient mode* biasanya *watermark signal* akan mengalami gangguan dari berbagai macam *noise* yang dihasilkan dari proses perekaman. Sehingga ketika audio hasil rekaman tersebut dimasukkan kedalam proses ekstraksi, data/informasi yang sudah disisipkan sebelumnya biasanya sudah tidak ada atau bisa berbeda dari data/informasi awal yang disisipkan. Untuk menangani hal tersebut diperlukan sebuah sinkronisasi yang tepat untuk penentuan letak data informasinya dan juga parameter – parameter yang pas saat proses penyisipan agar audio yang dihasilkan tahan terhadap proses *ambient mode*.

3.1 Pengujian Aplikasi

Audio hasil watermarking yang dihasilkan akan diukur secara objektif dan subjektif pada beberapa pengujian yaitu:

- Mengukur akurasi hasil penyisipan file pesan ke dalam *file* audio berdasarkan nilai SNR.
- Mengukur akurasi hasil ekstraksi *file* audio yang telah disisipkan pesan rahasia berupa teks berdasarkan nilai SNR dan CER yang diperoleh.
- Mengukur tingkat ketahanan hasil ekstraksi file audio yang telah dilakukan pengolahan sinyal/diberikan beberapa serangan berdasarkan hasil nilai SNR dan CER yang diperoleh.
- Mengukur akurasi hasil pengujian pada mode *Ambient*
- Mengukur kualitas audio hasil aplikasi watermarking ini secara subjektif dengan mengukur nilai MOS sebagai parameter pengukur *imperceptibility*-nya saja, berdasarkan hasil yang diperoleh dari 30 orang responden.

Penilaian yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 5 jenis audio yang berbeda sebagai audio host yang akan disisipkan informasi rahasia berupa teks. 5 jenis audio tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 Berkas Audio dan Jenisnya

Audio	Jenis Audio
Classic_fix.wav	Lagu dengan nada klasik
Metal_fix.wav	Lagu dengan nada ekstrim
Slow_fix.wav	Lagu dengan nada pelan
Vocal_fix.wav	Voice/ Suara film
War_fix.wav	Backsound perang

3.2 Analisis Audio Watermarking Secara Objektif

Pengujian dilakukan terhadap 5 file audio sebagai *host* yang akan disisipkan informasi rahasia berupa teks dengan kata “universitas telkom”. Pengujian secara objektif ini dilakukan pada kondisi normal (tanpa tambahan *noise*), diberikan beberapa serangan *noise*/pengolahan sinyal berupa LPF, *resampling*, dan *AWGN*, serta *Ambient Mode* untuk menguji kualitas ketahanan (*robustness*) audio yang dihasilkan. Penilaian dilakukan berdasarkan parameter nilai CER dan BER, serta berhasil atau tidaknya proses ekstraksi informasi rahasia yang telah disisipkan pada audio host. Untuk mempermudah visualisasi penyajian hasil, maka penyajian hasil data akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.2.1 Analisis Perbandingan Nilai SNR dengan Jenis File Audio Host yang Berbeda

Berdasarkan hasil pengujian aplikasi terhadap 5 jenis file audio dengan menyisipkan informasi “universitas telkom” saat sesudah proses penyisipan, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2 Perbandingan Nilai SNR dengan Jenis File Audio Host yang Berbeda

Jenis Audio	SNR Setelah Dilakukan Proses <i>Embedding</i> (dB)	BER	CER	Tingkat Akurasi SNR
Classic	27.1672	0	0	Baik
Metal	26.8841	0	0	Baik
Slow	27.9389	0	0	Baik
Vocal	28.7176	0	0	Baik
War	24.0782	0	0	Baik

Pada Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa nilai SNR setelah melakukan proses *embedding* diperoleh nilai SNR yang berbeda-beda setiap jenis audio. Jenis audio *vocal_fix.wav* atau percakapan dalam suatu film memperoleh nilai SNR yang paling besar dibanding jenis audio yang lainnya. Hal ini dikarenakan pada jenis audio *vocal_fix.wav* terdapat *range* frekuensi yang sedikit, sehingga metode *frequency masking* dapat menyisipkan pesan informasi di tiap frekuensi di file audio ini sedikit pula. Dengan demikian, noise/serangan yang diberikan sangat sedikit saat melakukan penyisipan dengan metode *frequency masking* pada jenis file audio *vocal_fix.wav* dibandingkan dengan jenis file audio yang lainnya.

3.2.2 Analisis Perbandingan Nilai SNR Terhadap Jumlah Karakter Pesan yang Disisipkan

Berdasarkan hasil pengujian aplikasi terhadap 1 jenis file audio yaitu *war_fix.wav* dengan menyisipkan 3 informasi yang berbeda yaitu, “aku” dengan 3 karakter, “aku suka” dengan 8 karakter, dan “aku suka kamu” dengan 13 karakter, saat sesudah proses *embedding*, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3 Perbandingan Nilai SNR Terhadap Jumlah Karakter Pesan yang Disisipkan

Jenis Audio	Jumlah Karakter	Hasil SNR(dB)	BER	CER	Tingkat Akurasi SNR
war	aku (3 karakter)	31.0575	0	0	Baik
	aku suka (8 karakter)	27.2507	0	0	Baik
	aku suka kamu (13 karakter)	24.5678	0	0	Baik

Pada tabel 3 diatas merupakan hasil perbandingan antara nilai SNR pada audio watermarking terhadap variasi jumlah karakter informasi yang disisipkan. Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah karakter yang disisipkan dalam kondisi ini teks, maka nilai SNR dari file audio watermarking pun akan semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak jumlah karakter yang disisipkan, maka semakin banyak pula bit yang disisipkan pada tiap frekuensi yang disisipkan pada metode ini, dengan begitu tingkat noise atau serangan pun akan semakin besar pula sehingga mengakibatkan nilai SNR yang semakin kecil.

3.2.3 Analisis Pengaruh Proses LPF Terhadap Nilai BER dan CER

Berdasarkan hasil pengujian aplikasi terhadap 2 jenis file audio dengan menyisipkan informasi “universitas telkom” saat sesudah dilakukan proses LPF, maka didapatkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini :

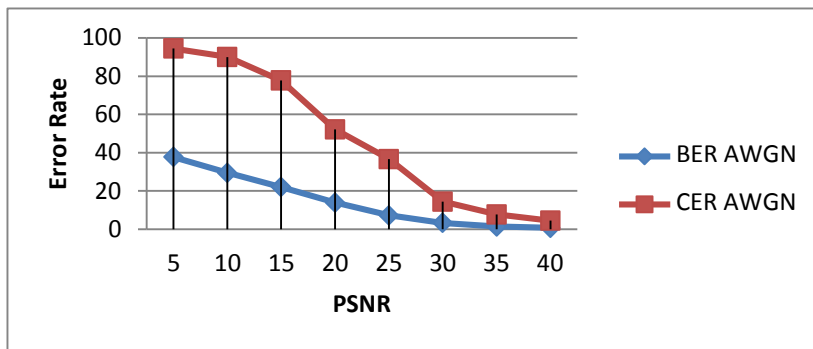
Tabel 4 Pengaruh Proses LPF Terhadap Nilai BER dan CER

Jenis Audio	Frekuensi Cutoff(Hz)							
	6000		8000		10000		15000	
	BER	CER	BER	CER	BER	CER	BER	CER
<i>classic_fix.wav</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>metal_fix.wav</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>slow_fix.wav</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>vocal_fix.wav</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>war_fix.wav</i>	0.00694444	0.055556	0.00694444	0.055556	0	0	0	0

Pada tabel 4 diatas, dapat dilihat bahwa setelah dilakukannya proses pengolahan sinyal dalam kondisi ini yaitu LPF. Pada proses LPF, hanya akan meloloskan frekuensi di bawah ambang frekuensi cutoff yang tentukannya, maka selain frekuensi tersebut akan dipotong atau tidak diloloskan pada sinyal hasil keluaran proses LPF. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa semua nilai BER dari tiap frekuensi cutoff pada 5 jenis audio hampir memperoleh nilai BER dan CER yang minimum yaitu angka 0. Namun, pada file audio *war_fix.wav* terdapat error sejumlah tabel pada frekuensi cutoff 6000 dan 8000 Hz. Hal ini dapat terjadi karena ada kemungkinan besar bahwa informasi yang disisipkan pada file *war_fix* di frekuensi di bawah 10KHz. Sehingga bila meloloskan frekuensi di atas 10KHz, informasi yang disisipkan masih bisa diekstraksi dengan sempurna.

3.2.4 Analisis Pengaruh Proses AWGN Terhadap Nilai BER dan CER

Pada pengujian kali ini dilakukan proses pengolahan sinyal berupa penambahan noise AWGN atau penambahan noise warna putih yang disebar di tiap frekuensi penyisipan sesuai teknik audio watermarking yang dipakai. Pengujian AWGN pada satu jenis *file* audio watermarking atau file host yang telah disisipi informasi rahasia berupa teks pada kondisi ini disisipkan berupa kata “universitas telkom”, berikut tabel hasil pengujiannya:



Gambar 6 Pengaruh Proses AWGN Terhadap Nilai BER dan CER

Pada Gambar 6 diatas dapat dilihat bahwa metode/teknik audio watermarking *frekuensi masking* tidak tahan terhadap *noise* pada level PSNR AWGN mulai dari 5 hingga 30 dB, dan pada level PSNR AWGN 35 hingga 40 dB teknik *frekuensi masking* dapat bertahan dari *noise* AWGN. Hal demikian dapat terjadi dikarenakan pada level PSNR 5 hingga 30 dB pada AWGN memberikan *noise* yang lebih besar dibandingkan dengan level PSNR 35 dB hingga seterusnya. Kita ketahui bahwa semakin besar SNR suatu sinyal maka kualitas sinyal tersebut tahan terhadap *noise* juga akan semakin besar. Lalu, dapat pula kita ambil kesimpulan dari gambar di atas bahwa semakin besar level PSNR pada AWGN maka akan semakin kecil *noise* yang diterima oleh sinyal audio watermarking yang akan diserang. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil nilai BER dan CER yang diperoleh yaitu angka 0 pada PSNR 40..

3.2.5 Analisis Pengaruh Proses Resampling Terhadap Nilai BER dan CER

Pada pengujian kali ini dilakukan proses pengolahan sinyal berupa perubahan sample rate pada suatu audio watermarking atau file host yang telah disisipi informasi rahasia berupa teks pada kondisi ini disisipkan berupa kata “universitas telkom”, berikut tabel hasil pengujiannya:

Tabel 5 Pengaruh Proses Resampling Terhadap Nilai BER dan CER

Jenis Audio	Frekuensi Resample(Hz)													
	11025		22050		33075		55125		66150		77175		88200	
	BER	CER	BER	CER	BER	CER	BER	CER	BER	CER	BER	CER	BER	CER
Classic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Slow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vocal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
War	0.01388889	0.111111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pada tabel 5 diatas dapat dilihat bahwa hasil tiap resampling yang diujikan menghasilkan nilai BER dan CER hampir semua jenis audio memperoleh nilai minimum yaitu 0. Kita ketahui bahwa resampling adalah proses pengubahan sample rate dari suatu audio, atau yang umum biasa kita dengar dengan kata frekuensi sampling yaitu banyaknya sampel tiap detiknya pada suatu frekuensi. Sehingga, bila kita mengubah sample rate pada suatu frekuensi, maka keakuratan sample rate tersebut mendeteksi tiap detik dari suatu frekuensi audio itu juga akan menurun. Hal demikian yang mengakibatkan nilai BER dan CER pada pengujian ini mencapai nilai 0 dimana pada metode/teknik *frequency masking* ini tahan terhadap perubahan sample rate yang tidak mempengaruhi perubahan elemen frekuensi pada audio yang sudah disisipi informasi (*watermarked*).

3.2.6. Analisis Pengaruh Proses Ambient Mode Terhadap Nilai BER dan CER

Proses *Ambient* adalah proses direkamnya lagi suatu audio lalu dilakukan proses pengolahan sinyal digital lagi seperti proses ekstraksi kembali dan dalam hal ini pada audio watermarking. Proses *Ambient* adalah noise terbesar dari suatu proses pengolahan sinyal digital. Hasil percobaan proses *ambient* dengan menghasilkan nilai BER dan CER dapat dilihat pada tabel 7 berikut:

Tabel 6 Nilai BER dan CER pada Proses *Ambient*

Level Audio (dB)	Jenis Audio					Rata-Rata BER Setiap Level
	Classic	Metal	Slow	Vocal	War	
BER pada 50 dB	0.47917	0.47917	0.47917	0.47917	0.47917	0.47917
BER pada 70 dB	0.47222	0.47917	0.47917	0.47917	0.47917	0.47778
BER pada 90 dB	0.4375	0.4375	0.46528	0.44444	0.47222	0.451388

Berdasarkan hasil tabel 6 diatas dapat dilihat hasil dari proses *Ambient* dimana pada proses ini terjadi penurunan kualitas audio watermarking paling besar dibandingkan dengan proses pengolahan sinyal pada pembahasan sebelumnya seperti LPF, AWGN, dan *resampling*. Hal ini bisa dilihat dari nilai BER dan CER yang dihasilkan yaitu minimum di angka 0.4375 untuk BER dan 1 untuk CER pada jarak perekaman 30 cm dengan level audio 90dB. Hal demikian dapat terjadi diakibatkan terlalu banyaknya noise/pengolahan sinyal ketika sebelum, disaat, dan sesudah proses pengujian. Bahkan saat perekaman yang dikatakan ideal pun yaitu pada level audio 90dB dan pada jarak 30cm juga masih tidak berhasil didapatkan kembali informasi yang disisipkan. *Level Audio* mempengaruhi kualitas BER yang dihasilkan. Dapat diambil kesimpulan bahwa, teknik *audio watermarking* dengan metode *frequency masking* masih

perlu banyak modifikasi koding untuk meningkatkan akurasi pada penyisipan dan ekstraksi data kembali sehingga bisa diaplikasikan pada mode ambient.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan evaluasi hasil penelitian pada bab – bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh pengolahan sinyal seperti ekstraksi, LPF, AWGN, resampling, ambient, dan lain sebagainya mempengaruhi nilai kualitas suatu audio. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai maksimum BER dan CER yang dihasilkan yaitu 0.00694444 dan 0.055556 setelah proses LPF, 0.01388889 dan 0.111111 setelah proses *resampling*, 0.313889 dan 0.911111 setelah proses AWGN, serta 0.47917 dan 1 setelah proses *Ambient Mode*.
2. Dari pengujian didapatkan *noise* terkecil yaitu pada saat proses LPF dengan menghasilkan nilai maksimum BER 0.00694444 dan CER 0.055556, serta *noise* terbesar yaitu pada saat proses ambient atau perekaman kembali audio yang sudah di-*watermark* dengan menghasilkan nilai maksimum BER dan CER yaitu 0.47917 dan 1.
3. Pengujian ideal pada proses *ambient mode* yaitu pada kondisi dengan jarak 30 cm dan level audio 90dB dari sumber suara atau audio watermarking yang akan direkam.
4. Perbedaan jenis audio dan jumlah karakter yang disisipkan tidak mempengaruhi kualitas *audio watermarking*, hal tersebut dilihat dari nilai BER dan CER yaitu 0 dari tiap jenis audio dan jumlah karakter yang diujikan.
5. Metode *Frequency Masking* masih belum mencapai hasil *audio watermarking* yang sangat maksimal. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai BER minimum pada pengujian mode ambient yang didapatkan yaitu 0.4375, serta pada beberapa pengujian ada yang tidak berhasil didapatkan kembali informasi awal yang disisipkan, tepatnya pada pengujian mode *ambient* dengan hasil CER minimum yaitu 1. Namun, tingkat BER dan CER minimum dari file audio watermarking sudah mencapai nilai yang sempurna atau sangat baik yaitu 0 sebagai syarat *quality audio watermarking* (tidak ada informasi yang disisipkan hilang saat diekstraksi kembali) dan syarat *audibility* yang baik (efek *watermark* tidak terasa pada pendengaran) sebelum dilakukan proses pengolahan sinyal/penambahan *noise*.

Referensi

- [1] Marimoto, N., Bender, W., Gruhl, D., & Lu, A. 1996 . *Techniques for Data Hiding*. IBM Systems Journal vol.35 (3-4), 313-336.
- [2] Petrovic, R. 2001. "Audio signal watermarking based on replica modulation", 5th International Conference TELSIKS'01, 227-234.
- [3] Hargtung, F., Kutter, M. 1998. "Multimedia watermarking techniques", Proc. IEEE, Vol. 86, 1079-1107.
- [4] Chauhan, S., Rizvi, S. 2013. "A Survey: Digital Audio Watermarking Techniques and Applications", 4th International Conference on Computer and Communication Technologies, 185-192.
- [5] Herianto "Novel Digital Audio Watermarking" Jurusan Teknik Informatika ITB, Bandung 40132, email: if14077@students.if.itb.ac.id
- [6] Mirko Luca Lobina., Luigi Atzori., & Davide Mula. "Masking Models and Watermarking: A Discussion on Methods and Effectiveness" University of Cagliari, Italy., University Chair of Juridicual Informatics at LUISS Guido Carli, Italy.
- [7] Julius, A. 2012 "Analisis Watermark pada File Audio Berbasis Metode Phase Coding". IT Telkom Bandung.
- [8] Mitchell D.S., Bin Zhu., Ahmed H.T., Lurence B. 1997. "Robust audio watermarking using perceptual masking". France.
- [9] Hussein, S. 2015. "Analisa Audio Watermarking Berbasis Metode Phase Coding pada Ambient Mode". Universitas Telkom Bandung.
- [10] Andini, N., Farda, E., Hidayat, B. 2014. "Implementasi Metode Hidden Markov Model untuk Deteksi Tulisan Tangan". Universitas Telkom Bandung.
- [11] Enrique A. Lopez-Poveda, Ph.D. 2009. "Masking, The Critical Band and Frequency Selectivity". Spain.
- [12] Eargle, John. (2005). *Handbook of Recording Engineering*. Springer
- [13] Otniel. 2010/2011. "Digital Audio Watermarking dengan Fast Fourier Transform". Bandung.
- [14] DongHwan Shin. "Introduction to Audio Watermarking". Seoul.