

AUDIO WATERMARKING DENGAN METODE DISCRETE WAVELET TRANSFORM DAN ECHO HIDING PADA AMBIENT MODE

AUDIO WATERMARKING BASED ON DISCRETE WAVELET TRANSFORM METHOD AND ECHO HIDING METHOD ON AMBIENT MODE

Yoga Sanjaya Purba¹, 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
¹yoga.sanjaya03@gmail.com ²gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id ³ramatryana@gmail.com

Abstrak

Teknologi yang semakin maju memudahkan kita untuk melakukan pertukaran informasi berupa teks, video, gambar, maupun suara. Dengan semakin mudahnya pertukaran tersebut maka semakin mudah juga untuk memodifikasinya. Karena permasalahan tersebut untuk menjaga kepemilikan data digital maka diperlukan teknik watermark dalam suatu host data seperti gambar, suara dan video. Teknik watermark sangat penting karena melindungi kepemilikan multimedia, identifikasi hak cipta, identifikasi pengguna, penentuan keaslian dan pemantauan otomatis.

Watermarking adalah proses penyisipan informasi ke salah satu host-data seperti gambar, suara dan video (image, audio, video) sehingga informasi (watermark) kemudian dapat diekstraksi dan dideteksi informasi tersebut untuk berbagai tujuan termasuk pencegahan dan pengendalian penyebaran data digital yang dilindungi hak cipta. Pada penelitian ini akan membahas tentang perancangan sistem *watermarking* dengan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dan *Echo Hiding*. Pengimplementasian penelitian ini juga dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB dan di uji dengan parameter BER, MOS, *test-bed* dan *ambient mode* (pada level/jarak tertentu).

Dari penggabungan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dan *Echo Hiding* dapat dihasilkan algoritma audio watermarking yang lebih tahan dibandingkan dengan metode yang terpisah baik dan dalam kualitas, kapasitas dan ketahanan. Nilai BER yang didapatkan pada saat diberi serangan *stereo to mono*, *noise*, *speed change*, *gema echo* dan *equalizer* dengan nilai BER < 0.05 dan saat serangan LPF, *resampling* dan kompresi MP3 dengan nilai BER > 0.05. Dan nilai BER minimum yang diperoleh pada skema *ambient mode* sebesar 0.24.

Kata kunci: *Watermarking, Audio watermarking, DWT, Echo Hiding, Ambient mode.*

Abstract

Increasingly advanced technology allows us to exchange information in the form of text, video, image, and sound. The exchanges with the more easily it easier also to modify it. Because of these problems to keep possession of the necessary digital data watermark techniques in a host data such as pictures, sounds and video. Watermark technique is very important because it protects multimedia ownership, copyright identification, user identification, determination of the authenticity and automated monitoring.

Watermarking is the embedding process information to one of the host-data such as pictures, sounds and video (image, audio, video) so that information (watermark) can then be extracted and detected such information for a variety of purposes including the prevention and control of the spread of digital data that is protected by copyright. This research will discuss system design watermarking method Discrete Wavelet Transform (DWT) and Echo Hiding. The implementation this research is also done using MATLAB software and test the BER parameter, MOS, test-bed and ambient mode (at level / certain distance).

From incorporation method Discrete Wavelet Transform (DWT) and Echo Hiding can be generated audio watermarking algorithm which is more resistant than the methods that separate good and the quality, capacity and robustness. BER value obtained at the time of the attack were given stereo to mono, noise, speed change, echo and equalizer with BER values < 0.05 and when the attack LPF, resampling and MP3 compression with BER values > 0.05. And the minimum BER values obtained in ambient mode scheme by 0.24.

Keywords: *Watermarking, Audio Watermarking, DWT, Echo Hiding, Ambient mode.*

1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu dan semakin meluasnya jaringan multimedia, maka proses pengiriman dan pengaksesan dari media digital (seperti citra digital, video digital, audio digital,dll) juga semakin mudah. Dengan kemudahan tersebut, distribusi media digital melalui Internet disisi lain dapat menimbulkan permasalahan ketika media tersebut terlindungi hak cipta (*copyright*). Sesuai dengan sifatnya, media digital memungkinkan tak terbatasnya salinan yang

sulit dibedakan dengan aslinya. Sehingga dengan mudah didistribusikan maupun diperbanyak oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab.

Kemudahan ini tentu saja menjadi peluang bagi setiap orang untuk dapat secara bebas saling bertukar informasi yang mereka inginkan. Oleh karena itu, diperlukannya suatu sistem keamanan yang dapat mengamankan informasi dari pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab dan berkepentingan. Salah satu metode yang dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut adalah *watermarking*.

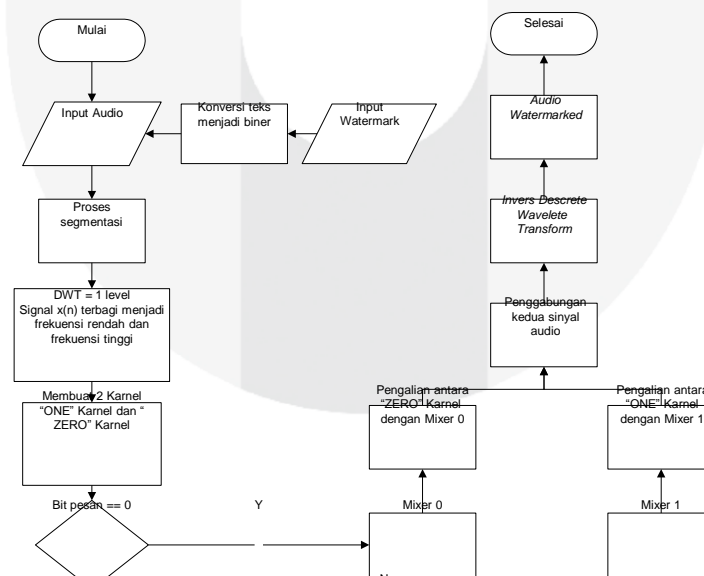
Teknik *watermark* sangat penting karena melindungi kepemilikan multimedia, identifikasi hak cipta, identifikasi pengguna, penentuan keaslian dan pemantauan otomatis.[1] *Digital Watermarking* adalah proses penyisipan informasi ke salah satu *host-data* seperti gambar, suara dan video (*image, audio, video*) sehingga informasi (*watermark*) kemudian dapat diekstraksi dan dideteksi informasi tersebut untuk berbagai tujuan termasuk pencegahan dan pengendalian penyebaran data digital yang dilindungi hak cipta. Dalam pembahasan kali ini dikhususkan pada *host-data* audio, teknik watermark pada audio lebih kompleks dibandingkan dengan image atau video karena mengandalkan *Human Auditory System (HAS)*. *Human auditory system* lebih sensitif dibandingkan *human visual system* sehingga perlu penyisipan yang lebih teliti dalam objek audio agar tidak mengganggu sinyal asli pada objek audio.

Dalam tugas akhir ini metode watermarking yang digunakan adalah menggabungkan 2 metode yaitu *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Echo Hiding*. Metode DWT digunakan karena pada penelitian sebelumnya metode DWT memperoleh SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang cukup bagus^[6]. Sedangkan pada penelitian metode *Echo Hiding* sebelumnya memiliki tingkat ketahanan atau *robustness* yang baik^[10]. Sehingga dengan menggabungkan kedua metode tersebut, lebih tahan dibandingkan dengan metode yang terpisah baik dalam kualitas, kapasitas, impersibilitas yang semakin baik, dan tahan terhadap 8 jenis serangan. Penelitian dengan metode ini dilakukan pada *ambient mode* dengan jarak tertentu kemudian dilakukan perekaman ulang dengan media lainnya dan di deteksi kembali dengan program yang telah dibuat pada *software* MATLAB.

2. Teori dan Tahap Perancangan

Dalam mengerjakan pada penelitian ini, perlunya sebuah perancangan pada *audio watermarking* sendiri sangatlah penting sehingga hasil yang kita dapatkan sesuai dengan apa yang akan kita analisa. *Audio watermarking* merupakan penyisipan informasi yang melalui 2 jenis tahapan penting, yaitu *embedding* (proses penyisipan) informasi yang diinginkan berupa text pada audio sehingga audio yang telah dihasilkan sudah terdapat informasi di dalamnya dan *extracting* (proses pengambilan informasi), dimana audio yang telah di sisipkan tadi akan dipisahkan antara suara asli dengan informasi yang telah disisipkan sebelumnya sehingga kita mendapatkan informasi yang disisipkan. Selain daripada itu, dengan membandingkan bit penyisipan di awal dan bit hasil ekstraksi akan didapatkan nilai BER.

2.1 Proses penyisipan (*embedding*)



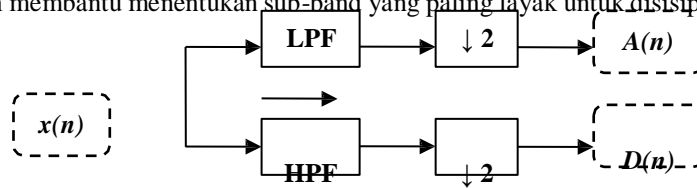
Gambar 2.1 Diagram alir penyisipan (*embedding*)

Proses tahap penyisipan dimulai dengan penginputan audio dalam format *.wav. Audio akan melewati tahapan transformasi yaitu dengan menggunakan metode *Discrete Wavelete Transform* dan *Echo Hiding*.

2.1.1 Penentuan subband pada DWT

Proses *Discrete Wavelete Transform* adalah sebagai berikut:

- a) Sinyal audio $x(n)$ yang sudah terdeteksi akan dipisahkan antara frekuensi tinggi dan frekuensi rendah.
- b) Dekomposisi wavelete yaitu pada level pertama sinyal audio $x(n)$ melewati high pass filter dan low pass filter dan akan dilakukan sebanyak n level . Dekomposisi sinyal audio akan menghasilkan beberapa sub-band yang akan membantu menentukan sub-band yang paling layak untuk disisipkan informasi.



$A(n)$: approximate coefficient
 $D(n)$: detailed coefficient

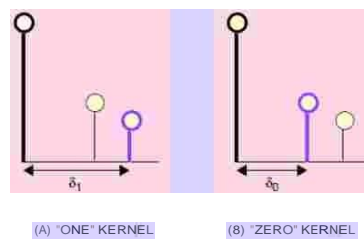
- c) Penyisipan informasi dilakukan pada sinyal *low*, *high* dan pada kedua sinyal (*low-high*) yang telah terbagi.

2.1.2 Penyisipan informasi dengan Echo Hiding

Echo adalah suara kiriman yang direfleksikan kembali ke pengirim/asalnya dengan cukup kuat sehingga ia bisa dibedakan dari suara yang asli. Sementara itu, echo hiding adalah suatu metode steganografi yang menyisipkan data pada media audio dengan merepresentasikan data yang akan disisipkan ke dalam bentuk echo. Untuk merepresentasikan data yang akan disisipkan ke dalam bentuk echo tersebut, maka digunakan dua macam delay time, δ_1 merepresentasikan biner 1, dan δ_0 untuk merepresentasikan biner 0. Echo tersebut dibuat dengan durasi dan volume suara yang diusahakan agar tidak terdeteksi oleh pendengaran manusia[7].

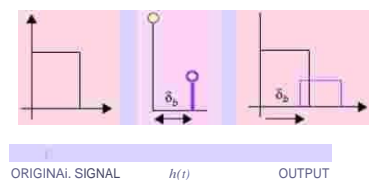
Proses penyisipan pada *Echo Hiding embedding* adalah sebagai berikut[8]:

- a) *Echo Hiding* menggunakan dua jenis *delay* waktu yang berbeda. *Delay* waktu yang pertama dipakai untuk mewakili bit 0, *delay* ini berasal dari *offset*. Sedangkan *delay* yang kedua dipakai untuk mewakili bit 1, *delay* ini berasal dari *offset* ditambah dengan *delta*. Untuk menentukan nilai dari *delay* waktu agar berada di bawah batas pendengaran manusia, maka perlu dilakukan penyesuaian terhadap nilai *decay rate* dan *initial amplitude*.



Gambar 2. 2 Kernal pada metode *echo hiding*[8]

Nantinya sinyal yang menggunakan kernel satu ataupun kernel nol akan diproses dan menghasilkan sinyal seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.8



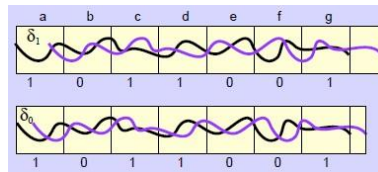
Gambar 2.3 Contoh pembuatan sinyal *echo*

- b) Sinyal asli dibagi atau dipecah-pecah menjadi beberapa bagian. Bagian-bagian tersebut kemudian dimisalkan diberikan label a, b, c, d, e, f dan g. Bit 1 akan disisipkan pada bagian a, c, d, dan g. Untuk menyisipkan bit 1, maka kernel yang digunakan di setiap bagian tersebut ialah kernel satu. Sedangkan pada bagian b, e, dan f, bit 0 akan disisipkan menggunakan kernel nol pada bagian-bagian tersebut.



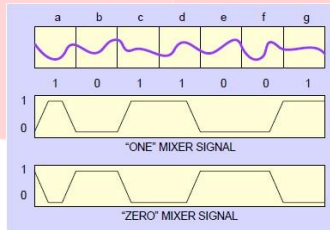
Gambar 2.4 Sinyal yang dipecah menjadi beberapa bagian

- c) Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka dibuatlah kedua buah sinyal echo. Yang pertama ialah membuat sinyal echo 1 dengan menciptakan echo pada sinyal asli menggunakan 'ONE' kernel. Dan yang kedua ialah membuat sinyal echo 0 dengan menggunakan 'ZERO' kernel.



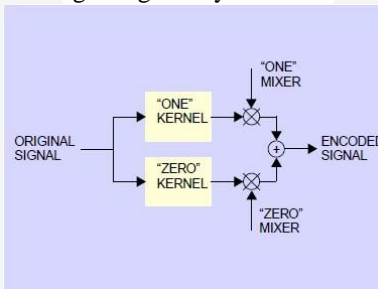
Gambar 2.5 Sinyal echo 1 dan sinyal echo 0

- d) Untuk menggabungkan kedua sinyal echo diatas, maka dibuat dua buah sinyal mixer. Sinyal mixer merupakan sinyal yang didapatkan dari bit-bit pesan yang akan disisipkan, terdiri dari 0 dan 1. Sinyal mixer 0 merupakan komplemen dari sinyal mixer 1, jumlah antara dua sinyal mixer tersebut selalu 1. Sinyal echo 0 akan dikalikan dengan sinyal mixer 0 sedangkan sinyal echo 1 akan dikalikan dengan sinyal mixer 1.



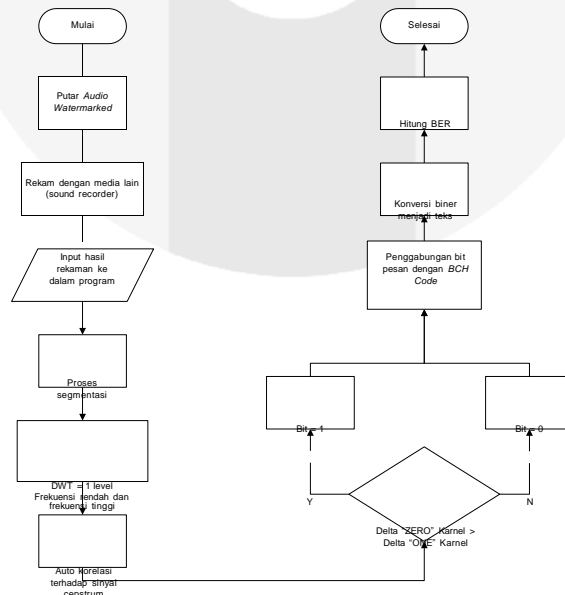
Gambar 2.6 "ONE" Mixer dan "ZERO" Mixer

- e) Hasil perkalian dari masing-masing sinyal echo dan sinyal mixer ini kemudian dijumlahkan. Transisi antara masing masing sinyal melandai dan akan memberikan transisi yang tidak kasar antara masing masing bagian sinyal yang disisipkan dengan bit yang berbeda. Hal ini juga akan mencegah terlihatnya perubahan yang mencolok pada hasil gabungan sinyal.



Gambar 2.7 Proses encoding echo hiding

2.1.3 Proses Ekstraksi (extraction) pada ambient mode



Gambar 2.8 Diagram alir ekstraksi (extracting)

Ambient mode adalah mode perekaman audio yang digunakan dengan perangkat lain seperti *smartphone*. Parameter yang digunakan untuk mode ini biasanya jarak perekaman dan level distorsi. 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 0.5 meter, 1 meter dan 2 meter.

3. Hasil dan Analisis

Dalam pengujian ketahanan *watermark* pada audio terhadap serangan melibatkan 5 file audio yang berbeda jenis. Proses ini dilakukan pada beberapa *sub-band* DWT dan *Echo Hiding* 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. File yang digunakan untuk pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Nama file audio dan deskripsi jenisnya

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

3.1 Analisis kualitas BER terhadap *sub-band* dan alpha

Pada pengujian ini, *sub-band* terbagi menjadi 3 yaitu *low*, *high* dan *low-high*. Dimana di setiap *sub-band* yang telah terbagi akan menggunakan alpha sebagai pembentuk *echo* dalam sinyal yang akan disisipkan teks. Alpha yang digunakan antara lain 0.2, 0.25, 0.3 sampai dengan 0.5. Setelah pesan disisipkan kedalam audio, maka akan diekstraksi dan didapatkan nilai BER sebagai berikut.

Tabel 3.2 Nilai BER pada *low sub-band*

| Alpha | BER | | | | | | |
|---------|----------|----------|-----|------|-----|------|-----|
| | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,5 |
| Audio 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 2 | 0,012605 | 0,004202 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 3.3 Nilai BER pada *high sub-band*

| Alpha | BER | | | | | | |
|---------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,5 |
| Audio 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 3.4 Nilai BER pada *low-high sub-band*

| Alpha | Alpha | | | | | | |
|---------|----------|----------|-----|------|-----|------|-----|
| | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,5 |
| Audio 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 2 | 0,021008 | 0,004202 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Dari ketiga tabel di atas, terlihat bahwa BER yang paling baik adalah pada saat *sub-band* high. Dengan alpha = 0.2, BER yang di dapat untuk kelima audio sudah 0. Hal ini dikarenakan pada proses penambahan *echo* dan penyisipan di *sub-band* high tidak terlalu mengganggu sinyal asli sehingga BER yang didapatkan dengan alpha yang kecil sangatlah baik.

3.2 Pengaruh Faktor Pembagi dan Delta (Δ) terhadap nilai BER dan ODG

Pada proses *embedding* dengan metode *echo hiding*, salah satu penentu faktor untuk menentukan delay *echo* tersebut adalah faktor pembagi dan delta. Oleh karena itu dilakukan pengujian terhadap faktor pembagi dan delta guna mengetahui kualitas BER maupun ODG. Berikut hasil pengujian terhadap faktor pengujian dan delta. Untuk pengujian pertama menggunakan nilai delta = +10

Tabel 3.5 Nilai ODG dengan Delta (Δ) = +10

| Audio | Nilai Pembagi | | | | |
|------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Audio 1 | -3,9063 | -3,90684 | -3,90712 | -3,90718 | -3,90736 |
| Audio 2 | -3,89554 | -3,89829 | -3,89901 | -3,89966 | -3,89996 |
| Audio 3 | -0,38759 | -0,4803 | -0,51322 | -0,49062 | -0,58378 |
| Audio 4 | -3,90386 | -3,90415 | -3,90395 | -3,90414 | -3,90402 |
| Audio 5 | -3,90137 | -3,90246 | -3,90309 | -3,9036 | -3,90358 |
| BER | | | | | |
| Audio 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 2 | 0 | 0,008403 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 3 | 0 | 0,012605 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 4 | 0,012605 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Audio 5 | 0,008403 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Dari tabel di atas dapat dengan faktor pembagi sebesar 4, BER yang didapatkan untuk kelima audio adalah 0. Dengan demikian untuk faktor pembagi selanjutnya akan mendapatkan nilai BER yang sama. ODG yang di dapatkan juga sangatlah kecil akan tetapi saat kelima audio diputar, audio yang diputar tidak terlalu terganggu dengan *noise* yang ada. Selanjutnya dengan penetapan nilai pembagi sebesar 4 didapatkan nilai ODG dan BER sebagai berikut.

Tabel 3.6 Nilai ODG dan BER dengan nilai pembagi = 4

| Audio | Delta (Δ) | | | | |
|------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Audio 1 | -3,90717 | -3,90712 | -3,90704 | -3,90708 | -3,90704 |
| Audio 2 | -3,89954 | -3,89901 | -3,89917 | -3,89888 | -3,89891 |
| Audio 3 | -0,52235 | -0,51322 | -0,5152 | -0,48864 | -0,47814 |
| Audio 4 | -3,90399 | -3,90395 | -3,90426 | -3,90395 | -3,90405 |
| Audio 5 | -3,90316 | -3,90309 | -3,90309 | -3,90293 | -3,90298 |
| BER | | | | | |
| Audio 1 | 0,189076 | 0 | 0,163866 | 0,142857 | 0,121849 |
| Audio 2 | 0,184874 | 0 | 0,189076 | 0,184874 | 0,142857 |
| Audio 3 | 0,163866 | 0 | 0,168067 | 0,189076 | 0,159664 |
| Audio 4 | 0,155462 | 0 | 0,134454 | 0,142857 | 0,176471 |
| Audio 5 | 0,172269 | 0 | 0,168067 | 0,180672 | 0,168067 |

Terlihat dari tabel di atas, nilai delta yang baik adalah pada saat delta = +10. Sehingga dengan demikian jarak delay antara sinyal *echo* 0 dengan sinyal 1 yang baik pada tugas akhir ini berjarak 10 sampel antara kedua sinyal. Pada penelitian ini, hal yang sama juga terjadi pada nilai ODG. Nilai ODG sangatlah kecil akan tetapi tidak terlalu mengganggu audio asli

3.3 Ketahanan watermark terhadap serangan

Pada proses *audio watermarking*, setelah proses penyisipan informasi berhasil kemudian diberi gangguan sinyal dengan menggunakan beberapa serangan. Dalam hal ini terdapat pengujian dengan 8 serangan yaitu:

Tabel 3.7 Parameter item *test-bed*

| No | TestBed | Tipe sinyal processing | Deskripsi |
|----|------------|------------------------|---|
| 1 | TestBed 01 | Low pass filter | Frekuensi Cut-Off : 3000 Hz, 6000 Hz, 9000 Hz, 12000 Hz dan 15000 Hz. |
| 2 | TestBed 02 | Stereo to Mono | Mengubah sinyal 2 kanal menjadi 1 kanal. |
| 3 | TestBed 03 | Noise White and Pink | Menambahkan noise pada sinyal audio dengan amplituda noise 0.005 |
| 4 | TestBed 04 | Resampling | Frekuensi sampling = 11025 Hz, 16000 Hz, 22050 Hz dan 24000 Hz |
| 5 | TestBed 05 | Speed Change | Kecepatan suara audio yang di ubah = 0,9 |
| 6 | TestBed 06 | Gema Echo | Memberikan delay echo pada sinyal audio sebesar 0.3 |
| 7 | TestBed 07 | Equalizer | Penyesuaian keseimbangan dengan amplitudo = 0.5 |
| 8 | TestBed 08 | Kompresi MP3 | Mengubah file *.wav menjadi *.mp3 |

Tabel 3.8 Nilai BER terhadap serangan

| TestBed | diskusi.wav | musik klasik.wav | musik pop.wav | musik rock.wav | sepak bola.wav |
|------------|-------------|------------------|---------------|----------------|----------------|
| TestBed 01 | 0,079832 | 0,109244 | 0,021008 | 0,096639 | 0,134454 |
| TestBed 02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TestBed 03 | 0,012605 | 0,008403 | 0 | 0 | 0 |
| TestBed 04 | 0,243697 | 0,260504 | 0,172269 | 0,226891 | 0,277311 |
| TestBed 05 | 0 | 0,008403 | 0 | 0 | 0 |
| TestBed 06 | 0,012605 | 0,029412 | 0,037815 | 0,016807 | 0,016807 |
| TestBed 07 | 0,02941176 | 0 | 0 | 0,021008 | 0 |
| TestBed 08 | 0,239496 | 0,218487 | 0,134454 | 0,172269 | 0,226891 |

Pengujian audio watermarked diberikan serangan dengan 9 jenis serangan, yaitu serangan terhadap audio yang sudah disisipkan menguji apakah informasi di dalam sinyal dapat dirusak atau tidak, didapatkan hasil terbaik pengujian yaitu *stereo to mono*, *noise*, *speed change*, gema *echo* dan *equalizer* dengan BER < 0.05 dan sangat rentan pada serangan LPF, *resampling* dan kompresi MP3 dengan BER > 0.05.

3.4 Analisis nilai BER pada ambient mode

Analisis nilai BER pada *ambient mode* dilakukan pada ruangan standar yang tidak kedap suara, berikut hasil nilai BER pada *ambient mode*

Tabel 3.9 Nilai BER pada ambient mode

| Jarak | Audio | BER |
|-----------|--------------|----------|
| 0,5 meter | diskusi | 0,298319 |
| | musik klasik | 0,268908 |
| | musik pop | 0,315126 |
| | musik rock | 0,273109 |
| | sepak bola | 0,268908 |
| 1 meter | diskusi | 0,239496 |
| | musik klasik | 0,310924 |
| | musik pop | 0,281513 |
| | musik rock | 0,243697 |
| | sepak bola | 0,285714 |
| 2 meter | diskusi | 0,268908 |
| | musik klasik | 0,273109 |
| | musik pop | 0,260504 |
| | musik rock | 0,264706 |
| | sepak bola | 0,264706 |

Pada hasil tabel di atas memperlihatkan nilai BER pada setiap jenis audio berbeda-beda tergantung pada jenis audio yang menjadi *host-audio* dan semakin jarak perekaman pada *ambient mode*, maka akan semakin besar juga BER yang akan di dapatkan.

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. Audio *watermark* dengan menggunakan metode ini, didapatkan hasil terbaik pengujian yaitu *stereo to mono*, *noise*, *speed change*, gema *echo* dan *equalizer* dengan BER < 0.05 dan sangat rentan pada serangan LPF, *resampling* dan kompresi MP3 dengan BER > 0.05.
2. Faktor pembagi yang terbaik terhadap BER = 4, sedangkan delta yang baik untuk mendapatkan BER = 0 adalah 10.
3. Pengujian dengan MOS yaitu mendapat hasil pada kondisi baik (*good*) terbanyak berada pada *sub-band high*.
4. Berdasarkan penggunaan metode DWT dan *Echo Hiding* dalam hal pengujian di *ambient mode*, nilai akurasi tertinggi adalah 76% dan BER 0.24 dengan menggunakan BCH *code*. Akurasi tertinggi dan nilai BER yang baik ini diperoleh oleh jenis musik rock dengan jarak perekaman 1 meter.
5. Jarak perekaman file audio sangat berpengaruh terhadap nilai akurasi *audio watermarked*, jauhnya jarak memiliki titik tersendiri untuk mendapatkan nilai BER yang kecil. Kualitas dari tiap jenis audio juga mempengaruhi nilai BER pada *ambient mode*, sehingga untuk mendapatkan nilai BER yang serendah mungkin haruslah mengetahui kualitas dan jarak yang tepat untuk jenis audio tersebut.

5. Saran

Tugas akhir ini menganalisis hasil pengimplementasian *audio watermarking* dengan menggabungkan 2 metode yaitu DWT dan *Echo Hiding*. Untuk hasil penelitian dengan metode ini masih terdapat kekurangan, maka penulis menyarankan hal-hal berikut untuk penelitian selanjutnya. Hal-hal yang disarankan penulis sebagai berikut :

1. Penggunaan metode yang lain untuk meningkatkan kualitas *watermark*.
2. *Watermark* yang digunakan bisa di tingkatkan lebih lagi, sehingga teks yang disisipkan juga jauh lebih panjang.
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] F, I. & T.K, A., 2012. Watermarking Techniques for Protecting Intellectual Properties in a Digital Environment, JCS&T, 12(1), pp. 27-31.
- [2] Petrovic, R. 2001. "Audio signal watermarking based on replica modulation", 5th International Conference TELSIKS'01, 227-234.
- [3] Hartung, 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] Husein, S., 2015. Analisa Audio Watermarking menggunakan Metode Phase Coding pada Ambient Mode, Bandung: s.n.
- [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] Winata, P., 2009. Implementasi dan Analisis Perbandingan Metode Echo Hiding dan Metode Low Bit Encoding pada Aplikasi Steganografi Audio, Bandung: s.n.
- [8] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, dan A. Lu. 1996. IBM System Journal, Vol 35, NOS 3&4 : "Techniques for data hiding".
- [9] Wallace, Hank. 2001. "Error Detection and Correction Using BCH code". URL www.aqdi.com.
- [10] Priambadha, T., Shiddiqi A.M., Pratomo, B.A., 2012. Aplikasi Chat dengan Steganografi pada Audio Menggunakan Metode Echo Data Hiding, JURNAL TEKNIK POMITS Vol.1, No. 1,(2012) 1-6
- [11] K. Dhar, Pranab., 2014. *Studies on Digital Audio Watermarking Using Matrix Decomposition*, Saitama University, Japan, 45