IMPLEMENTASI BLIND AUDIO WATERMARKING DENGAN QR DECOMPOSITION

A BLIND AUDIO WATERMARKING IMPLEMENTATION METHOD BASED QR DECOMPOSTION

Yugnan Adi Sasongko[1], Gelar Budiman, S.T., M.T.[2], Irma Safitri, S.T., M.I.T.[3]
[1,2,3] Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]yugnan@students.telkomuniversity.ac.id, [2]gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id, [3]irmasaf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perkembangan terbaru dari dunia digital telah sangat memfasilitasi transmisi dan manipulasi multimedia data seperti teks , gambar, audio ataupun video. Kemudahan akses serta duplikasi data multimedia telah menyebabkan masalah serius untuk perlindungan hak cipta.Oleh karena itu diperlukan teknologi untuk melindungi konten digital untuk mencegah pelanggaran hak cipta.

Digital watermarking adalah salah satu teknologi untuk solusi mencegah pelanggaran hak cipta. Digital watermarking adalah teknik dimana sebuah informasi disisipkan ke dalam sebuah set host-data (gambar,video,audio,dll) dengan cara tertentu sehingga informasi tersebut tidak menggangu penggunaan host-data secara normal dan tidak dapat dilepaskan dengan cara yang biasa.Dngan teknik *blind watermarking*, pada proses ekstraksinya tidak memerlukan informasi watermark maupun file audio digital yang asli.

Pada tugas akhir ini dilakukan implementasi dan analisis sistem *blind audio watermarking* menggunakan *QR Decomposition* dengan teknik penyisipan bit menggunakan teknik QIM. Dari hasil pengujian, didapat rata-rata SNR > 20 dB pada saat variael ∆ sistem mampu menghasilkan nilai BER 0% pada setiap jenis audio yang diujikan dengan semua variable ∆ . Ketahanan sistem hanya pada serangan *linier speed change, noise addition* dan LPF pada level tertentu dan tidak tahan terhadap serangan *MP3 Compression* dan *MP4 Compression*

Kata kunci : ***Blind Audio Watermarking, QR Decomposition, Quantization Index Modulation , BER, SNR***

Abstract

The latest development of the digital world has greatly facilitated the transmission and manipulation of multimedia data such as text, images, audio or video. Ease of access and duplication of multimedia data has caused serious problems for the protection of the rights cipta.Oleh because it needs the technology to protect digital content to prevent copyright infringement.

Digital watermarking is a technology for a solution to prevent copyright infringement. Digital watermarking is a technique in which an information is inserted into a host-set of data (images, video, audio, etc.) in a way that the information does not interfere with the use of host-normal data and can not be released in a way that biasa.Dngan blind technique watermarking, the extraction process does not require the watermark information and the original digital audio file.

In this final project implementation and analysis of blind audio watermarking system using QR Decomposition with bits insertion technique using QIM techniques. From the test results, obtained on average SNR> 20 dB when variael Δ 1, and system is able to generate value BER 0% on any type of audio that was tested with all of the variables Δ. Robustness of the system only in a linear attack speed change, addition and LPF noise at a certain level and not resistant to attack Compression MP3 and MP4 Compression

Keywords: ***Blind Audio Watermarking, Singular Value Decomposition, Quantization Index Modulation, BER,SNR***

---

1. Pendahuluan

Perkembangan terbaru dari dunia digital telah sangat memfasilitasi transmisi dan manipulasi multimedia data seperti teks , gambar, audio ataupun video. Kemudahan akses serta duplikasi data multimedia telah menyebabkan masalah serius untuk perlindungan hak cipta.Oleh karena itu diperlukan teknologi untuk melindungi konten digital untuk mencegah pelanggaran hak cipta.

Digital watermarking adalah salah satu teknologi untuk solusi mencegah pelanggaran hak cipta. Digital watermarking adalah teknik dimana sebuah informasi disisipkan ke dalam sebuah set host-data

(gambar,video,audio,dll) dengan cara tertentu sehingga informasi tersebut tidak menggangu penggunaan host-data secara normal dan tidak dapat dilepaskan dengan cara yang biasa. [1].

Teknik digital watermarking digunakan dengan memanfaatkan kelemahan indra manusia yaitu penglihatan atau HVS (*Human Visual System)* dan pendengaran yaitu HAS (*Human Auditory System*. HAS memiliki sensitivitas lebih jika dibandingkan HVS sehingga penggunaan data digital audio akan lebih terasa dalam pendengaran. Untuk audio teknik yang digunakan adalah Audio watermarking yaitu teknik menyisipkan informasi dengan maksud tertentu kedalam host media tanpa mengganggu kualitas aslinya. [2]

Data yang disisipkan dalam audio watermarking dapat berupa teks namun kapasitas penyimpanan dari algoritma terbatas. Citra juga dapat digunakan untuk data penyisipan namun lebih mudah dikenali jika terjadi distorsi. Proses penyisipan data *watermark* berupa citra ke dalam audio digital tanpa mempengaruhi kualitas audio host serta tahan terhadap distorsi. Hal ini yang menjadi salah satu dasar dalam menyusun Tugas Akhir ini.

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan implementasi *blind audio watermarking* dengan *QR Decomposition* (QRD). Metode *QR Decomposition* dipilih karena lebih tahan terhadap distorsi untuk perlindungan hak cipta pada data audio digital [3]. Dalam penelitian sebelumnya [7], data *host* dan data *watermark* yang digunakan sama-sama berupa citra serta menggunakan LWT untuk memfilter frekuensi tinggi.Sedangkan pada Tugas Akhir ini berbeda, tanpa penggunaan LWT tetapi menggunakan kuantisasi QIM. Pada data watermark yang digunakan adalah citra hitam putih dengan ukuran 32 x 32 piksel yang disisipkan ke dalam file audio. Pengukuran kualitas audio sistem audio watermarking menggunakan parameter ODG, SNR, dan MOS. Untuk kualitas dari data *watermark* hasil ekstraksi diukur menggunakan parameter BER. Dilakukan juga pengujian ketahanan (*robustness test*) dengan memberikan beberapa serangan (*attack*) pada data *host* ter*watermark*

2. Dasar Teori

2.1. Watermarking

Watermarking adalah salah satu cabang ilmu yang mempelajari teknik penyembunyian informasi. Terkadang teknik *watermarking* disebut juga sebagai sinonim dari *Steganography* karena sama – sama mempelajari tentang teknik penyembunyian data. Namun, terdapat perbedaan yang sangat jauh antara *watermarking* dan *steganography*. *Steganography* menyisipkan informasi yang tampak, namun susah (diharapkan tidak mungkin) dideteksi jika tempat penyembunyian datanya tidak diketahui. *Watermarking* ini memanfaatkan kekurangan-kekurangan sistem indera manusia seperti mata dan telinga. Dengan adanya kekurangan inilah, metoda *watermarking* ini dapat diterapkan pada berbagai media digital.

Digital watermarking adalah sebuah teknik dimana sebuah informasi disisipkan kedalam sebuat set *host-data* (citra, video, audio) dengan cara tertentu sehingga informasi tersebut tidak mengganggu penggunaan *host-data* secara normal dan tidak dapat dilepaskan dengan cara yang biasa [1]. Sebagai contoh, jika sebuah informasi disisipkan ke dalam *audio* , maka telinga tidak dapat mendengar informasi tersebut. Hal tersebut merupakan salah satu jenis *watermarking*, yaitu *audio watermarking*.

Audio Watermarking adalah proses *watermarking* yang dilakukan pada sinyal audio. *Watermarking* pada sinyal audio memiliki tantangan yang lebih dibandingkan dengan *watermaking* pada citra 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 dibandingan *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[2].

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

2.2. *QR Decomposition* (QRD)

QR dekomposisi (juga disebut QR faktorisasi) dari matriks mengacu pada dekomposisi matriks menjadi matriks ortogonal dan matriks segitiga. Sebuah dekomposisi QR dari matriks persegi A real adalah dekomposisi A dilihat melalui persamaan berikut [5]

$$A = QR \quad (2.1)$$

Dimana :

Q : Matrik orthogonal A dari eigen matriks ($A.A^T = 1$)

R : Vektor eigen dari A^TA. Matriks V adalah matrik singular kanan yang orthogonal berukuran N × N.

Dimana Q adalaha matriks berukuran n x n , R adalah matriks variabel yang berukuran *n x1* dan A adalah matriks konstanta yang berukuran n x1. Matriks Q dapat ditulis menjadi matriks yang dibentuk dari vektor

vektor kolom $u^1 \vdots u^2 \vdots \cdots \vdots u_n$, dimana u^1 adalah kolom pertama dari matriks Q, u2 adalah kolom kedua dari matriks A dan seterusnya.

Matriks Q adalah matriks yang memiliki rank penuh maka ketika banyaknya satu utama yang terbentuk ketika matrik Q dijadikan matriks eselon baris tereduksi adalah sebanyak n sehingga Q tidak mempunyai vektor-vektor kolom dan vektor vektor baris nol.Vektor kolom Q adalah bebas linear. Selanjutnya matriks Q dapat dibentuk menjadi matriks eselon baris tereduksi, maka baris A adalah matriks identitas dimana entri-entri diagonal utama dari vektor-vektor $u^1 \vdots u^2 \vdots \cdots \vdots u_n$ adalah 1 sepanjang ui adalah 1. Hal ini mengakibatkan matrik Q dapat dibentuk menjadi basis ortonormal. Misalkan basis ortonormal tersebut dengan qi.

Berdasarkan teorema mengenai basis ortonomal diperoleh suatu persamaan

$$u_1 = \langle u_1, q_1 \rangle q_1 + \langle u_1, q_2 \rangle q_2 + \cdots + \langle u_1, q_n \rangle q_n$$
$$u_2 = \langle u_2, q_1 \rangle q_1 + \langle u_2, q_2 \rangle q_2 + \cdots + \langle u_2, q_n \rangle q_n$$
$$u_n = \langle u_n, q_1 \rangle q_1 + \langle u_n, q_2 \rangle q_2 + \cdots + \langle u_n, q_n \rangle q_n \quad (2.2)$$

Persamaan di atas dapat kita tulis menjadi

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle u_1, q_1 \rangle & \langle u_1, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_1, q_n \rangle \\ \langle u_2, q_1 \rangle & \langle u_2, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_2, q_n \rangle \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \langle u_n, q_1 \rangle & \langle u_n, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_n, q_n \rangle \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$[u^1 \vdots u^2 \vdots \cdots \vdots u_n] = [q^1 \vdots q^2 \vdots \cdots \vdots q_n] = \begin{bmatrix} \langle u_1, q_1 \rangle & \langle u_1, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_1, q_n \rangle \\ \langle u_2, q_1 \rangle & \langle u_2, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_2, q_n \rangle \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \langle u_n, q_1 \rangle & \langle u_n, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_n, q_n \rangle \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Karena $u^1 \vdots u^2 \vdots \cdots \vdots u_n$ vektor-vektor kolom dari A maka secara ringkas dapat ditulis A=QQ* dimana. Sebelumnya telah disebutkan bahwa digunakan proses Gram Schmidt . Proses Gram Schmidt menggariskan bahwa $i \geq 2$, vektor sehingga semua entri yang terletak dibawah diagonal utama matriks Q* adalah nol sehingga matriks Q* adalah matriks segitiga atas. Selanjutnya matriks Q* ini dinamakan matriks R sehingga A=QR [6]

$$R = \begin{bmatrix} \langle u_1, q_1 \rangle & \langle u_1, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_1, q_n \rangle \\ \langle u_2, q_1 \rangle & \langle u_2, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_2, q_n \rangle \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \langle u_n, q_1 \rangle & \langle u_n, q_2 \rangle & \cdots & \langle u_n, q_n \rangle \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$R = \begin{bmatrix} \langle q_1, u_1 \rangle & \langle q_1, u_2 \rangle & \cdots & \langle q_1, u_n \rangle \\ \langle q_2, u_1 \rangle & \langle q_2, u_2 \rangle & \cdots & \langle q_2, u_n \rangle \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$\begin{array}{ccccc} & \vdots & & \ddots & \cdots \\ < \text{?}, \text{?}_1 > & < \text{?}, \text{?}_2 > & \cdots & < \text{?}, \text{?} > \end{array}$$

2.3. *Quantization Index Modulation* (QIM)

Metode *watermarking* dengan skema QIM diperkenalkan Brian Chen dan Gregory W. Wornell pada tahun 1999. *Quantization Index Modulation* adalah suatu skema penyisipan watermark dengan tahapan :

1. Memodulasi *watermark* dalam suatu indeks atau himpunan indeks. Hasilnya kemudian disebut dengan *quantizer*. [8]
2. Mengkuantisasi sinyal *host* pada frekuensi tertentu dengan *quantizer* yang sesuai, sesuai dengan nilai *watermark* yang akan disisipkan pada sinyal tersebut. [8]

Misalkan *watermark* w yang disusun oleh sekumpulan karkater n_i hendak disisipkan kesebuah sinyal y yang disusun oleh c_j, menggunakan metode QIM. Maka sebelumnya harus disediakan *quantizer* sejumlah n, yang kemudian setiap *quantizer* akan diindeks sesuai dengan karakter *watermark* yang ada. Jika n_i hendak disisipkan pada sinyal y diposisi c_j, maka nilai c_j akan dikuantisasi nilainya kenilai yang dirujuk oleh *quantizer* ke-i.

Kuantisasi pada dasarnya dapat diterapkan di domain waktu atau frekuensi atau setelah proses transformasi. Data watermark disisipkan pada nilai maksimal/ekstrim sinyal. Dalam menggunakan teknik QIM pada Tugas Akhir ini, digunakan parameter yang diubah-ubah nilainya untuk mencari hasil penyisipan terbaik, parameter itu adalah Δ. Nilai Δ didapat dari banyaknya nbit (bit kuantisasi pada QIM) yang mana Δ itu merupakan jarak antar nilai kuantisasi dari teknik QIM. Rumusan QIM untuk proses penyisipan dan proses ekstraksi pada watermark yang akan digunakan ialah sebagai berikut [13] :

Proses penyisipan melalui persamaan sebagai beriku:

Jika bit watermark yang disisipkan adalah bit '1' maka :

[illegible]′(0) = [illegible] dan arg min |[illegible](0) − [illegible]| (2.7)

Jika bit watermark yang disisipkan adalah bit '0' maka :

[illegible]′(0) = [illegible] dan arg min |[illegible](0) − [illegible]| (2.8)

Dimana nilai [illegible] = $(2[\text{illegible}] + \frac{1}{2})\Delta$ [illegible] [illegible] = $(2[\text{illegible}] - \frac{1}{2})\Delta$,k = 0,±1,±2, . . . dst (2.9)

Proses ekstrasi melalui persamaan sebagai berikut:

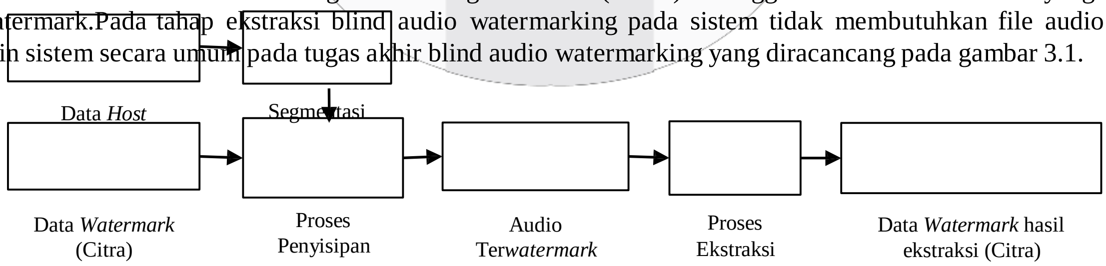
([illegible] = { 0, [illegible]([illegible]($\frac{[\text{illegible}]^*(0)}{\Delta}$), 2) = g[illegible] (2.10)

1, [illegible]([illegible]($\frac{\overline{[\text{illegible}]^*(0)}}{\Delta}$), 2) = ga[illegible] (2.11)

3. Perancangan Sistem

3.1. Desain Sistem

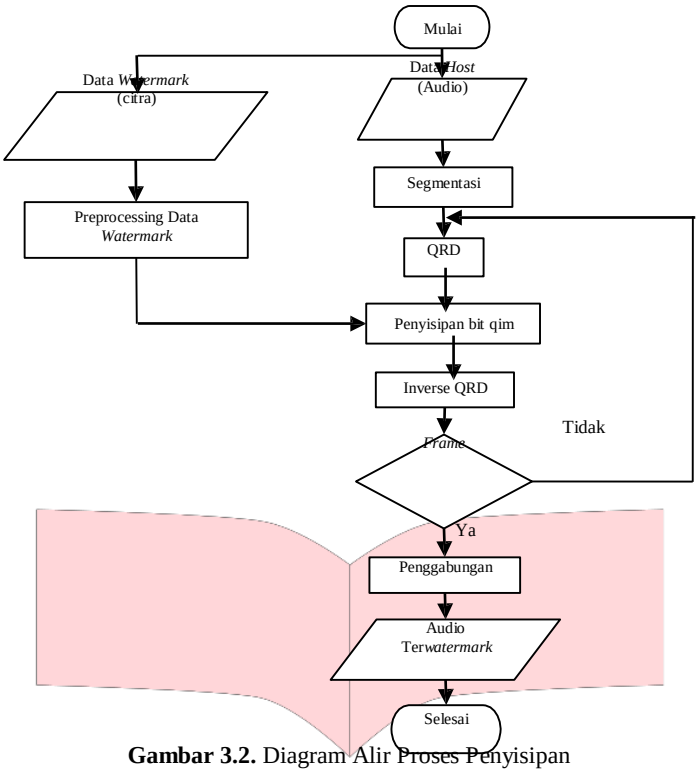
Perancangan sistem dalam tugas akhir ini menggunakan metode QR Decomposition dengan data watermark dengan menggunakan citra hitam putih. Blind audio watermarking dalam sistem ini melalui dua tahap yaitu proses penyisipan dan proses ekstraksi. Pada tahap penyisipan citra hitam putih disisipkan menjadi data watermark ke dalam sebuah file audio asli sebagai host dengan format (*.wav) sehingga dihasilkan file audio yang telah terwatermark.Pada tahap ekstraksi blind audio watermarking pada sistem tidak membutuhkan file audio asli. Desain sistem secara umum pada tugas akhir blind audio watermarking yang diracancang pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Desain Sistem Secara Umum

3.2. Proses Penyisipan

Proses penyisipan sebuah citra hitam putih ke dalam file audio asli pada sistem *blind audio watermarking* dengan menggunakan metode QRD melalui beberapa tahap. Diagram alir dari tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2. Diagram Alir Proses Penyisipan

1. *Preprocessing* Data *Watermark*
   Citra hitam putih berformat (*.*png*) dengan ukuran *M x M* piksel dikonversikan ke dalam bentuk bit setiap pikselnya. Sehingga diperoleh deretan bit dari data *watermark* (W_{SE}) dengan panjang *I* yang siap untuk disisipkan, dimana ◆?◆= {◆?◆(◆?◆, 1 ≤ ◆?◆≤ ◆?◆} dan *M x M = I*.

2. Segmentasi
   Audio asli *X* berformat (*.*wav*) mono 16 bit dengan panjang *L* sampel disegmentasi ke dalam *nonoverlapping frames F = {F1, F2, F3, . . ., FI }* dimana *M x M = I*. Frame yang terbentuk diubah ke dalam matriks 2-D, yaitu matriks persegi *FH*.

3. *QR Decomposition* (QRD)
   Setiap *frame* berbentuk matriks persegi *FH* didekomposisikan untuk mendapatkan matriks *singular* (*S*).
   $$◆?◆= ◆?◆◆?◆ \quad (3.1)$$
   Dipilih elemen 4 ruang kolom *S(1,1) S(1,2) S(1,3) S(1,4)* dam 2 ruang kolom *S(1,1) S(1,2)* sebagai tempat penyisipan bit *watermark*, dan hal ini berlaku pada setiap *frame*.

4. Penyisipan
   Proses penyisipan bit dilakukan hanya pada elemen *S(1,1)*. Teknik penyisipan yang digunakan adalah teknik *Quantization Index Modulation* (QIM). Pada teknik QIM, parameter yang diubah-ubah untuk mencari hasil penyisipan terbaik yaitu nilai Δ. Proses penyisipan dengan kuantisasi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut [9]:
   $$◆?◆(1,1) = (2◆?◆ + \tfrac{1}{2}) \Delta \text{ dan } \arg\min |◆?◆(1,1) - ◆?◆(1,1)| \text{ jika } W_{SE} = 1 \quad (3.2)$$
   $$◆?◆(1,1) = (2◆?◆ - \tfrac{1}{2}) \Delta \text{ ◆?◆◆?◆} \arg\min |◆?◆(1,1) - ◆?◆(1,1)| \text{ jika } W_{SE} = 0 \quad (3.3)$$
   dimana k = 0,±1,±2,±3, . . . dst

5. Invers QR Decomposition
   Hasil penyisipan bit dimasukan kembali ke dalam matriks diagonal *(R)* dan kemudian direkontruksi menjadi matriks *FH'* yang sudah disisipi dengan menggunakan inverse QR Decomposition.

$$◆?◆ = ◆?◆◆?◆ \quad (3.6)$$
$$◆?◆† = ((◆?◆◆?◆^{◆?◆}(◆?◆◆?◆^{-1}) (◆?◆◆?◆)◆?◆$$
$$= (◆?◆◆?◆^{-1} ◆?◆◆?◆◆?◆ \quad (◆?◆◆?◆ = ◆?◆)$$

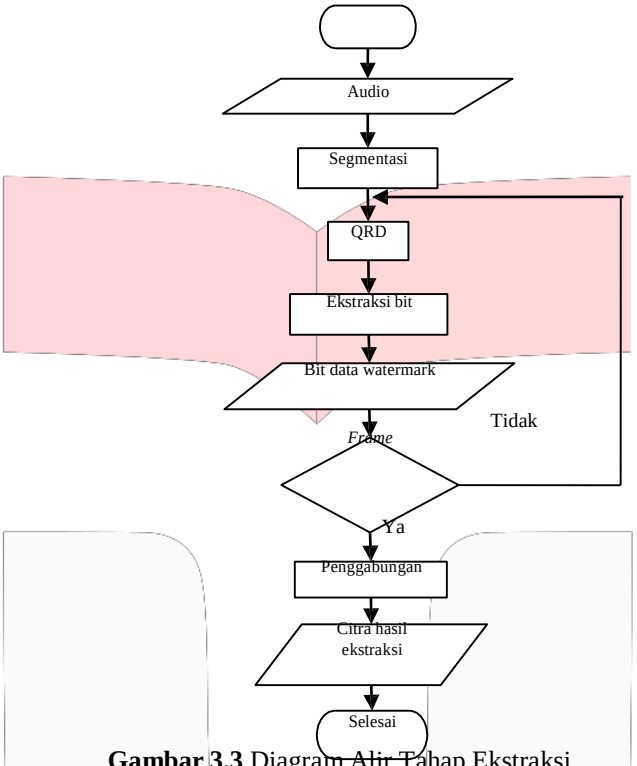
= [illegible]

$= \hat{R}^{1}Q$
$= \hat{R}^{-1} = (\hat{R}\hat{R})^{-1} = \hat{R}^{1}\hat{R}$

6. Penggabungan
   Matriks *FH'* diubah menjadi matriks 1-D *F'* agar dapat direkontruksi menjadi audio ter*watermark*.

3.3. Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi bertujuan untuk mendapatkan kembali data *watermark* yang telah disisipkan pada data *host.* Diagram alir mengenai proses ekstraksi dapat dilihat pada gambar 3.3. di bawah.



Gambar 3.3 Diagram Alir Tahap Ekstraksi

Tahapan dari diagram alir proses ekstraksi pada gambar 3.3 diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Segmentasi
   File audio ter*watermark* berformat (**.wav*) X^{*} dikelompokkan menjadi beberapa *frame* $\hat{R}^{*}$. Setiap *frame* yang terbentuk kemudian diubah ke dalam matriks 2-D, yaitu matriks persegi FH^{*}.

2. QRD
   Matriks persegi FH^{*} tersebut didekomposisi dengan cara QRD untuk mendapatkan matriks *A*
   $$\hat{R} = \hat{R}\hat{R}\hat{R} \quad (3.4)$$
   Dipilih S^{*}untuk proses ekstraksi karena elemen tersebut digunakan sebagai tempat penyisipan bit.

3. Ekstrasi bit
   Dilakukan proses ekstraksi dengan teknik QIM pada elemen *S*(1,1).* Nilai dari Δ harus sama seperti pada proses penyisipan. Cara pengekstrasian bit dari nilai *S*(1,1)* secara matematis sebagai berikut [9]:

$$\hat{R}^{*}(\hat{R}) = \begin{cases} 0, & \hat{R}\hat{R}\hat{R}(\hat{R}\hat{R}(\frac{\hat{R}^{*}(1,1)}{\Delta}), 2) = \hat{R}\hat{R}\hat{R} \quad (3.5) \\ 1, & \hat{R}\hat{R}\hat{R}(\hat{R}\hat{R}(\frac{\overline{\hat{R}^{*}(1,1)}}{\Delta}), 2) = \hat{R}\hat{R}\hat{R} \quad (3.6) \end{cases}$$

4. Penggabungan
   Bit *watermark* hasil ekstraksi digabungkan ke dalam matriks 1-D ($\hat{R}$) kemudian disusun kembali menjadi matriks 2-D ($\hat{R}$) *M x M*. Selanjutnya mengkonversi bit-bit *watermark* tersebut menjadi warna hitam putih di setiap piksel citra sehingga didapat citra hasil ekstraksi.

4. Pengujian Sistem dan Analisis

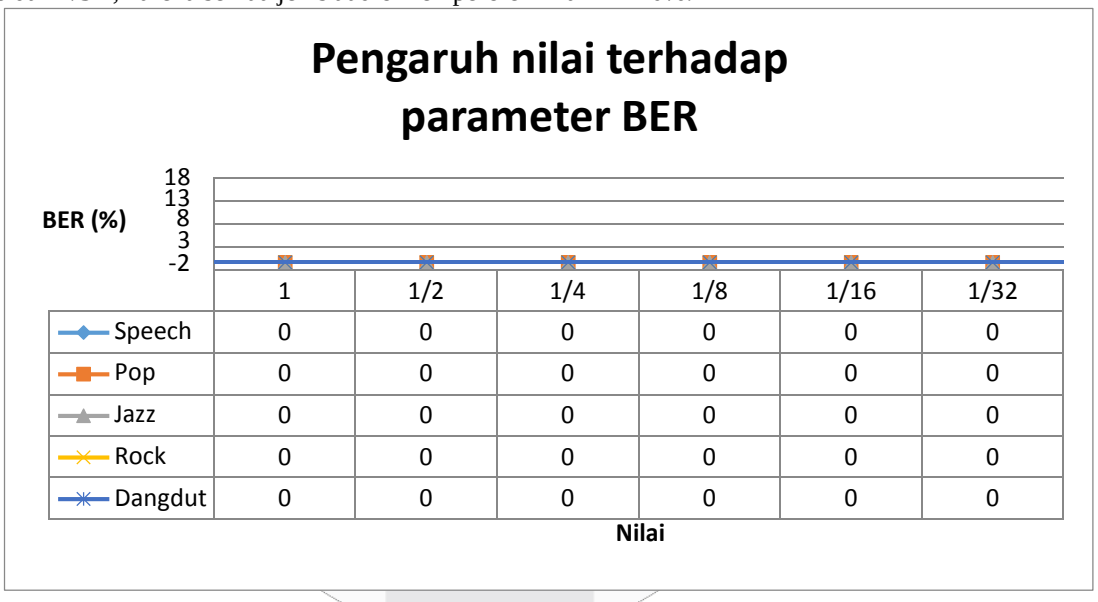
Dalam Tugas Akhir digunakan metode QR Decomposition untuk menentukan lokasi penyisipan watermark. Penentuan lokasi penyisipan pada elemen baris pertama dalam matrik diagonal hasil dekomposisi dari QR Decomposition. Lokasi penyisipan pada 2 kali uji pada elemen baris . Lokasi penyisipan pertama pada 2 ruang penyisipan elemen pertama baris pertama dan baris kedua saja. Penyisipan selanjutnya pada 4 ruang pada elemen baris pertama hingga baris ke empat. Teknik penyisipan bit *watermark* menggunakan kuantisasi QIM , sehingga penyisipan merupakan modifikasi elemen baris pertama pada matriks diagonal hasil dekomposisi sinyal host dengan menggunakan teknik QR Decomposition.

Variabel yang berpengaruh untuk memperoleh hasil penyisipan terbaik adalah variable Δ . Nilai Δ secara tidak langsung mempengaruhi kualitas data host yang disisipi dan data watermark yang telah disisipkan. Dalam pengujian sistem digunakan nilai Δ yaitu 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, dan 1/32. Pada penyisipan terdapat 2 pilihan yaitu file pertama dengan panjang frame host 256 , panjang frame bit 2 dan jumlah frame host 512. Untuk penyisipan kedua yaitu file dengan panjang frame host 512 , panjang frame bit 4 dan jumlah frame host 256.

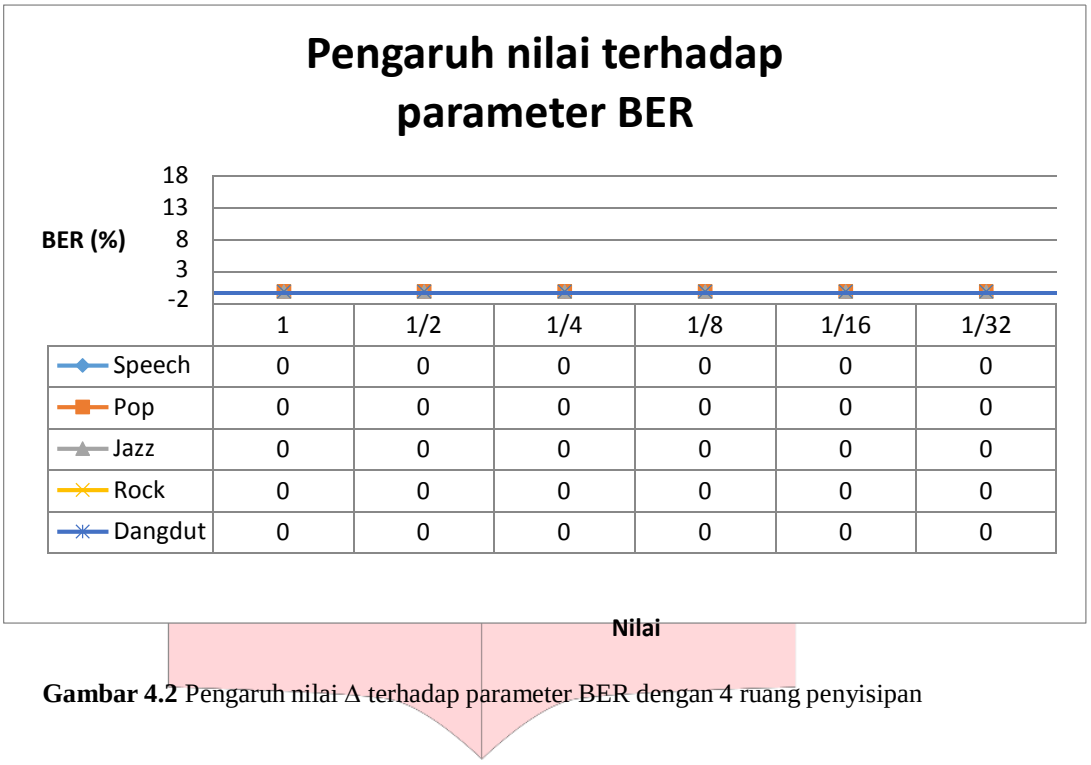
Pada proses ekstraksi dilakukan analisa pengaruh nilai Δ terhadap parameter BER, SNR, dan ODG tanpa dilakukan serangan pada watermarking yang telah disisipkan. Dalam proses ekstraksi merupakan *blind audio watermarking* sehingga tidak membutuhkan file audio asli atau hsot yang belum disispi. Pengujian ketahanan sistem dilakukan dengan pemberian serangan pada audio ter*watermak* dan selajutnya dilakukan proses ekstraksi untuk dianalisis ketahanan sistem dengan menghitung parameter BER yang diperoleh.

4.1. Pengaruh nilai Δ terhadap parameter BER

Pada Gambar 4.1 di bawah menunjukkan bahwa perubahan nilai Δ berpengaruh signifikan pada beberapa jenis file audio *speech* dan *jazz*. Dapat diketahui nilai Δ yang tepat untuk digunakan pada sistem, yaitu pada saat nilai Δ 1/16 dan 1/32 , karena semua jenis audio memperoleh nilai BER 0%.



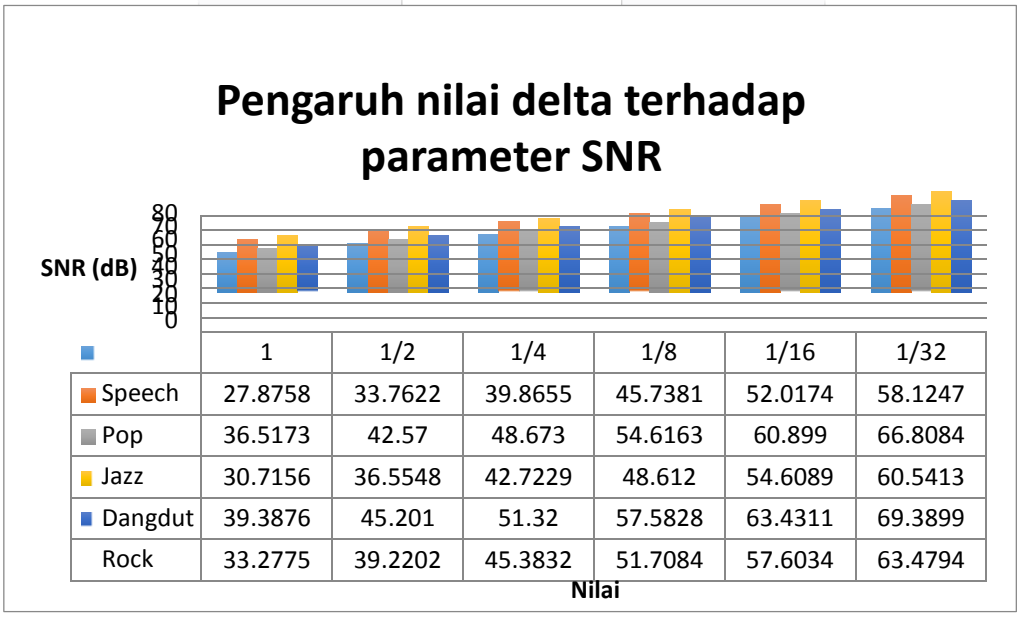
Gambar 4.1 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter BER dengan 4 ruang penyisipan



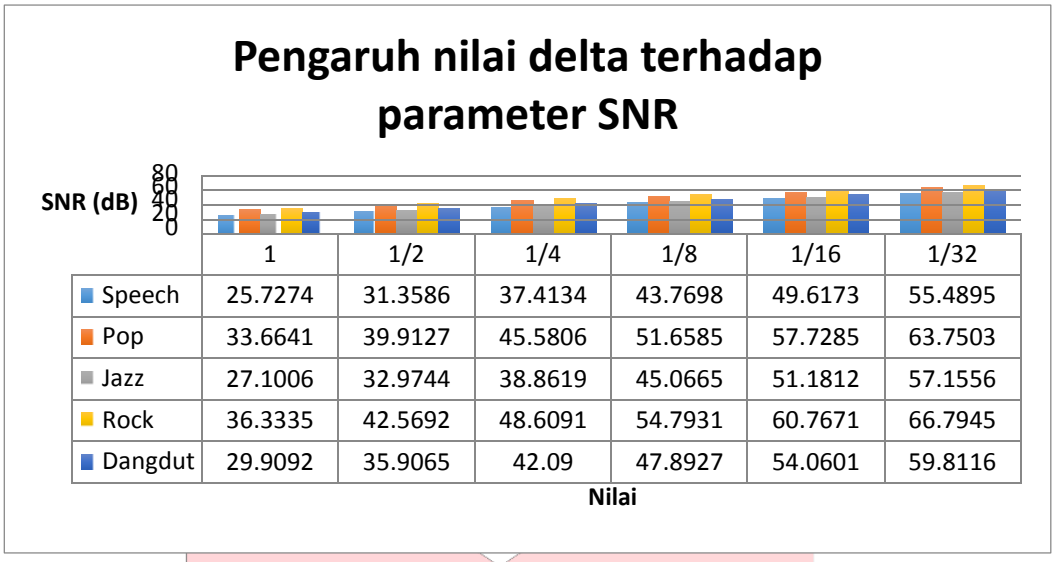
Gambar 4.2 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter BER dengan 4 ruang penyisipan

4.2. Pengaruh nilai Δ terhadap parameter SNR

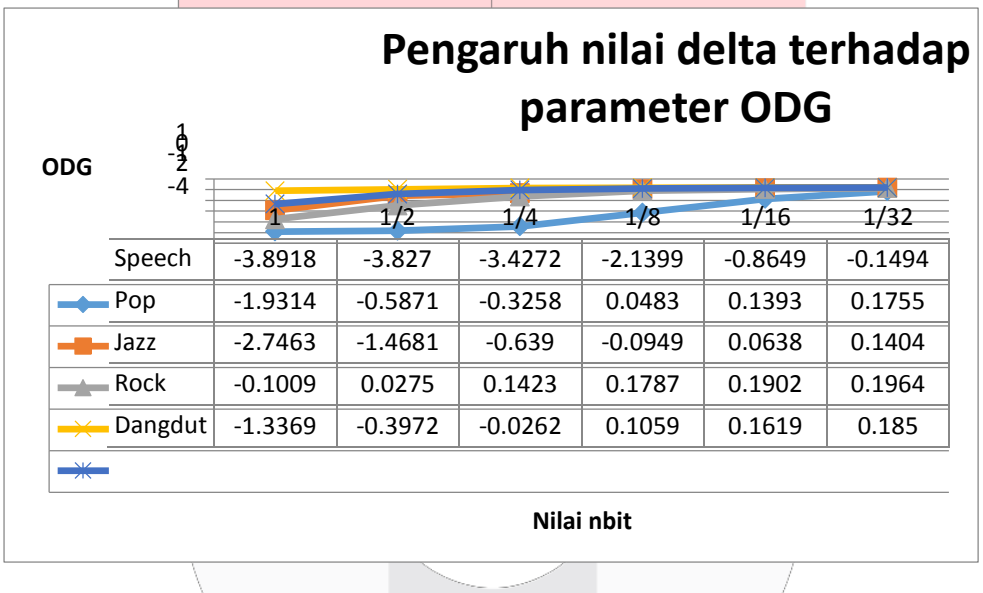
Nilai Δ juga berpengaruh pada kualitas data *host* yang disisipi atau audio ter*watermark* dengan melihat parameter SNR dan ODG. Untuk parameter SNR, kualitas dari audio ter*watermark* dapat dikatakan baik apabila memiliki nilai SNR > 20dB. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa pada saat nilai Δ 1/8, semua jenis audio telah mencapai lebih dari 20 dB. Sedangkan parameter ODG, nilai ODG yang diharapkan dari audio ter*watermark* hasil penyisipan berada pada sekitar nilai -1 atau lebih. Jenis file audio *pop* dan EDM saat Δ 1/2, nilai ODG sudah mencapai lebih dari -1, kemudian dilanjutkan jenis audio *classic* pada saat Δ 1/16, 2 jenis audio lainnya yaitu *jazz* dan *speech* nilai Δ yang digunakan pada sistem untuk memperoleh nilai ODG lebih dari -1 ketika Δ 1/32.



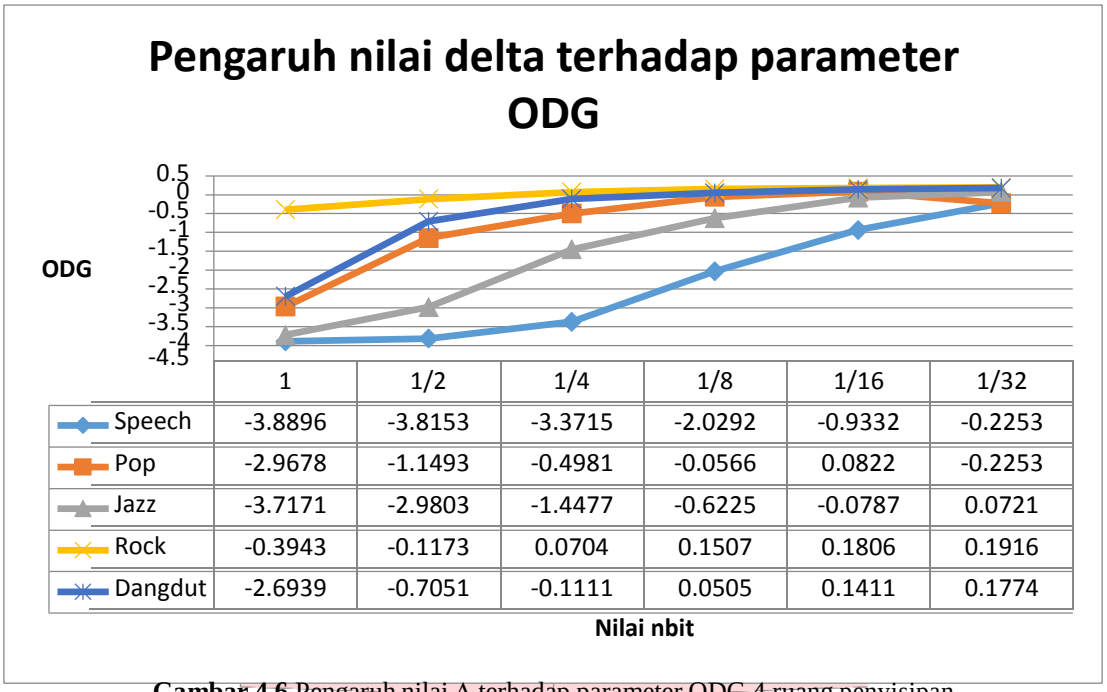
Gambar 4.3 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter SNR 2 ruang penyisipan



Gambar 4.4 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter SNR 2 ruang penyisipan



Gambar 4.5 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter ODG 2 ruang penyisipan



	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
Speech	-3.8896	-3.8153	-3.3715	-2.0292	-0.9332	-0.2253
Pop	-2.9678	-1.1493	-0.4981	-0.0566	0.0822	-0.2253
Jazz	-3.7171	-2.9803	-1.4477	-0.6225	-0.0787	0.0721
Rock	-0.3943	-0.1173	0.0704	0.1507	0.1806	0.1916
Dangdut	-2.6939	-0.7051	-0.1111	0.0505	0.1411	0.1774

Gambar 4.6 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter ODG 4 ruang penyisipan

4.3. *Mean Opinion Score*

Penilaian subjektif terhadap audio ter*watermark* dapat menggunakan metode *Mean Opinion Score* (MOS). MOS dilakukan dengan cara meminta pendapat dari responden untuk membandingkan audio asli atau sebelum disisipi data *watermark* dengan audio ter*watermark* atau yang sudah dilakukan proses penyisipan. Responden yang dimintai pendapat guna mendapatkan nilai MOS ini sebanyak 10 orang. Ada 5 jenis file audio yang digunakan dalam melakukan penilaian subjektif terhadap audio ter*watermark* ini. Namun setiap jenis file audio dilakukan penilaian MOS berdasarkan nilai Δ yang digunakan. Pada penilaian MOS ini Δ yang digunakan adalah 1, 1/4, dan 1/16. Hasil penilaian subjektif dapat dilihat pada Tabel 4-1 di bawah.

Tabel 4-1 Penilaian MOS

Pengaruh nilai nbit terhadap MOS			
	Nilai delta		
Audio	1	1/4	1/16
Speech	2.5	3.5	4.7
Pop	4.2	4.5	4.7
Jazz	2.4	3.6	4.6
Dangdut	4	4.5	4.9
Rock	1.7	4	4.7
Rata-rata	2.96	4.02	4.72

4.4. Analisis ketahanan audio watermarking terhadap pengolahan sinyal digital

Pengujian ketahanan sistem *blind audio watermarking* yang telah dibuat dilakukan hanya terhadap jenis file audio *speech* yang telah disisipi citra hitam putih dengan variabel Δ bernilai 1/4 dan 1/8. Sebelum melakukan proses ekstraksi, audio ter*watermark* yang dipilih diberikan beberapa serangan terlebih dahulu. Kemudian diukur nilai BER dari data *watermark* hasil ekstraksi audio tersebut. Serangan yang diujikan pada sistem yaitu LPF, *Noise Addition*, *Linier Speed Change*, *MP3 Compression*, dan *MP4 Compression*.

Tabel 4-2 Serangan *Noise Addition*

Gain	BER (%)	
	delta 1/4	delta 1/8
1/10	45.5078	47.7539
1/20	20.2148	46.9727
1/30	3.5156	29.9805
1/40	0.9766	18.9453
1/50	0	12.3047
1/100	0	0

Tabel 4-3 Serangan LPF

Frekensi *cut-off* (kHz))c	BER (%)	
	delta 1/4	delta 1/8
6000	21.875	31.9336
9000	16.6992	23.7305
12000	8.6914	13.9648
15000	3.2227	4.7852
18000	0.1953	0.6836
19000	0	0

Tabel 4-4 Serangan *Linier Speed Change*

Persentase %	BER (%)	
	delta 1/4	delta 1/8
7	0	0
8	0	0
9	0	0

Tabel 4-5 Serangan *MP3 Compression*

Bit Rate	BER (%)	
	delta 1/4	delta 1/8
32k	21.875	36.3281
64k	21.875	36.3281
128k	21.875	36.3281

Table 4-6 Serangan *MP4 Compression*

Bit Rate	BER (%)	
	delta 1/4	delta 1/8
32k	58.0078	56.0547
64k	58.0078	56.0547
128k	58.0078	56.0547

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pengujian sistem, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Implemetasi metode QR Decomposition pada *blind audio watermarking* dengan kuantisasi QIM yang dibuat dapat berjalan dengan baik. Sistem dapat mencapai nilai BER 0% dan SNR diatas 20 dB, dan ODG lebih dari -1.
2. Variabel Δ dalam system yang dibuat sebagai penentu hasil kuantisasi QIM pada proses penyisispan dan berpengaruh pada parameter SNR dan ODG dari audio yang telah terwatermark. Variabel Δ lebih berpengaruh secara langsung pada SNR dan ODG tetapi pada analisis BER pergantin nilai variabel akan menunjukan BER 0 % pada setiap jenis audio yang diujikan.
3. Pada parameter SNR dan ODG, semakin kecil nilai Δ maka parameter SNR dan ODG akan semakin naik karena saat nilai Δ kecil maka hasil kuantisasi sinyal audio akan lebih baik dalam merepresentasikan bit-bit watermark yang disisipkan.
4. Sistem *blind audio watermarking* yang dibuat sangat tahan terhadap serangan *linier speed change* menunjukan BER 0 di level serangan 32k, 64k,dan 128k. Pada serangan *Noise Addition* BER 0 ketika parameter gain 1/100. Serangan LPF, sistem yang dibuat tahan hanya di level frekuensi *cut-off* 19000. Untuk serangan *MP3 Compression dan MP4 Compression* tidak dapat memberikan nilai BER 0%, sehingga sistem tidak tahan terhadapa serangan tersebut.

5.2. Saran

Berikut saran yang bisa dilakukan untuk mengembangkan sistem ini.

1. Strategi penyisipan data *watermark* bisa dilakukan dengan cara lain seperti misalnya LSB *coding* ataupun *phase coding*.
2. Mengkombinasikan metode *QR Decomposition* dengan metode lainnya seperti DWT dan DCT dalam mencari tempat penyisipan bit.
3. Pada metode *QR Decomposition* dapat dilakukan penambahan filter pada proses penyisipan .

Daftar Pustaka:

[1] Petrovic, R. 2001. "*Audio signal watermarking based on replica modulation*", 5th International Conference TELSIKS'01, 227-234.

[2] Hargtung, F., Kutter, M. 1998. "*Multimedia watermarking techniques*", Proc. IEEE, Vol. 86, 1079-1107.

[3] Yong-mei, Cai. 2013. "*An Audio Blind Watermarking Scheme Based on DWT-SVD*". Journal of Softwate.

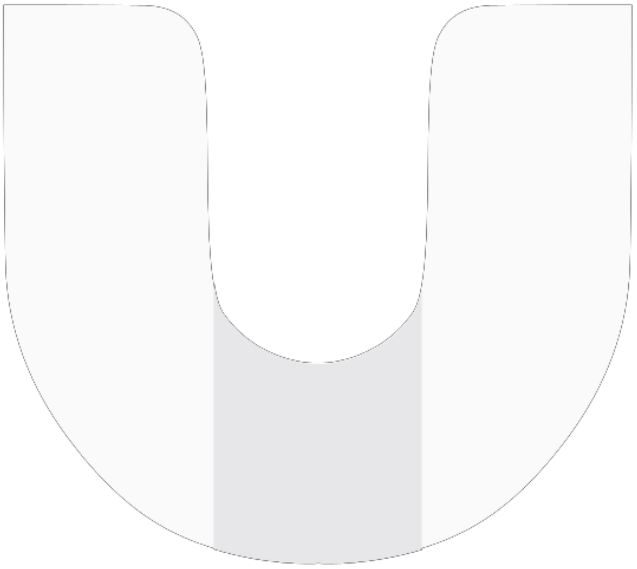
[4] Julius, A. 2012. "*Analisis Watermark pada File Audio Berbasis Metode Phase Coding".* IT Telkom Bandung.

[5] Chauhan, S., Rizvi, S. 2013. "*A Survey: Digital Audio Watermarking Techniques and Applications*", 4th International Conference on Computer and Communication Technologies, 185-192.

[6] Gunawan,Ibnu, Kartika Gunadi,2005,"*Pembuatan Perangkat Lunak WAVE Manipulation Untuk Memanipulasi File Wav*", Fakultas Teknologi Industri,Jurusan Teknik Imformatika,Universitas Kristen Petra.

[7] Parahita, M. 2009. "*Perancangan dan Implementasi Blind Watermarking Pada Citra Digital Berbasis Transformasi Wavelet Diskrit Menggunakan Metode SVD*". IT Telkom Bandung.

[8] Chen, Brian, and Gregory Wornell. 2001."*Quantization Index Modulation Methods for Digital Watermarking and Information Embedding of Multimedia"*. Journal of VLSI Signal Processing 27, 7-33.

[9] Minh, Nhut, and Masashi Unoki. 2015. "*Robust and Reliable Audio Watermarking Based On Phase Coding"*. IEEE.

[10] Kumar, Pranab and Tetsuya Shimamura.2014."*Advances in Audio Watermarking Based on Singular Value Decomposition*". SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering.