

IMPLEMENTASI WATERMARKING PADA SUARA DIGITAL DENGAN METODE DATA ECHO HIDING

I Nyoman Piarsa¹, I Made Ady Dharmadi²

¹Program Studi Teknologi Informasi Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Email: manpits@ee.unud.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Abstract

Digitally recorded especially for audio give us many advantage in data processing or manipulation. However digitally recorded also avoid violation of data royalty like illegally duplicating, cropping half or all of data and distributing without permission from owner of audio data. Based on that problem, there are need one proving system for digital media, and watermarking technique can be applied for that purpose.

The model design conducted with sets of system model method and watermarking method will applied is Echo Hiding Technique. Analysis is by testing emmbedding and extracting watermark testing, capacity embedding testing and robustnes of watermark attack test.

Analysys test for watermarking technique showing degradation of perceptual quality of audio file after watermarked. In extraction test, Echo Hiding technique, watermark recovery rate depend on initial amplitude. There is no change in size of audio file before and after watermarking process. In robustness test result that Echo hiding Technique have highly robustness.

Key words: Watermarking, audio digital, Echo Hiding, copy right

1. PENDAHULUAN

Penggunaan format digital terutama pada data suara atau musik masih menimbulkan kontroversi seputar perlindungan hak ciptanya. Kemudahan pengolahan data digital menyebabkan sering terjadi pelanggaran hak cipta data tersebut. Sering terjadi penduplikasian, pengambilan sebagian atau seluruh isi data, maupun pendistribusian secara ilegal terhadap data digital tanpa melalui izin dari pemiliknya, sehingga secara otomatis pemilik hak cipta telah dirugikan atas perbuatan tersebut.

Permasalahan tersebut menyebabkan pentingnya suatu pembuktian kepemilikan atas hak cipta dari suatu media digital. Untuk dapat membuktikan kepemilikan atas hak cipta, dapat digunakan teknik *watermarking*. *Watermarking* merupakan teknik yang digunakan untuk menyembunyikan tanda atau informasi hak cipta seperti waktu atau tanggal, dan pemilik hak cipta kedalam suatu media digital. Penyisipan informasi kedalam suara digital dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak merusak kualitas suara yang disisipi informasi hak cipta. Informasi hak cipta ini harus dapat diekstrak untuk membuktikan kepemilikan atas produk suara digital tersebut. Hasil dari proses ekstraksi kemudian dibandingkan dengan informasi asli dari pemegang hak cipta. Jika informasi hasil ekstraksi sama dengan informasi asli maka dialah pemegang hak cipta atas produk suara digital tersebut.

2. METODE

2.1 Watermarking

Watermarking adalah proses penambahan kode identifikasi secara permanen ke dalam data digital. Kode identifikasi tersebut dapat berupa teks, suara, gambar, atau video. Selain tidak merusak data digital yang dilindungi, kode identifikasi seharusnya memiliki ketahanan/*robustness* terhadap berbagai pemrosesan lanjutan seperti pengubahan, kompresi, enkripsi, dan lain sebagainya.

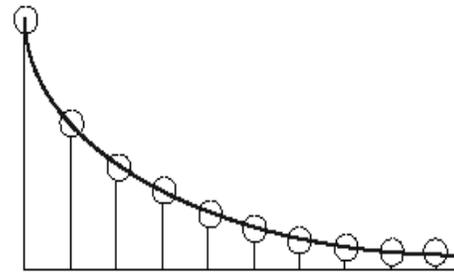
Digital watermarking didasarkan pada ilmu steganografi, yaitu ilmu yang mengkaji tentang penyembunyian data. Istilah steganografi berasal dari bahasa Yunani, yang berarti *covered-writing*, atau tulisan tersembunyi. Teknik ini mengambil keuntungan dari keterbatasan indera manusia, khususnya penglihatan dan pendengaran, sehingga *watermark* yang dibubuhkan pada dokumen tidak akan disadari kehadirannya oleh manusia.

Watermarking merupakan aplikasi dari steganografi, namun ada perbedaan antara keduanya. Jika pada steganografi informasi rahasia disembunyikan di dalam media digital dimana media penampung tidak berarti apa-apa, maka pada *watermarking* justru media digital tersebut yang akan dilindungi kepemilikannya dengan pemberian label hak cipta atau *watermark* (Mohanty, 1999).

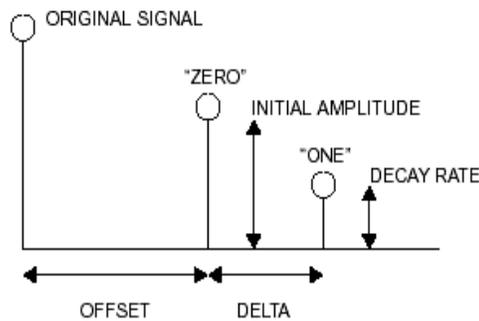
2.2 Data Echo Hiding

Metode *Data Echo Hiding* atau yang lebih sering disebut *Echo Hiding* melakukan penyisipan

data kedalam data suara digital dengan menambahkan *echo* pada sinyal suara (Bender, 1996). Data yang akan disembunyikan dalam bentuk *echo* dinyatakan dengan variasi dari tiga parameter, yaitu *initial amplitude*, *decay rate*, dan *offset (delay)*. *Initial Amplitude* menyatakan amplitudo asal dari data suara tersebut, *decay rate* menyatakan besar *echo* yang akan diciptakan, dan *offset* menyatakan jarak antara sinyal suara dengan *echo* dalam bentuk fasa sudut dalam persamaan analog. Jika *offset* dari sinyal asal dan *echo* berkurang, maka kedua sinyal akan bercampur. *Echo* ini akan terdengar sebagai resonansi.



Gambar 2. Discrete Time Exponential



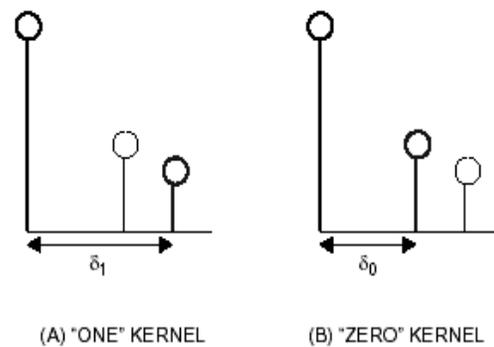
Gambar 1. Tiga Parameter dalam metode echo hiding

Metode *Echo Hiding* menggunakan dua *delay* waktu, pertama untuk merepresentasikan bit 0 (*offset*) dan yang lainnya untuk menyatakan bit 1 (*offset + delta*). Kedua *delay* waktu harus berada dibawah *threshold*/batas dimana pendengaran manusia tidak dapat mengenali *echo*. Untuk mengurangi nilai dari *delay* waktu agar berada dibawah *threshold* maka dapat pula dilakukan penyesuaian nilai pada *decay rate* dan *initial amplitude* berdasarkan batas dari sistem pendengaran manusia.

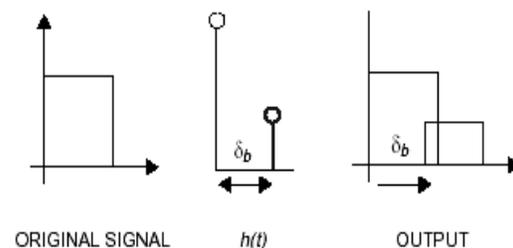
2.3 Penyisipan Watermarking

Proses peyisipan *watermark* dapat dinyatakan sebagai sebuah sistem yang menggunakan satu dari dua kemungkinan fungsi sistem. Dalam domain waktu fungsi dari sistem merupakan *Discrete Time Exponential* dimana yang membedakan adalah *delay* antara masing masing *impulse*.

Sebagai contoh misalnya digunakan dua sinyal, sinyal pertama merupakan sinyal asli dari audio dan kedua merupakan *echo*. Gambar 3(A) merupakan kernel yang menyatakan fungsi sistem untuk menyisipkan bit 1 dan gambar 3 (B) merupakan fungsi sistem untuk menyisipkan bit 0. Hasil pemrosesan sinyal menggunakan kernel 1 maupun menggunakan kernel 0 akan menghasilkan sinyal seperti pada gambar 4.



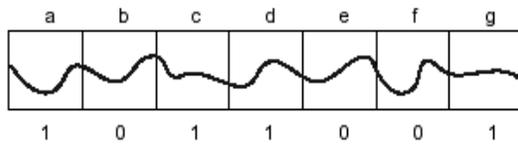
Gambar 3. Echo Kernel



Gambar 4. Contoh proses penghasilan echo

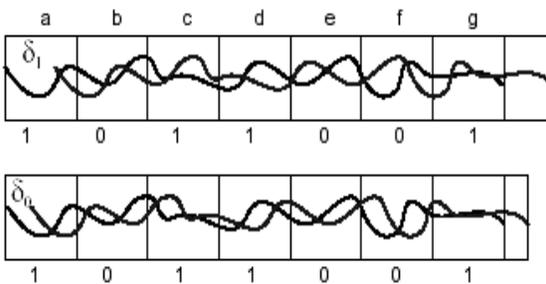
Jarak (δ_b) antara sinyal asli dengan *echo* tergantung dari kernel atau fungsi sistem mana yang digunakan pada gambar 3. Kernel satu menggunakan jarak (δ_1), sedangkan kernel nol memiliki jarak (δ_0).

Pada peyisipan *watermark* yang terdiri lebih dari 1 bit, sinyal asli dapat dipecah menjadi beberapa bagian kecil. Setiap bagian dapat dilakukan penyisipan dengan bit yang diinginkan dengan menganggap bahwa bagian kecil tersebut sebagai sinyal yang independen. Setelah dilakukan proses *encoding* *echo* maka bagian bagian sinyal tersebut digabungkan kembali untuk menghasilkan sinyal awal.



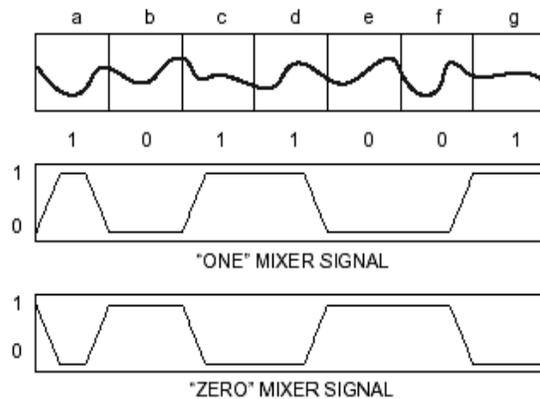
Gambar 5. Sinyal awal yang dipecah menjadi beberapa bagian kecil

Sebagai contoh pada gambar 5 sinyal asli dibagi menjadi tujuh bagian yang diberi label a, b, c, d, e, f dan g. Pada bagian a, c, d, dan g akan disisipkan bit 1. Untuk itu akan digunakan kernel 1 sebagai fungsi sistem pada setiap bagian tersebut. Demikian sebaliknya bit 0 akan disisipkan pada bagian b, e, dan f maka akan digunakan kernel 0 sebagai fungsi sistem pada bagian tersebut. Untuk mencapai hasil yang tidak dapat didengar oleh pendengaran manusia, maka dapat dibuat sinyal echo 1 dengan melakukan pembuatan echo pada sinyal asli menggunakan kernel 1 dan membuat sinyal echo 0 dengan menggunakan kernel 0 sebagai fungsi sistem terhadap sinyal asli. Hasil dari sinyal sinyal tersebut dapat dilihat pada gambar 6.



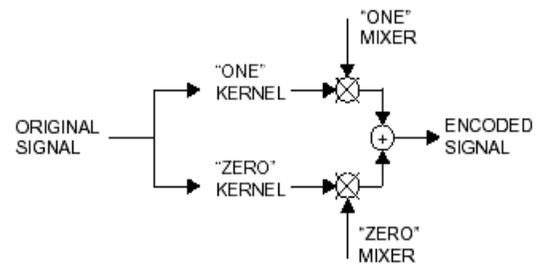
Gambar 6. Pembuatan sinyal echo 1 dan sinyal echo 0

Untuk menggabungkan dua dua sinyal tersebut, maka dibuat dua sinyal mixer. Sinyal mixer terdiri dari nol dan satu tergantung dari bit yang ingin disembunyikan pada bagian dari sinyal asli.



Gambar 7. Sinyal Mixer

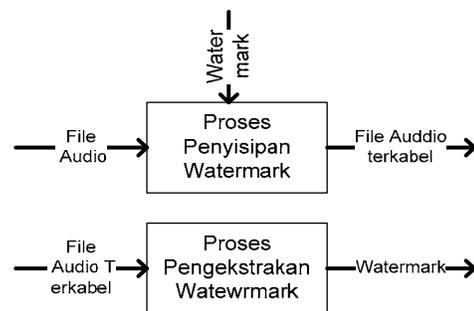
Sinyal mixer 0 kemudian dikalikan dengan sinyal echo 0 sedangkan sinyal mixer 1 dikalikan dengan sinyal echo 1, kemudian kedua hasil tersebut dijumlahkan. Sebagai catatan bahwa sinyal mixer 0 merupakan komplemen dari sinyal mixer 1 dan transisi antara masing masing sinyal adalah bertahap atau melandai. Jumlah antara dua sinyal mixer tersebut selalu 1. Ini akan memberikan transisi yang halus antara masing masing bagian yang dikodekan dengan bit yang berbeda, dan mencegah perubahan yang mencolok pada hasil gabungan sinyal.



Gambar 8. Proses encoding echo

2.4 Gambaran Umum Sistem

Sistem watermarking terbagi atas dua bagian yaitu proses penyisipan watermark dan proses pengestrakkan watermark. Penyisipan watermark adalah proses pelabelan file audio dimana pada file audio tersebut akan dimasukkan watermark, sedangkan pengestrakkan watermark merupakan proses pengambilan watermark dari file audio sesuai dengan metode watermarking yang digunakan pada saat penyisipan watermark.



Gambar 9. Gambaran umum sistem perangkat lunak watermarking

Pada bagian penyisipan watermark sebagai masukan adalah berkas audio dengan format WAV dan pesan watermark, dimana proses ini akan menghasilkan berkas audio yang telah berisi watermark atau dapat disebut berkas audio terlabel, sedangkan pada proses ekstraksi watermark sebagai masukannya adalah berkas audio terlabel atau yang memiliki watermark dan keluaran adalah pesan atau

watermark yang terdapat dalam berkas audio tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Penyisipan dan Ekstraksi

Pengujian penyisipan dan ekstraksi watermark menggunakan metode *Echo Hiding* dilakukan dengan cara melakukan proses penyisipan watermark pada berkas suara kemudian dilakukan pengekstrakkan kembali terhadap watermark yang disisipkan sebelumnya.

Proses *watermarking* menggunakan metode *Echo Hiding* dipengaruhi oleh nilai amplitudo yang digunakan pada saat penyisipan (Bender, 1996), sehingga untuk membuktikan hal tersebut, pada pengujian ini dilakukan penyisipan *watermark* dengan menggunakan nilai amplitudo yang berbeda yaitu dari 0.1 sampai 0.8, sedangkan berkas suara yang digunakan sebagai sampel sebanyak 30 buah. Keberhasilan pengekstrakkan *watermark* pada

metode *Echo Hiding*, berbeda beda pada setiap jenis berkas suara (Bender, 1996), untuk itu pada sampel yang digunakan, dipilih berkas yang terdiri dari beberapa *genre* musik dan suara percakapan, untuk mengetahui adanya pengaruh jenis musik terhadap hasil pengujian. Tingkat *recovery rate* minimal sebagai batas *watermark* dapat diekstrak dengan baik adalah 85%. (Bender, 1996).

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas berkas suara yang dihasilkan dari proses *watermarking* serta faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhinya, serta untuk mengetahui tingkat keberhasilan proses ekstraksi *watermark* menggunakan metode *Echo Hiding*. Berikut disajikan nilai rata-rata dari hasil pengujian penyisipan dan pengekstrakkan *watermark* menggunakan metode *Echo Hiding*, untuk data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 1. Rata-rata hasil pengujian penyisipan dan pengekstrakkan watermark dengan metode Echo Hiding

Amplitudo	Durasi	Time Embedd	Time Extract	SNR	Ukuran Berkas Hasil dengan Berkas Asli	Recovery Rate	BER
0.1	40	1.1	32.7	20.21	sama	4.95	95.05
0.2	40	1.1	32.6	14.22	sama	28.66	71.34
0.3	40	1.1	32.7	10.73	sama	48.57	29.65
0.4	40	1.1	32.8	8.27	sama	61.74	38.26
0.5	40	1.1	32.8	6.37	sama	66.95	33.05
0.6	40	1.1	32.7	4.84	sama	69.25	30.75
0.7	40	1.1	32.9	3.56	sama	70.69	29.31
0.8	40	1.1	32.8	2.46	sama	71.33	28.67

Tabel 2. Data rata-rata recovery rate pada masing masing jenis musik

Amplitudo	Accoustic		Jazz		Pop		Rock		Speech	
	R. Rate	Accept	R. Rate	Accept	R. Rate	Accept	R. Rate	Accept	R. Rate	Accept
0.1	6.29	No	3.93	No	7.92	No	6.61	No	0.00	No
0.2	32.39	No	32.23	No	38.11	No	40.57	No	0.00	No
0.3	53.15	No	63.68	No	67.36	No	72.96	No	0.00	No
0.4	65.57	No	80.19	No	77.55	No	85.38	Yes	0.00	No
0.5	71.54	No	85.07	yes	84.91	No	93.24	yes	0.00	No
0.6	74.21	No	88.21	yes	86.79	yes	97.01	yes	0.00	No
0.7	75.79	No	90.57	yes	88.68	yes	98.43	yes	0.00	No
0.8	76.89	No	91.67	yes	90.00	yes	98.11	yes	0.00	No

Tabel 1 merupakan data rata-rata pengujian dari 30 sampel berkas suara. Terlihat pada tabel, SNR berkas suara hasil watermarking semakin menurun ketika digunakan nilai amplitudo yang besar pada saat proses watermarking. Grafik 10 menggambarkan tren penurunan tersebut. Terlihat pada grafik, nilai rata-rata SNR akan semakin menurun pada saat nilai amplitudo yang digunakan semakin besar. Hal ini

dikarenakan amplitudo merupakan penentu dari kekuatan echo yang dihasilkan. Metode *Echo Hiding* menyisipkan watermark dengan cara menambahkan nilai sampling suara dengan echo yang didapat dari nilai sampling pada jarak tertentu yang telah diperkuat oleh nilai amplitudo. Semakin besar nilai amplitudo maka echo yang dihasilkan akan semakin kuat, sehingga ketika nilai sampling ditambahkan

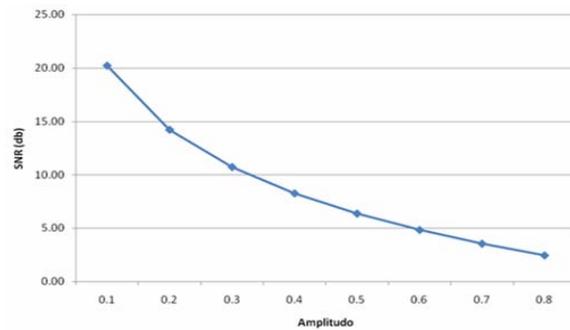
dengan echo tersebut nilai sampling menjadi berbeda dengan nilai aslinya. Semakin besar echo maka perbedaan antara sampel suara yang telah ditambahkan echo dengan sampel suara awal akan semakin besar, sehingga akan menimbulkan error yang semakin besar yang dapat menurunkan kualitas suara dari berkas suara. Dapat disimpulkan dari penjelasan diatas bahwa nilai amplitudo yang digunakan pada saat proses watermarking menggunakan metode Echo Hiding berpengaruh terhadap kualitas suara dari berkas yang dihasilkan, dimana semakin besar nilai amplitudo yang digunakan maka kualitas suara dari berkas terwatermark akan semakin menurun dari berkas aslinya.

Dari tabel 1 dapat juga dilihat tingkat *recovery rate* untuk masing-masing nilai amplitudo. Sedangkan tabel 2 adalah rata-rata data pengujian untuk masing-masing jenis musik. Secara umum berdasarkan grafik 12 dan data pengujian pada tabel 1 dan 2 dapat disimpulkan hasil pengekstrakan *watermark* tidak selalu memiliki keberhasilan 100% atau tidak seluruhnya dapat diekstrak dengan benar, namun sangat bergantung pada nilai amplitudo yang digunakan pada saat penyisipan *watermark*. Grafik 12 menggambarkan dengan jelas pernyataan tersebut, dimana pada setiap jenis musik yang diujikan, seluruhnya mencatat hasil yang sama. Pada grafik 12 juga dapat dilihat masing masing jenis musik dapat mencapai validitas watermark sebesar 85% pada amplitudo yang berbeda beda. Jenis musik rock telah mencapai tingkat validitas minimal yaitu pada penggunaan amplitudo sebesar 0.4, sedangkan pada jenis pop dan jazz validitas dicapai pada nilai amplitudo 0.5. Untuk jenis musik *accoustic* dan *speech* hasil pengekstrakan *watermark* gagal mencapai tingkat validitas minimal. Dapat disimpulkan dari grafik 12 bahwa pada metode Echo Hiding jenis musik juga berpengaruh terhadap keberhasilan pengekstrakan watermark.

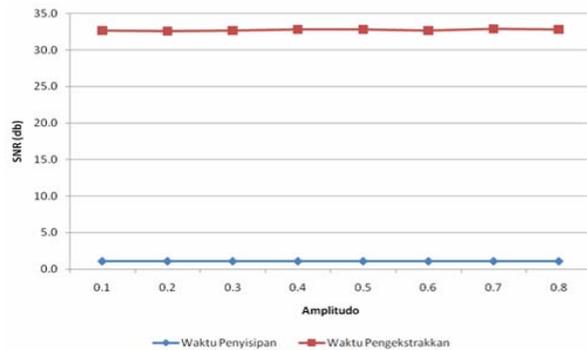
Berpengaruhnya nilai amplitudo yang digunakan karena amplitudo merupakan faktor penguat dari *echo* yang dibuat. *Echo* yang diambil dari nilai sampling suara pada jarak tertentu dikalikan dengan nilai amplitudo untuk mengatur kuat lemahnya *echo*, sehingga semakin besar nilai amplitudo akan menyebabkan *echo* menjadi semakin kuat. *Echo* yang kuat akan mudah terdeteksi sehingga pada saat pengekstrakan, bit *watermark* akan lebih mudah diekstrak daripada *echo* yang lemah.

Pada pengujian yang dilakukan pada masing-masing jenis musik, jenis musik rock menunjukkan rata-rata *recovery* tertinggi diantara jenis musik lainnya sedangkan pada berkas suara percakapan atau *speech* menunjukkan *recovery rate* yang rendah mencapai 0%. Tingginya nilai *recovery rate* pada jenis musik rock disebabkan jenis musik tersebut terdiri dari banyak suara (*loud voice*) dan sedikit memiliki jeda pada berkasnya. Hal tersebut yang

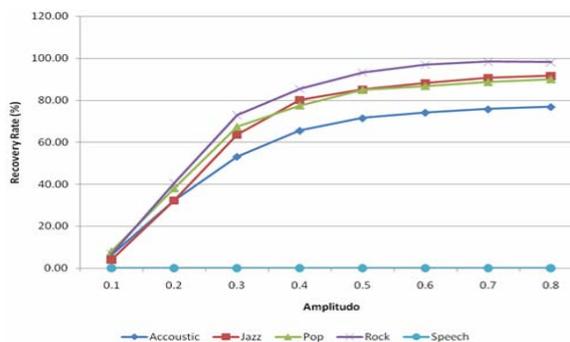
menyebabkan kegagalan pengekstrakan *watermark* pada jenis berkas suara percakapan. Jenis berkas ini memiliki banyak jeda/silent dalam berkasnya dan hanya terdiri dari satu jenis suara, berbeda dengan jenis musik lain yang diinstrumenkan dengan banyak alat musik/suara dan memiliki sedikit jeda/silent. Adanya jeda atau *silent* pada berkas akan membuat nilai sampling menjadi rendah hingga mencapai 0, sehingga meskipun menggunakan nilai amplitudo yang besar pada saat penyisipan, *echo* yang dibuat masih sulit dideteksi pada saat pengekstrakan *watermark*, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode *Echo Hiding* hanya cocok diterapkan pada jenis berkas suara yang sedikit memiliki jeda pada berkasnya.



Gambar 10. Grafik rata-rata SNR pada berkas terwatermark dengan metode Echo Hiding



Gambar 11. Grafik rata-rata waktu penyisipan dan pengekstrakan watermark menggunakan metode Echo Hiding



Gambar 12. Grafik recovery rate watermark pada berkas terwatermark dengan metode Echo Hiding

Jika dilihat dari waktu proses, grafik 11 menunjukkan proses pengestrakan memerlukan waktu yang jauh lebih lama dibandingkan pada saat proses penyisipan. Hal ini dikarenakan pada saat proses pengestrakan dilakukan transformasi dari domain spasial ke domain frekwensi untuk melakukan proses pengestrakan bit *watermark*. Transformasi ke domain frekuensi dilakukan dengan cara melakukan FFT (*Fast Fourier Transform*) pada tiap-tiap blok pembawa bit *watermark*, sehingga pada proses pengestrakan akan terjadi perhitungan FFT sejumlah bit *watermark* yang disisipkan pada berkas. Proses tersebut akan membuat waktu pengestrakan

menjadi lebih lama daripada proses penyisipan yang dilakukan pada domain waktu.

3.2 Pengujian Kapasitas Penyisipan

Besarnya kapasitas *watermark* yang dapat disisipkan pada sebuah berkas suara dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$Kapasitas(bit) = \frac{S}{l_{block}}$$

dimana :

S = jumlah sampel suara.

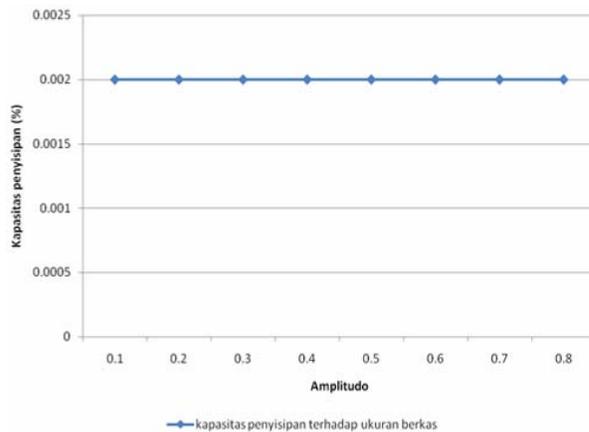
l_{block} = panjang blok untuk setiap 1 bit watermark

Hasil pengujian adalah sebagai berikut.

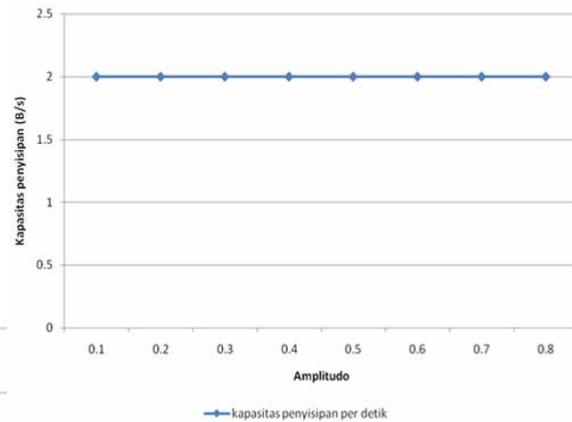
Tabel 3 Rata-rata pengujian kapasitas penyisipan watermark pada metode Echo Hiding

Amplitudo	Rata-Rata Ukuran File (KB)	Durasi (s)	Kapasitas Perhitungan dan Kapasitas Pengujian	Rata-rata Kapasitas (byte)	Persentase Penyisipan (%)	Penyisipan Per Detik (byte/s)
0.1	6905.2	40	sama	107	0.002	2
0.2	6905.2	40	sama	107	0.002	2
0.3	6905.2	40	sama	107	0.002	2
0.4	6905.2	40	sama	107	0.002	2
0.5	6905.2	40	sama	107	0.002	2
0.6	6905.2	40	sama	107	0.002	2
0.7	6905.2	40	sama	107	0.002	2
0.8	6905.2	40	sama	107	0.002	2

Hasil rata-rata pengujian yang pada tabel 3 menunjukkan bahwa kapasitas yang didapatkan dari hasil pengujian sesuai dengan formula perhitungan kapasitas. Saat proses penyisipan, aplikasi akan memotong watermark ketika tempat untuk menyisipkan watermark telah penuh, sehingga meskipun ukuran watermark lebih besar dari kapasitas penyisipan, pada saat ekstraksi, ukuran watermark yang dapat diekstrak hanya sesuai dengan kapasitas maksimal dari berkas suara yang digunakan.



Gambar 13. Grafik rata-rata persentase kapasitas penyisipan watermark pada metode Echo Hiding



Gambar 14. Grafik rata-rata kapasitas penyisipan per detik pada metode Echo Hiding

Pengujian kapasitas metode Echo Hiding pada grafik 13 dan 14, kapasitas penyisipan adalah tetap pada masing-masing nilai amplitudo. Penggunaan nilai amplitudo yang semakin besar tidak berpengaruh terhadap peningkatan kapasitas penyisipan watermark pada berkas. dan memiliki nilai yang tetap. Pada dasarnya amplitudo merupakan faktor penguat dari echo sehingga tidak memiliki hubungan atau mempengaruhi kapasitas penyisipan, melainkan akan mempengaruhi tingkat keberhasilan pengestrakan watermark.

3.3 Pengujian Ketahanan Watermark

Salah satu aspek penting watermarking adalah ketahanan watermark dari berbagai serangan yang dapat menghilangkan watermark dari berkas suara. Untuk menguji ketahanan dari metode watermarking yang diimplementasikan maka dilakukan pengujian ketahanan watermark. Pengujian terdiri dari 4 tahapan, dimana pada masing masing pengujian akan dilakukan manipulasi berkas suara dengan teknik pemrosesan yang sering dilakukan terhadap berkas suara yaitu:

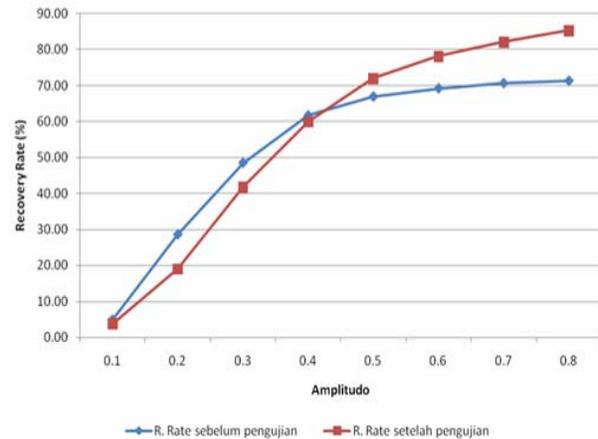
1. Pengujian ketahanan terhadap *lossy compression* dalam hal ini MP3 *compression*.
2. Pengujian ketahanan terhadap perubahan *sampling rate* atau *resampling*.
3. Pengujian ketahanan terhadap perubahan bit per sampel atau *bit rate*.
4. Pengujian ketahanan terhadap pemotongan berkas suara atau *cropping*.

Berkas yang telah mengalami pemrosesan sinyal kemudian akan dilakukan proses pengekstrakan *watermark* untuk mendapatkan *watermark* yang tersimpan pada berkas. *Watermark* yang didapatkan pada berkas kemudian akan dibandingkan dengan *watermark* asli untuk mendapatkan nilai *recovery rate watermark*. *Recovery rate watermark* pada berkas sebelum dilakukan pengujian kemudian akan dibandingkan dengan *recovery rate watermark* setelah pengujian untuk mengetahui seberapa besar pengaruh serangan pada berkas terhadap *recovery rate watermark*.

Pengujian ketahanan MP3 dilakukan dengan cara melakukan konversi berkas suara yang memiliki format awal WAV ke format MP3, kemudian dari MP3 dikonversi kembali menjadi format WAV. Berkas hasil konversi tersebut kemudian akan dilakukan pengekstrakan *watermark* yang terdapat didalamnya dan dilakukan perbandingan persentase keberhasilan pengekstrakan pada berkas sebelum dilakukan konversi dengan berkas yang telah dikonversi. Berikut disajikan data rata-rata hasil pengujian ketahanan *watermark* terhadap kompresi MP3.

Tabel 4. Rata-rata pengujian ketahanan watermark terhadap kompresi MP3 pada metode Echo Hiding

Amplitudo	Durasi (s)	Recovery Rate Sebelum Pengujian (%)	Recovery Rate Setelah Pengujian (%)	Persentase Penurunan
0,1	40	4,95	3,81	23,03
0,2	40	28,66	19,05	33,53
0,3	40	48,57	41,83	13,88
0,4	40	61,74	59,94	2,92
0,5	40	66,95	71,97	0
0,6	40	69,25	78,16	0
0,7	40	70,69	82,08	0
0,8	40	71,33	85,31	0



Gambar 15. Grafik recovery rate pada pengujian ketahanan watermark terhadap kompresi MP3 pada metode Echo Hiding

Hasil pengujian metode *Echo Hiding* seperti yang ditunjukkan pada tabel 4, menunjukkan pada penggunaan nilai amplitudo dari 0.1 sampai 0.4, *recovery rate* mengalami penurunan dibandingkan pada saat sebelum pengujian, sedangkan pada penggunaan nilai amplitudo dari 0.5 sampai 0.8, *recovery rate watermark* mencatat adanya peningkatan dari sebelumnya, namun hal tersebut sebenarnya lebih dipengaruhi oleh berkas sampel suara dari jenis *speech* yang disertakan dalam pengujian.

Sifat ketahanan *watermark* yang disisipkan menggunakan metode *Echo Hiding* didapat dari proses penyisipan *watermark* yang menyisipkan 1 bit *watermark* pada 1 blok sampling yang terdiri dari sejumlah *sampling* suara. Dengan menyisipkan 1 bit ke banyak sampel maka kemungkinan keberhasilan pengekstrakan *watermark* akan semakin besar, karena penentuan bit *watermark* yang diekstrak tidak dari 1 buah sampling yang disisipkan melainkan didapat dari perhitungan yang dilakukan pada 1 blok sampel untuk mencari 1 bit *watermark* yang disisipkan.

Pengujian ketahanan terhadap perubahan *sample rate* dilakukan dengan cara merubah *sample rate* dari berkas suara. Berkas suara yang digunakan memiliki *sample rate* sebesar 44100 Hz yang akan dikonversi menjadi 22500 Hz kemudian dikembalikan lagi ke *sample rate* 44100 Hz. Berkas suara tersebut kemudian akan dilakukan pengekstrakan *watermark* yang terdapat didalamnya dan dilakukan perbandingan antara *recovery rate* dari *watermark* pada berkas sebelum dilakukan perubahan *sample rate* dengan *recovery rate* dari *watermark* pada berkas yang telah dirubah *sample rate*-nya. Berikut disajikan data hasil pengujian ketahanan *watermark* terhadap perubahan *sample rate*.

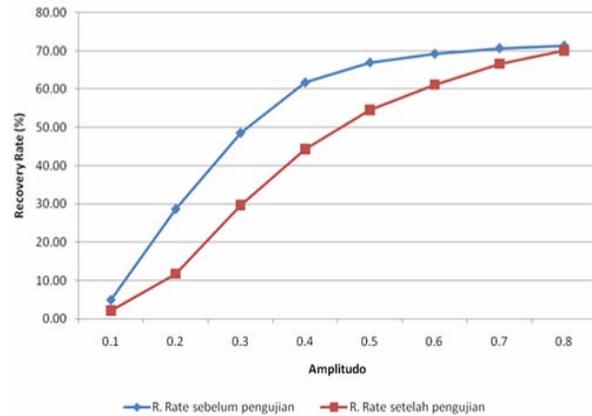
Pengujian *watermark* yang disisipkan dengan metode *Echo Hiding* memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap perubahan *resampling* pada berkas suara seperti yang ditunjukkan pada tabel 5. *Recovery rate watermark* yang disisipkan menggunakan metode *Echo Hiding* memang mengalami penurunan namun tidak terlalu drastis, dan seiring dengan penggunaan nilai amplitudo yang semakin besar maka perbedaan antara *recovery rate* sebelum pengujian dengan sebelum pengujian semakin kecil. Hal ini berarti amplitudo yang digunakan sangat mempengaruhi ketahanan dari *watermark* yang disisipkan. Pada penyisipan menggunakan *Echo Hiding* bit *watermark* disisipkan pada nilai *sampling* dengan cara menambahkan *echo* pada nilai *sampling* dengan cara menambahkan nilai *sampling* pada jarak tertentu yang telah ditetapkan, dimana panjang jarak menentukan jenis bit *watermark* yang disisipkan, sehingga pada 1 buah blok *sampling* tercipta pola yang sama yaitu setiap nilai *sampling* ditambahkan dengan nilai *sampling* pada jarak yang sama. Walaupun nilai *sampling* berubah setelah dilakukan *resampling*, namun perubahan nilai *sampling* pada dasarnya tetap berpola seperti pada saat sebelum dilakukan *resampling*, sehingga pada saat ekstraksi dilakukan fungsi *auto-correlation* untuk menemukan pola yang terdapat pada blok *sampling*. Hal ini yang membuat *watermark* masih dapat diekstrak pada berkas yang dilakukan *resampling*. Dapat disimpulkan dalam pengujian ini metode *Low Bit Coding* tidak memiliki ketahanan yang baik terhadap perubahan *resampling* yang dilakukan pada berkas yang disisipkan *watermark*, sebaliknya pada metode *Echo Hiding*, *watermark* memiliki ketahanan yang cukup baik pada pemrosesan sinyal *resampling* pada berkas suara yang disisipinya.

Tabel 5. Pengujian ketahanan watermark terhadap resampling pada metode Echo Hiding

Amplitudo	Durasi (s)	Recovery Rate Sebelum Pengujian (%)	Recovery Rate Setelah Pengujian (%)	Persentase Penurunan
0,1	40	4,95	2,15	56,57
0,2	40	28,66	11,76	58,97
0,3	40	48,57	29,65	38,95
0,4	40	61,74	44,33	28,20
0,5	40	66,95	54,52	18,57
0,6	40	69,25	61,17	11,67
0,7	40	70,69	66,62	5,76
0,8	40	71,33	70,10	1,72

Pengujian ketahanan *watermark* terhadap perubahan *bitrate* dilakukan dengan merubah *bit rate* atau bit per sampel dari berkas suara dari 16 bps menjadi 8 bps, kemudian *watermark* akan diekstrak dari berkas yang telah mengalami manipulasi tersebut. Untuk kepentingan pengestrakkan berkas

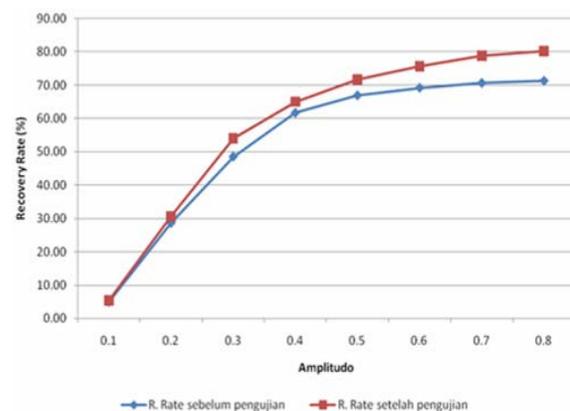
dikembalikan lagi ke *bitrate* 16 bps. Berikut disajikan data rata-rata nilai pengujian ketahanan *watermark* terhadap perubahan *bitrate* untuk kedua metode *watermarking*. Data selengkapnya mengenai pengujian ketahanan *watermark* terhadap perubahan *bit rate*.



Gambar 16. Grafik recovery rate pengujian ketahanan watermark terhadap resampling pada metode Echo Hiding

Tabel 6. Pengujian ketahanan watermark terhadap perubahan bit rate pada metode Echo Hiding

Amplitudo	Durasi (s)	Recovery Rate Sebelum Pengujian (%)	Recovery Rate Setelah Pengujian (%)	Persentase Penurunan
0,1	40	4,95	5,36	0
0,2	40	28,66	30,59	0
0,3	40	48,57	54,05	0
0,4	40	61,74	64,98	0
0,5	40	66,95	71,63	0
0,6	40	69,25	75,63	0
0,7	40	70,69	78,76	0
0,8	40	71,33	80,23	0



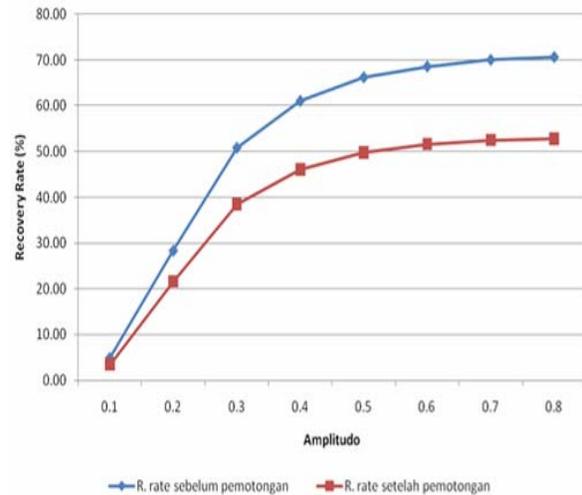
Gambar 17. Grafik Recovery Rate watermark pada pengujian ketahanan watermark terhadap perubahan bitrate untuk metode Echo Hiding

Pengujian ketahanan *watermark* metode *Echo Hiding* menunjukkan hasil yang sama seperti pengujian ketahanan sebelumnya. *Watermark* yang disisipkan menggunakan metode *Echo Hiding* masih dapat diekstrak meskipun telah terjadi proses perubahan *bit rate* pada berkas suara, dimana penurunan *recovery rate watermark* yang terjadi sangat kecil. Ketahanan terhadap perubahan *bit rate* pada metode *Echo Hiding* dikarenakan proses penyisipan *watermark* yang menyisipkan 1 bit *watermark* pada 1 blok sampling yang terdiri dari sejumlah sampling suara, dimana setiap sampling ditambahkan *echo* dengan menjumlahkan nilai sampling dengan nilai sampling pada jarak tertentu yang telah diperkuat dengan amplitudo, sehingga pada tiap blok akan tercipta sebuah pola jarak *echo* dengan panjang tertentu. Pada saat pengestrakkan, akan dilakukan identifikasi terhadap pola tersebut dengan melakukan *auto-correlation* sehingga meskipun berkas telah mengalami perubahan tetapi pola tersebut sebenarnya tetap ada pada berkas. Dapat disimpulkan pada pengujian ketahanan dengan metode *Echo Hiding* memiliki *robustness* yang cukup tinggi terhadap perubahan *bit rate* pada berkas suara.

Pengujian ketahanan *watermark* terhadap pemotongan berkas suara dilakukan dengan cara memotong berkas suara menjadi berkas dengan durasi tertentu. Tahapan pertama berkas suara disisipkan *watermark* dengan kapasitas penyisipan maksimalnya, kemudian berkas yang telah diberi *watermark* kemudian akan dipotong sebesar 25% dari durasi keseluruhan. Berkas suara yang telah dipotong tersebut kemudian akan dilakukan pengestrakkan *watermark* yang terdapat didalamnya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemotongan berkas suara terhadap hasil pengestrakkan *watermark* yang terdapat didalamnya. Berikut data rata-rata hasil pengujian ketahanan *watermark* terhadap pemotongan berkas suara.

Tabel 7. Data nilai rata-rata pengujian ketahanan watermark terhadap pemotongan berkas suara untuk metode Echo Hiding

Amplitudo	Recovery Rate Sebelum Pengujian (%)	Recovery Rate Setelah Pengujian (%)	Persentase Penurunan
0,1	4,92	3,41	30,71
0,2	28,36	21,54	24,05
0,3	50,86	38,41	24,47
0,4	61,10	46,03	24,67
0,5	66,24	49,72	24,94
0,6	68,62	51,55	24,87
0,7	70,07	52,45	25,14
0,8	70,08	52,78	25,33



Gambar 18. Grafik pengujian ketahanan watermark terhadap pemotongan berkas suara untuk metode Echo Hiding

Pengujian menunjukkan adanya penurunan *recovery rate* sebesar 25% dari *recovery rate* awal. Adanya penurunan ini disebabkan karena pada saat proses pemotongan berkas akan terjadi proses penghilangan sejumlah sampling suara untuk mencapai durasi yang diinginkan, secara otomatis bit *watermark* yang terdapat dalam sampling akan ikut hilang bersama data sampling suara yang dibuang, sehingga jika ukuran *watermark* yang disisipkan merupakan kapasitas maksimum dari berkas maka *watermark* yang disisipkan akan mengalami penurunan *recovery rate* sebesar persentase dari bagian berkas yang dipotong.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba yang diperoleh dari perangkat lunak proses *watermarking*, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Ukuran berkas yang dihasilkan pada proses *watermarking* menggunakan metode *Echo Hiding* sama dengan ukuran berkas aslinya.
2. Hasil ekstraksi *watermark* pada berkas menggunakan metode *Echo Hiding* nilai *recovery rate* sangat dipengaruhi oleh nilai amplitudo yang dipilih pada saat proses penyisipan, dimana semakin besar nilai amplitudo maka *recovery rate* akan semakin tinggi.
3. *Watermark* yang disisipkan menggunakan metode *Echo Hiding* memiliki ketahanan/*robustness* yang cukup tinggi karena memiliki tingkat penurunan *recovery rate* yang rendah dan tingkat penurunan *recovery rate* akan semakin mengecil ketika nilai amplitudo yang digunakan semakin besar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmad, Balsa dkk. 2005. **Teknik Pengolahan Citra Digital Menggunakan Delphi**. Ardi Publishing:Yogyakarta
- [2] Bender W, Gruhl D, Morimoto N, A Lu. 1996. **Techniques for data hiding, IBM Systems Journal Vol. 35 No 3&4**. Massachusetts : MIT Media laboratory
- [3] Cacciaguerra S, Ferretti S. 2000. **Data Hiding: Steganography and Copyright Marking**. Bologna. Departement of Computer Science, University of Bologna
- [4] Cvejic N. 2004. **Algorithm for Audio Watermarking and Steganography**. Oulu. Department of Electrical and Information Engineering, Information Processing Laboratory, University of Oulu
- [5] Gruhl D, A Lu, Bender W.1996. **Echo Hiding**. Massachusetts: MIT Media laboratory.
- [6] Hariyanto, B. 2003. **Esensi-Esensi Bahasa Pemrograman Java**. Bandung: Informatika Bandung.
- [7] Hartung F, Su K, Girod B. 1999. **Spread Spectrum Watermarking: Malicious**
- [8] Attacks and Counterattacks. Nuremberg. Telecommunications Laboratory – University of Erlangen
- [9] Mohanty SP. 1999. **Digital Watermarking : A Tutorial Review**. Unversity of South Florida
- [10] Morgan S. 2004. **Implementing and Testing Various Digital Watermarking Techniques on Audio Data**. Unversity of Bath
- [11] Munir R. 2006. **Kriptografi** . Bandung . Penerbit Informatika Bandung.
- [12] Suhono H. Supangkat, Kuspriyanto, Juanda. 2000. **Watermarking sebagai Teknik Penyembunyian Label Hak Cipta pada Data Digital**. Teknik Elektro, Vol. 6, No. 3, 2000
- [13] Voloshynovskiy S, Pereira S, Pun T. 2000. **Attacks on Digital Watermark: Classification, Estimation Based Attacks and Benchmarks**. University of Geneva
- [14] Wicaksono, Ady. 2002. **Dasar-Dasar Pemrograman Java 2**. PT Elex Media Komputindo: Jakarta