

# Modulasi M-ary Dan Dekomposisi QR Pada Audio *Watermarking* Stereo Berbasiskan SWT Dengan CS

Dian Kurnia Imanda<sup>1</sup>, Gelar Budiman<sup>2</sup>, Sofia Saidah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia, (022) 7564108

diankurniaimanda@gmail.com<sup>1</sup>, gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>,

sofiasaidah@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

**Abstrak** – Makalah ini mempresentasikan metode analisis modulasi M-ary dan dekomposisi QR pada audio watermarking stereo berdasarkan SWT (Stationary Wavelet Transform) dengan CS (Compressive Sampling). Dalam makalah ini, Stationary Wavelet Transform (SWT) digunakan untuk transformasi dan memilih sub-band frekuensi pada host audio dan watermark. Frekuensi sub-band yang dipilih akan didekomposisi dengan metode QR, yang terdiri dari matriks Q dan matriks R. Diambil baris pertama matriks R dalam proses embedding karena hanya matriks R yang memiliki nilai. Modulasi M-ary digunakan untuk meningkatkan kapasitas persembunyian data sehingga lebih efisien. Untuk menyisipkan banyak watermark maka digunakan metode Compressive Sampling untuk memampatkan ukuran watermark. Hasilnya menunjukkan kualitas audio watermarking yang baik dengan watermarking berkapasitas tinggi dan ketahanan yang kuat terhadap pemrosesan sinyal.

**Kata kunci:** Audio Watermarking, CS, M-ary, QR, SWT

## 1. Pendahuluan

Di era digital ini, setiap orang bisa dengan mudah mendapatkan informasi dengan bantuan internet. Misalnya pada data gambar atau suara digital yang bisa dengan mudah diubah atau diakuisisi oleh orang lain. Banyak pemilik data digital seperti gambar atau suara tidak ingin karya nya diubah atau dikenali oleh orang lain. Hal ini menyebabkan hak kepemilikan suatu informasi tidak lagi terjamin. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk memverifikasi dan autentikasi digital guna melindungi hak cipta[1]. *Watermarking* adalah salah satu cara untuk melindungi hak kepemilikan. Informasi spesifik apa pun yang dimasukkan ke dalam konten disebut watermark, dan konten sebagai tempat penyematan informasi disebut *host*[2]. Umumnya, *watermark* tertanam sedemikian rupa sehingga manusia tidak dapat merasakan *watermark* tersebut. *Watermarking* memiliki beberapa kriteria seperti *watermark* harus tidak terdeteksi oleh pendengar, algoritma yang digunakan tidak boleh dirahasiakan, dan *watermark* tidak boleh berubah apabila data berubah seperti diresampling, dll. Audio *watermarking* adalah tipe *watermark* digital dimana *watermark* disisipkan pada sinyal audio yang umumnya untuk mengidentifikasi keamanan hak cipta pada file audio[3]. Data yang disisipkan harus dapat diekstraksi atau dideteksi sebagai informasi. Tiga proses dasar *watermarking* yaitu penyisipan *watermark*, deteksi *watermark*, dan ekstraksi *watermark*[4]. Audio *watermarking* memiliki parameter dan kriteria yang harus dicapai. Parameter audio *watermarking* BER, SNR, MOS, dan ODG. Karakteristik audio *watermarking* seperti ketahanan, keamanan, *imperceptibility*, dan kapasitas. Ketahanan adalah parameter yang menampilkan bagaimana *watermark* dapat bertahan setelah mengalami pemrosesan data sinyal. Keamanan dari informasi yang disisipkan kepada media harus tinggi, sehingga pihak yang berkepentingan dapat mengetahui informasi tersebut. *Imperceptibility* atau penyisipan informasi tidak dapat dipersepsikan agar memiliki

nilai informasi yang tinggi. Hasil dari *watermarking* akan baik ketika penyisipan informasi tidak mempengaruhi kualitas dari informasi asli. Data yang disisipkan pada sistem audio *watermarking* harus memiliki kapasitas yang besar.

Terdapat beberapa penelitian terkait mengenai audio *watermarking* menggunakan metode SWT, dekomposisi QR, modulasi M-ary, dan *Compressive Sampling*. Pada makalah[5] daya tahan yang tinggi dan *watermark* yang tak terdengar dapat tercapai dengan menanamkan koefisien SWT. SWT termasuk shift invariant dan dapat membantu mencegah kemungkinan bagian ekstraksi akan sedikit bergeser akibat berbagai serangan. Kelemahan pada makalah[5] bahwa audio bergeser sebesar 50%. Pada makalah[6] menggunakan teknik *watermark* berbasis QR. Ini memberikan kemungkinan untuk memasukkan sejumlah informasi dan melacak sejumlah besar pengguna menggunakan waktu penyisipan yang sedikit tanpa mengubah kualitas media. Pada makalah[7] QR dekomposisi memiliki kinerja metode yang menunjukkan ketahanan yang tinggi terhadap serangan termasuk penambahan *noise*, *cropping*, *resampling*, *requantization*, dan kompresi MP3. Uji kualitas audio menunjukkan tingginya *imperceptibility*. Pada makalah[8] untuk meningkatkan kapasitas data tersembunyi berdasarkan *Spread Spectrum*, teknik yang efisien telah diterapkan, yaitu modulasi M-ary. Meski kapasitas data bisa meningkat, M-ary *Spread Spectrum* memiliki sejumlah gangguan yang merupakan isu penting dalam penyembunyian Spread-Spectrum berbasis data. Pada makalah[8] tujuan utama proses modulasi sinyal adalah mengubah bentuk atau frekuensi sinyal agar bekerja dengan baik saat ditransmisikan melalui media. Pada makalah[9] teknik *watermarking* dilakukan dengan menerapkan pembagian frekuensi multiplexing menggunakan modulasi M-ary berdasarkan fasa. Teknik tersebut menunjukkan *imperceptibility* yang bagus serta ketahanan yang baik terhadap beberapa serangan. Pada makalah[10] Code Phase Shift Keying (CPSK) adalah modulasi M-ary yang efisien yang dapat diterapkan untuk menyebarkan *watermarking* berbasis spectrum (SS) untuk memperbaiki muatan *watermark* yang lebih tinggi dan *watermarking* yang kuat. Pada makalah[11], L1-minimisasi digunakan untuk memulihkan *watermark* dan *host* sinyal mendekati sempurna dalam kondisi bersih.

Makalah ini menyajikan metode analisis modulasi M-ary dan dekomposisi QR pada stereo *watermarking* audio berdasarkan *Stationary Wavelet Transform* (SWT) dengan *Compressive Sampling*. Dalam makalah ini, kami menggunakan modulasi M-ary untuk meningkatkan kapasitas persembunyian data sehingga lebih efisien. Sebelum *watermark* dimasukkan, kami menggunakan metode QR untuk menguraikan sinyal audio. Dekomposisi QR adalah metode penguraian matriks QR menjadi matriks ortogonal dan matriks segitiga atas. Kami menggunakan baris pertama dari matriks R dalam proses embedding *watermark* karena hanya matriks R yang memiliki nilai. *Stationary Wavelet Transform* (SWT) adalah transformasi yang kami gunakan untuk memilih frekuensi sub-band pada *host* audio dan *watermark*. Frekuensi yang kami pilih untuk *host* audio adalah frekuensi rendah dan frekuensi yang kami pilih untuk *watermark* adalah frekuensi tinggi. Metode transformasi SWT dipilih karena dapat membantu mencegah kemungkinan lokasi yang diekstraksi bergeser karena berbagai serangan pemrosesan sinyal. Untuk menyisipkan banyak *watermark* maka kita menggunakan metode *Compressive Sampling* untuk memampatkan ukuran *watermark*.

Struktur makalah ini meliputi: bagian 2 memberikan penjelasan tentang metode penelitian, baik metode embedding ekstraksi maupun konsep teoritis tentang SWT, modulasi M-ary, QR dekomposisi, dan CS. Bagian 3 memberikan hasil penelitian beserta analisis. Bagian 4 memberikan kesimpulan dari makalah ini.

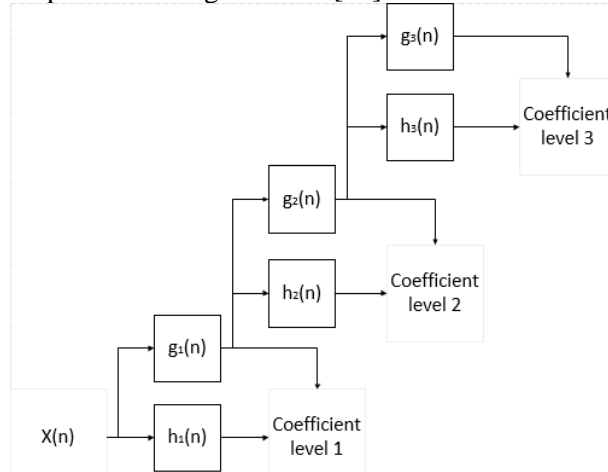
## 2. Metode

Pada bagian ini akan dijelaskan jenis metode yang digunakan pada makalah ini, seperti metode penelitian yang digunakan, dan metode analisis data.

2.1 Metode Penelitian

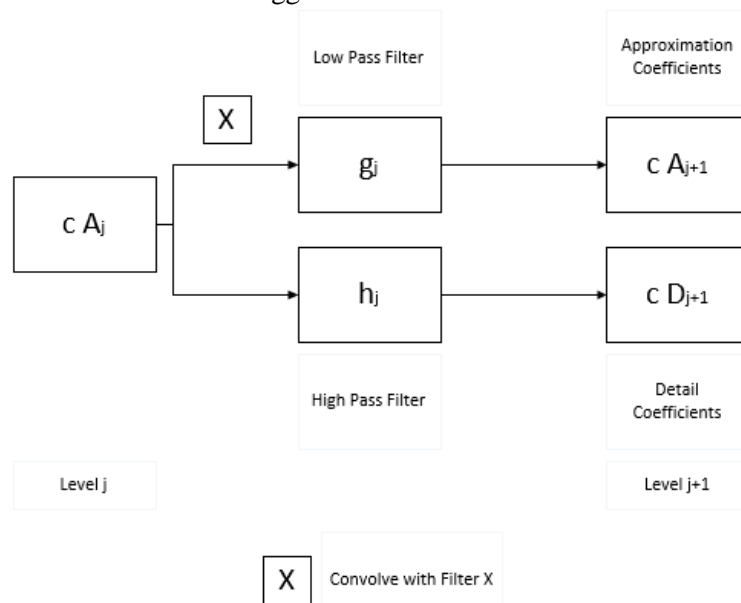
2.1.1 Stationary Wavelet Transform (SWT)

Stationary Wavelet Transform (SWT) adalah algoritma yang dirancang untuk mengatasi kekurangan DWT[12]. Translasi Invarian dicapai dengan menghapus sample atas dan bawah DWT dan menambah filter atas dengan factor koefisien sampling  $2^{j-1}$  pada tingkat algoritma  $j^{th}$  [5]. Output dari setiap level SWT mengandung jumlah sampel yang sama dengan input. Sehingga untuk dekomposisi level N terdapat redundansi pada koefisien wallet N. Diagram blok berikut menggambarkan implementasi digital SWT [12].

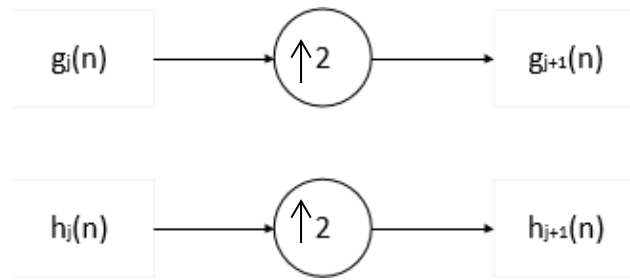


Gambar 2.1 Filter SWT 3 tingkat [12]

G dan h merupakan sumber *image*. SWT diaplikasikan terlebih dahulu pada *image* asli untuk mendapatkan citra informasi yang baik pada level 1 dan level 2[13]. Fungsi SWT yaitu untuk memilih frekuensi penyisipan yang akan dilakukan, sehingga kita dapat memilih untuk memasukkan frekuensi tinggi atau frekuensi rendah dari *host* audio. SWT bekerja pada domain waktu. Output yang diambil dari SWT hanya nilai real. Perbedaan antara SWT dan DWT adalah output SWT sama dengan *host* audio aslinya, sedangkan DWT outputnya dibagi dua. Hasil SWT pada *host* audio yaitu dengan memilih frekuensi rendah, sedangkan hasil SWT pada *watermark* dengan memilih frekuensi tinggi.



Gambar 2. 2 Langkah Dekomposisi SWT Satu Dimensi [12]



Gambar 2. 3 Pengambilan Sampel Dekomposisi SWT Satu Dimensi [12]

Sinyal SWT dapat didekomposisi seperti gambar 2.2 diatas [5]. Sinyal yang diberikan dapat didekomposisi menjadi dua koefisien yaitu koefisien approxikasi  $CA_{j+1}$  dan koefisien detail  $CD_{j+1}$ . Dengan menggabungkan  $CA_j$  dengan filter LPF  $G_j$  untuk approxikasi, dan dengan filter HPF  $H_j$  untuk detail seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Filter  $G_j$  dan  $H_j$  disampling setiap step dekomposisi, seperti yang ditunjukkan gambar 2.3. ketahanan dan *inaudibility* yang tinggi dapat dicapai dengan menanamkan *watermark* ke dalam koefisien approxikasi pada domain SWT[5].

Koefisien approxikasi SWT diperoleh melalui persamaan [5] :

$$\hat{c}_{j+1,k} = \left[ f(x), \frac{1}{2^{(j+1)/2}} \phi \left( \frac{x-k}{2^{j+1}} \right) \right] = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} h(l) \hat{c}_{j,k+2jl} \tag{1}$$

Dimana  $c_{j,k}$  merupakan koefisien approxikasi,  $f(x)$  adalah sinyal asli, dan  $\phi$  adalah kondisi dua skala.

Koefisien detail SWT dapat diperoleh melalui persamaan [5]:

$$\hat{d}_{j+1,k} = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} h(l) \hat{d}_{j,k+2jl} \tag{2}$$

Dimana  $d_{j,k}$  adalah koefisien detail, dan  $h(l)$  adalah respon impuls orthogonal LPF dan HPF. Inverse SWT dilakukan untuk mengembalikan *host* audio yang terurai dengan cara menggabungkan koefisien approxikasi dan koefisien detail. Berikut rumus untuk inverse SWT:

$$\hat{x} = \hat{c}_{j+1,k} + \hat{d}_{j+1,k} = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} h(l) \hat{c}_{j,k+2jl} + \sum_{l=-\infty}^{+\infty} h(l) \hat{d}_{j,k+2jl} \tag{3}$$

**2.1.2 QR Dekomposisi**

Pada makalah ini, metode QR dekomposisi merupakan strategi perbaikan dengan menelusuri dua tahap. Kode QR memiliki kemampuan untuk mendukung informasi berukuran besar dengan mengurangi ruang dimana akan memerlukan sedikit waktu dan perhitungan penyisipan yang tidak rumit. Matriks dekomposisi QR mengacu pada matriks orthogonal dan matriks segitiga.

Pada dekomposisi QR beberapa matriks direpresentasikan menjadi [6] :

$$A = QR \tag{4}$$

Dimana  $A$  merupakan dekomposisi  $A$ ,  $Q$  merupakan matriks  $m \times n$  dengan kolom orthonormal, dan  $R$  adalah matriks segitiga atas  $n \times n$ .

Kolom  $Q$  dibuat dari kolom  $A$  melalui proses yang disebut Gram-Schmidt. Sehingga matriks  $R$  adalah [6]:

$$R = \begin{bmatrix} (a_{1,q_1}) & (a_{2,q_1}) & \cdots & (a_{n,q_1}) \\ \vdots & (a_{2,q_2}) & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & (a_{n,q_n}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Kolom Q yang baru untuk dimensi ruang vector dibangun dari rata-rata kolom A dan proses Gram-Schmidt, kemudian proyeksi kolom A ke dalam basis vector baru menghasilkan elemen R.

Ketika kolom A memiliki korelasi dengan yang lain, maka nilai absolut elemen dari baris pertama memiliki probabilitas lebih besar daripada nilai absolut baris lain. Hanya baris pertama dari kolom R yang memiliki nilai dan yang lainnya mendekati 0. Oleh karena itu, jika memilih baris lain untuk menyematkan *watermark* maka akan ada persepsi virtual yang signifikan yang tidak sesuai dengan image *watermark*. Sehingga dalam metode ini yang digunakan adalah baris pertama dari matriks R untuk penyisipan *watermark*.

### 2.1.3 Modulasi M-ary

Modulasi digital adalah proses perubahan karakteristik dan sinyal sedemikian rupa sehingga menghasilkan bentuk lain yang memiliki karakteristik bit informasi yang dikandungnya[8]. Modulasi *multicarrier* merupakan teknik untuk memodulasi sinyal baseband menjadi beberapa subcarrier pada frekuensi yang berbeda dalam waktu bersamaan[14]. Tujuan modulasi adalah untuk mengubah bentuk sinyal agar bisa berjalan dengan baik saat ditransmisikan.

*Spread Spectrum* (SS) merupakan sebuah metode komunikasi dimana semua sinyal akan disebar di seluruh frekuensi yang tersedia[15]. Kode yang digunakan pada *Spread Spectrum* memiliki sifat acak maka disebut *pseudorandom noise* (PN code)[8]. Untuk meningkatkan kapasitas dalam menyembunyikan data, berdasarkan SS, Beberapa teknik SS lebih efisien contoh nya M-ary. Modulasi M-ary digunakan pada sebuah ekstensi populer untuk sinyal *binary*, yang biasanya menghasilkan peningkatan performa yang signifikan. Pada metode M-ary, setiap symbol  $\log_2 M$ -bit dipetakan ke salah satu orthogonal M. Maka kapasitasnya dapat ditingkatkan dengan  $\log_{2M}$  kali dan performansi yang optimal dapat dilakukan dengan meningkatkan M. Pada umumnya, modulasi M-ary menghasilkan performa yang signifikan untuk nilai  $M > 4$  dan peningkatan performa tidak akan menurunkan *noise*[16]. Namun penerima membutuhkan korelasi M-ary untuk memecahkan kode symbol M-ary, menghasilkan kompleksitas *decoding* yang tinggi saat menggunakan M yang besar untuk mendapatkan muatan yang besar[17].

Phase Shift Keying (PSK) adalah teknik modulasi digital dengan parameter sinyal carrier yang digunakan adalah fasa. Selama proses transmisi, frekuensi dari sinyal carrier akan tetap ada, sehingga bit "0" dan "1" diwakili oleh nilai fasa sinyal. Umumnya modulasi PSK disebut sebagai MPSK (M-ary Phase Shift Keying), dengan M menunjukkan jumlah level digital. Nilai M mengikuti aturan  $2^n$  dengan  $n = 1, 2, 3, \dots$  dan n merepresentasikan jumlah bit[8].

Berikut persamaan *watermarking* yang telah dimodulasi dengan M-ary:

$$Y = X - \alpha x W \quad (6)$$

Dimana Y adalah koefisien approximasi *watermark*, X adalah koefisien approximasi pada dekomposisi SWT level 3,  $\alpha$  adalah parameter untuk mengatur penyisipan *watermark*, dan W adalah *watermark* acak dari distribusi Gaussian.

Untuk deteksi *watermark*, korelasi linier digunakan untuk mendeteksi keberadaan watermark pada koefisien approximasi yang terdekomposisi dan didefinisikan sebagai [4]:

$$C_{linear} = \frac{1}{sp} \sum w \cdot yp \quad (7)$$

Dimana  $C_{linear}$  adalah korelasi linear,  $S$  merupakan dekomposisi koefisien approxikasi pada tiap segmen yang diekstraksi,  $p$  merupakan salah satu segmen yang diekstraksi,  $w$  merupakan urutan data *watermark* yang dihasilkan menggunakan sumber yang sama yang digunakan dalam proses embedding pada *watermark*, dan  $y$  adalah koefisien approxikasi.

#### 2.1.4 Compressive Sampling (CS)

*Compressive Sampling* adalah metode yang berfungsi untuk mengkompres ukuran data. Pada makalah ini, *Compressive Sampling* digunakan untuk mengkompres *watermark* digunakan agar dapat memasukkan lebih banyak informasi. Konsep utama yang mendasari *Compressive Sampling* adalah simulasi numerik dengan menggunakan data noise yang menunjukkan bahwa *Compressive Sampling* sangat stabil dan berkinerja baik pada lingkungan yang bising[18].

Teknik pengambilan sampel didasarkan pada teorema Nyquist-Shanon yang menyatakan bahwa sinyal analog harus dijadikan sampel dengan frekuensi sampling paling sedikit dua kali frekuensi tertinggi dari sinyal sampel yang telah direkonstruksi secara komplit. *Compressive Sampling* dikenal juga dengan *Compressive Sensing*.

Sinyal dapat direpresentasikan dalam notasi matriks sebagai[18]:

$$X = \varphi x \quad (8)$$

Dimana  $x$  adalah vector *sparse*, merepresentasikan proyeksi koefisien  $X$  dalam  $\varphi$ . Pengukuran vector ditulis dalam  $x$  diindikasikan oleh:

$$Y = \theta x \quad (9)$$

Dimana  $\theta = \varphi$  merupakan rekonstruksi matriks  $m \times n$ ,  $x$  merupakan sinyal sampling, dan  $Y$  merupakan vector kolom  $M \times 1$ .

Poin penting lainnya untuk *Compressive Sampling* adalah pengukuran matriks dapat menunjukkan informasi penting yang dibutuhkan. Hal ini diperiksa dengan rekonstruksi L1-minimalisasi. Berikut rumus untuk rekonstruksi CS untuk model L1 minimalisasi pada persamaan (10) dan terdapat solusi yang lebih optimal untuk menemukan stabilitas pada sistem *Compressive Sampling* L1-minimalisasi pada persamaan (11):

$$\min \{ |x|_1 : |A_x - b|_2 \leq \gamma \} \quad (10)$$

$$|\hat{x} * - \hat{x}|_2 \leq C_k^{\frac{1}{2}} |\hat{x} - \hat{x}(k)|_1 \quad (11)$$

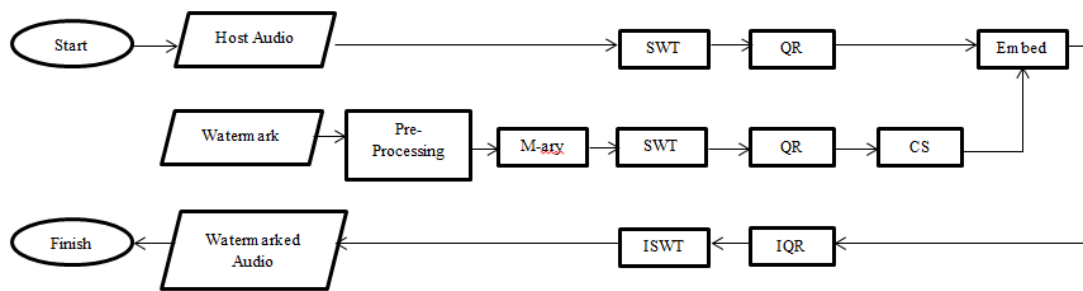
Untuk  $b = A_{\hat{x}}$ , dimana  $\hat{x}$  adalah nilai estimasi dari *k-sparse*. Sehingga satu-satunya komponen signifikan  $\hat{x}(k)$  dapat disebut dengan nilai  $k$  untuk approxikasi terbaik  $\hat{x}$  yang diperoleh dengan menetapkan komponen  $n - k$  tidak signifikan dari  $\hat{x}$  terhadap nol.

## 2.2 Metode Analisis Data

Metode analisis yang digunakan yaitu dengan menghitung nilai BER, SNR, ODG, dan MOS. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka harus dilakukan proses embedding dan proses ekstraksi. SNR, ODG, dan MOS dilakukan pada proses embedding, sedangkan BER dilakukan pada proses ekstraksi.

### 2.2.1 Proses Embedding

Proses embedding adalah proses menyisipkan *watermark* pada *host* audio.



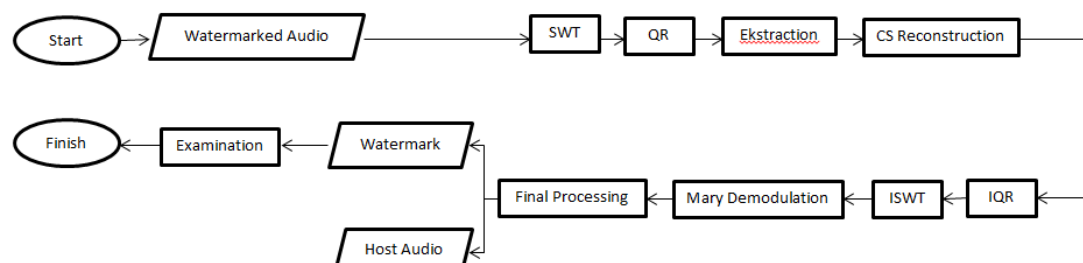
Gambar 1. Diagram alir proses embedding

Berikut adalah tahap embedding:

- 1) Baca file *host* audio.
- 2) Dekomposisi *host* audio dengan N-level dekomposisi contoh level 3 dekomposisi sub-band menggunakan SWT. *Watermark* disisipkan pada sub-band terpilih. Hasil dari proses ini yaitu koefisien approxikasi yang didapat dari persamaan (1).
- 3) Komponen approxikasi  $CA_{j+1}$  dipetakan dalam matriks  $M \times M$ .
- 4) Dekomposisi QR diterapkan pada  $CA_{j+1}$ , dengan konversi koefisien domain wavelet terpilih menjadi matriks kotak. Matriks R pada QR dekomposisi digunakan untuk penyisipan *watermark*, yaitu pada baris pertama matriks R karena hanya baris pertama matriks R yang memiliki nilai.
- 5) Konversi *watermark* dari dua dimensi menjadi satu dimensi dengan pre-processing.
- 6) Dekomposisi bit *watermark* menggunakan SWT lalu pilih sub-band frekuensi dengan frekuensi tinggi. Hasil dari proses ini yaitu koefisien detail yang didapat dari persamaan (2)
- 7) Koefisien detail  $CD_{j+1}$ , akan disisipkan *watermark* setelah dimodulasi dengan M-ary.
- 8) Dekomposisi QR juga diterapkan pada *watermark*, dan menghasilkan baris pertama matriks R untuk penyisipan seperti persamaan (4) dan (5).
- 9) *Watermark* yang telah dimodulasi M-ary dengan persamaan (6) akan disisipkan menggunakan algoritma CS menggunakan persamaan (8) dan (9).
- 10) Lakukan invers QR untuk Perform IQR to menggabungkan kembali matriks *host* audio.
- 11) Lakukan invers SWT pada level 3 untuk menggabungkan kembali koefisien approxikasi dan koefisien detail dengan persamaan (3).
- 12) Hitung nilai SNR dengan persamaan (12), ODG pada tabel 1, dan MOS pada tabel 2.

### 2.2.2 Proses Ekstraksi

Setelah proses penyisipan selesai, maka dilakukan serangan pengolah sinyal. Kemudian dilakukan proses ekstraksi untuk mengambil kembali *watermark*.



Gambar 2. Diagram alir proses ekstraksi

Berikut adalah tahap ekstraksi:

- 1) Baca file audio yang telah diberi *watermark*.
- 2) Dekomposisi *host* audio dengan N-level dekomposisi menggunakan SWT. Hasil dari proses ini disebut koefisien approximasi.
- 3) Untuk mendeteksi *watermark* dari dekomposisi koefisien approximasi dapat menggunakan persamaan (7).
- 4) Lakukan dekomposisi QR untuk mendekomposisi matriks dari audio yang telah diberikan *watermark* dengan persamaan (5).
- 5) Ekstraksi dilakukan dengan merekonstruksi *Compressive Sampling* dengan L1-minimisasi dalam persamaan (10) dan (11).
- 6) Lakukan invers QR dan invers SWT untuk mengembalikan informasi awal.
- 7) Demodulasi M-ary digunakan untuk mengekstraksi *watermark* yang disisipkan. Proses terakhir akan mendapatkan *watermark* dan *host* audio.
- 8) Hitung nilai BER dengan persamaan (13).

### 3. Parameter Kinerja

Dengan metode modulasi M-ary, dekomposisi QR, transformasi SWT, dan *Compressive Sampling*, diharapkan kualitas audio *watermarking* yang baik dengan nilai SNR  $\geq 20$  dB, BER mendekati 0, ODG  $\geq -2$ , dan MOS  $\geq 4$ , dan kapasitas *watermarking* yang tinggi, serta ketahanan *watermarking* yang kuat terhadap serangan pengolahan sinyal seperti filter LPF, *stereo to mono*, penambahan *noise*, resampling, kompresi MP3, dan *echo*.

#### 3.1. Persamaan

##### 3.1.1 SNR

SNR merupakan nilai yang menyatakan perbandingan tingkat *noise* dengan *audio* yang disisipi informasi. Semakin rendah nilai SNR maka semakin jelas keberadaan informasi yang disembunyikan, begitu sebaliknya. Maka semakin tinggi nilai sebuah SNR maka kualitas *audio watermark* semakin bagus. Nilai SNR dapat dihitung dengan persamaan:

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=0}^{N-1} S^2(n)}{\sum_{n=0}^{N-1} (\hat{S}(n) - S(n))^2} \quad (12)$$

N= panjang *audio*

$S(n)$  = sampel sinyal *audio* asli

$\hat{S}(n)$  = sampel sinyal *audio* ter*watermark*

##### 3.1.2 BER

BER yaitu jumlah data *watermark* yang dapat disisipkan dalam berkas *audio* asli. Tingkat kebaikan data dapat dihitung dengan *bit error rate* dari *watermark* yang dideteksi di berkas *audio* asli. BER digunakan untuk menghitung persentase bit *watermark* yang dideteksi. Semakin mendekati nilai 0 maka jumlah error yang dihasilkan semakin sedikit. Pengukuran nilai BER didapat melalui persamaan:

$$BER = \frac{\text{jumlah karakter yang salah}}{\text{jumlah karakter total}} \times 100\% \quad (13)$$

### 3.2. Tabel

Tabel 1. *Objective different grade*

Skala ODG/PEAQ	Kualitas Audio	Keterangan
0	Baik sekali	Tidak terdengar
-1	Baik	Terdengar tapi tidak mengganggu
-2	Cukup	Sedikit mengganggu
-3	Buruk	Mengganggu
-4	Sangat buruk	Sangat mengganggu



Tabel 2. *Mean opinion score*

Nilai	Kualitas <i>Audio</i>	Keterangan
1	Buruk	<i>Watermark</i> mengganggu dan <i>audio</i> tidak dapat didengar
2	Kurang	<i>Watermark</i> mengganggu tapi <i>audio</i> bisa didengar
3	Cukup	<i>Watermark</i> terasa dan sedikit mengganggu
4	Baik	<i>Watermark</i> terasa sedikit tapi tidak mengganggu
5	Sangat Baik	<i>Watermark</i> tidak terasa

#### 4. Kesimpulan

Dalam makalah ini telah dijelaskan bahwa *audio watermarking* terbagi dalam 3 proses, yaitu proses embedding, pemberian serangan, dan proses ekstraksi. Kualitas audio diukur dengan membandingkan audio sebelum diserang dan audio setelah diserang. Hasil kualitas *watermarking* audio yang diharapkan juga disebutkan di atas.

#### Daftar Pustaka

- [1] I. Iwut, G. Budiman, and L. Novamizanti, "Optimization of discrete cosine transform-based image watermarking by genetics algorithm," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 91–103, 2016.
- [2] G. Budiman, L. Novamizanti, and I. Iwut, "Genetics algorithm optimization of DWT-DCT based image Watermarking," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 755, p. 11001, 2016.
- [3] Z. Fitri, "Audio Digital Watermarking Untuk Melindungi Data Multimedia," *Techsi*, vol. 6, no. 1, pp. 190–208, 2015.
- [4] Nuryani, "Digital Right Management ( DRM ) dan Audio Watermarking untuk Perlindungan Hak Cipta pada Konten Musik Digital," *J. Inform. Sist. Kendali, dan Komput.*, vol. 1, pp. 1–6, 2007.
- [5] C. M. Pun and X. C. Yuan, "Robust segments detector for de-synchronization resilient audio watermarking," *IEEE Trans. Audio, Speech Lang. Process.*, vol. 21, no. 11, pp. 2412–2424, 2013.
- [6] F. Chaabane, M. Charfeddine, W. Puech, and C. Ben, "A QR-CODE BASED AUDIO WATERMARKING TECHNIQUE FOR TRACING TRAITORS REGIM-Lab .: REsearch Groups in Intelligent Machines , University of Sfax , ENIS ," pp. 51–55, 2015.
- [7] P. K. Dhar, "A blind audio watermarking method based on lifting wavelet transform and QR decomposition," *8th Int. Conf. Electr. Comput. Eng. Adv. Technol. a Better Tomorrow, ICECE 2014*, pp. 136–139, 2015.
- [8] A. Muliensyahputra, B. H. Akbar, and G. Budiman, "Perancangan dan Analisis Audio Watermarking Berbasis Teknik Modulasi Digital dengan Pengkodean Konvolusi," *Semin. Nas. Inov. Dan Apl. Teknol. Di Ind. ISSN 2085-4218*, pp. 1–6, 2017.
- [9] A. Takahashi, R. Nishimura, and Y. Suzuki, "Multiple watermarks for stereo audio signals using phase-modulation techniques," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 53, no. 2 II, pp. 806–815, 2005.
- [10] P. Zhang, Y. Li, Q. Hao, J. Jiang, and X. Chen, "High-payload spread spectrum watermarking based on informed code phase shift keying," *Proc. Int. Conf. Anti-Counterfeiting, Secur. Identification, ASID*, vol. 2016–Febru, no. 2012, pp. 15–18, 2016.
- [11] M. W. Fakhr, "Robust Watermarking Using Compressed Sensing Framework With Application To Mp3 Audio," *Int. J. Multimed. Its Appl.*, vol. 4, no. 6, pp. 27–43, 2012.

- [12] C. U. I. Delong, L. Qirui, Y. U. Guilan, and X. Jianbin, "CONTENT-BASED AUDIO WATERMARKING METHOD TO RESIST DE-SYNCHRONIZATION ATTACKS," *Inf. Netw. Secur. ICINS*, 2014.
- [13] S. D. R. Mirajkar Pradnya P., "Image Fusion Based On Stationary Wavelet Transform," *Int. J. Adv. Eng. Res. Stud. E-ISSN2249-8974 Res.*, vol. 2013, no. L, pp. 99–101, 2013.
- [14] G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. H. Shin, "A multicarrier modulation audio watermarking system," *Proc. - 5th Int. Conf. Electr. Eng. Informatics Bridg. Knowl. between Acad. Ind. Community, ICEEI 2015*, no. August, pp. 154–160, 2015.
- [15] K. Purnandaru, "Perancangan Audio Watermarking Berdasarkan Fitur Log Coordinate Mapping (Lcm) Dengan Metode Spread Spectrum," *Semin. Nas. Inov. Dan Apl. Teknol. Di Ind. ISSN 2085-4218*, 2017.
- [16] T. Pramestya, V. F. Ramadhani, and G. Budiman, "OPTIMASI AUDIO WATERMARKING BERBASIS DISCRETE WAVELET TRANSFORM ( DWT ) DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK M-ARY MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA," *Semin. Nas. Inov. Dan Apl. Teknol. Di Ind. ISSN 2085-4218*, pp. 2–7, 2017.
- [17] P. Zhang, Y. Li, X. Ma, Y. Fan, and X. Chen, "Efficient audio data hiding via parallel combinatory spread spectrum," *Proc. - 2015 8th Int. Congr. Image Signal Process. CISP 2015*, no. 2012, pp. 814–818, 2016.
- [18] E. Candès, "Compressive sampling," *Proc. oh Int. Congr. Math. Madrid*, pp. 1433–1452, 2006.