

AUDIO WATERMARKING MENGGUNAKAN METODE LSB PADA TEKNOLOGI QUANTUM

AUDIO WATERMARKING USING LSB METHOD ON QUANTUM TECHNOLOGY

1st Fadhila Lazuardi

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Telkom University
Bandung, Indonesia

fadhilazuardi@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Gelar Budiman

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Telkom University
Bandung, Indonesia

gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id

3rd Khaerudin Saleh

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Telkom University
Bandung, Indonesia

khaerudin@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dengan perluasan multimedia digital ke dalam komputasi kuantum dan jaringan kuantum, perlindungan hak cipta multimedia digital dalam jaringan kuantum menjadi isu yang signifikan. Sebagai teknologi keamanan yang penting, watermark kuantum adalah solusi yang tepat, yang menyematkan informasi hak cipta ke dalam sinyal host. Karya ini menyajikan *Least Significant Qubit (LSB)* berbasis *watermarking audio* yang menggunakan qubit yang signifikan untuk menentukan posisi qubit untuk penyematan. Pada tugas akhir ini menanamkan bit *watermark* langsung di LSB dari amplitudo sinyal *host* memiliki masalah keamanan, yang membuat sinyal watermark rentan untuk diserang atau ditempa oleh pihak ketiga yang illegal. ini dapat secara efektif meningkatkan ketahanan dan keamanan watermark untuk perlindungan hak cipta audio kuantum. Parameter yang digunakan untuk mengukur sistem yang dibuat menggunakan BER (*Bit Error Rate*), SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), ODG (*Objective Difference Grade*), dan *Capacity*. Dan jenis serangan nya menggunakan *Noise-X*, *Noise-Z*, dan CNOT. Dengan adanya ini diharapkan bisa menjadi solusi untuk keamanan *audio watermarking*. Penelitian tugas akhir ini diuji dengan menggunakan parameter pengujian berupa BER, SNR, dan waktu. Hasil ekstraksi tanpa serangan menunjukkan bahwa sistem menghasilkan kualitas audio watermark terbaik terlihat dari BER bernilai 0. Nilai SNR pada bit kuantisasi 7,8, dan 9 bernilai 16.3990, 22.4910, dan 28.4878. Sedangkan waktu kuantisasi akan semakin lama ketika bit kuantitasnya bernilai besar. Nilai BER, SNR, dan waktu terbaik diperoleh setelah diberikan serangan CNOT.

Kata Kunci : *Audio Watermarking*, *Least Significant Bit (LSB)*, *Audio Quantum*

Abstract

With the expansion of digital multimedia into quantum computing and quantum networks, copyright protection of digital multimedia in quantum networks is becoming a significant issue. As an important security technology, quantum watermark is the perfect solution, which embeds copyright information into the host signal. This work presents the *Least Significant Qubit (LSB)* based on *audio watermarking* which uses the significant qubit to determine the position of the qubit for embedding. In this final project embedding the watermark bit directly on the LSB of the amplitude of the host signal has a security problem, which makes the watermark signal vulnerable to attack or forge by illegal third parties. it can effectively improve watermark robustness and security for quantum audio copyright protection. The parameters used to measure the system are made using BER (*Bit Error Rate*), SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), ODG (*Objective Difference Grade*), and *Capacity*. And the type of attack uses *Noise-X*, *Noise-Z*, and CNOT. This is expected to be a solution for *audio watermarking* security. This final project research was tested using test parameters in the form of BER, SNR, and time. The results of extraction without attack show that the system produces the best audio watermark quality as seen from the BER value of 0. The BER value will be better when the noise probability is small than when the noise probability is large. SNR values at quantization bits 7,8, and 9 are 16.3990, 22.4910, and 28.4878. Meanwhile, the quantization time will be longer when the quantization bit is large. The best BER, SNR, and time values were obtained after being given a CNOT attack.

Keywords : *Audio Watermarking*, *Least Significant Bit (LSB)*, *Audio Quantum*

1. Pendahuluan

Dengan perluasan multimedia digital ke dalam komputasi kuantum dan jaringan kuantum, perlindungan hak cipta multimedia digital dalam jaringan kuantum menjadi isu yang signifikan [1]. Sebagai teknologi keamanan yang penting, watermark kuantum adalah solusi yang tepat, yang menyematkan informasi hak cipta ke dalam sinyal host. Karya ini menyajikan *watermarking audio* berbasis *least significant bit (LSB)* yang ditingkatkan menggunakan kode abu-abu yang dipantulkan [2]. Dalam skema yang diusulkan, sinyal *audio* kuantum dalam *quantum representation of discrete signal (QRDS)* diubah menjadi domain frekuensi menggunakan *quantum discrete cosine transform (qDCT)* [3]. QDCT mengubah sinyal audio kuantum host yang dikodekan sebagai konten FRQA (*flexible representation for quantum audio*) dari domain waktu ke domain frekuensi [4], [5].

Pada penelitian ini akan dibahas *least significant bit (LSB)* berbasis *watermarking audio* yang menggunakan bit yang signifikan untuk menentukan posisi bit untuk penyematan [1]. Proses ini dapat secara efektif meningkatkan ketahanan dan keamanan *watermark* untuk perlindungan hak cipta *audio* kuantum [6]. Algoritma ini bekerja dengan qubit dalam tahap penyisipan dan ekstraksi di modifikasi status bit paling tidak signifikan yang dipilih dari sinyal *audio* kuantum *host* bergantung pada status sinyal *audio* kuantum rahasia [7].

Bit disematkan ke sinyal *audio* kuantum *host* menggunakan kunci penyematan [1]. Untuk validasi skema yang disajikan, *signal to noise ratio (SNR)* [8]. Metode yang digunakan memastikan *imperceptibility* yang tinggi antara *audio* kuantum *host* dan versi stego nya [7]. Hasil simulasi termasuk nilai bentuk gelombang *audio* dan *signal to noise ratio (SNR)* [6], membuktikan bahwa algoritma baru memiliki transparansi, ketahanan, dan keamanan yang baik [1], [2], [6]. Membuktikan bahwa algoritma baru memiliki transparansi, ketahanan, dan keamanan yang baik [1], [2], [6].

Pada tugas akhir ini menyajikan *audio watermarking* yang berbasis *least significant bit (LSB)* untuk menentukan posisi bit untuk penyematan [1]. FRQA adalah keadaan normal yang memfasilitasi operasi sinyal audio dasar yang menargetkan parameter ini. Persiapan dan pengambilan untuk FRQA dibahas dan, berdasarkan status FRQA, kami merealisasikan sirkuit untuk menyelesaikan operasi sinyal audio dasar seperti penambahan sinyal, pembalikan sinyal, penundaan sinyal, dan pembalikan sinyal [9].

2. Dasar Teori

2.1 Watermarking

Watermarking adalah teknik perlindungan hak cipta, yang dipenuhi dengan menanamkan sinyal tak kasat mata (*watermark*) yang membawa informasi tentang pemilik hak cipta ke dalam data multimedia (operator, seperti suara, video, dan gambar) [4]. Kinerja metode *watermarking* tergantung pada berbagai parameter yang harus dipertimbangkan. Dalam informasi klasik tidak ada prosedur *watermarking* yang menahan semua jenis serangan [8].

2.2 Audio Watermarking

Audio watermarking merupakan suatu proses penyisipan data digital sebagai sebuah *watermark* ke dalam file host yang berupa audio. *Watermark* pada sinyal audio mempunyai tantangan yang lebih dibandingkan dengan *watermarking* pada citra atau video. *Audio watermarking* memanfaatkan ketidaksempurnaan sistem pendengaran manusia. *Watermark* sendiri mengandung hak cipta untuk melindungi file *audio*. *Audio watermarking* memiliki

beberapa kriteria yang harus dipenuhi, kriteria tersebut adalah *imperceptibility*, *robustness*, dan *payload*. Jika suatu sistem *audio watermarking* sudah memenuhi kriteria tersebut, maka dapat dikatakan sistem tersebut bagus dan layak diimplementasikan.

a) Imperceptibility

Imperceptibility merupakan suatu kriteria yang penting untuk dimiliki oleh suatu sistem *audio watermarking*. Audio yang ter-*watermark* dapat dikatakan *imperceptible* atau tidak terlihat jika perbedaan antara versi *audio* asli dan versi *watermarked* tidak beda jauh atau hampir sama. Artinya, *watermark* yang telah disisipkan tidak boleh terdengar atau terdeteksi dalam audio versi *watermarked*. Jika terdeteksi, maka *watermark* yang disisipkan dapat menyediakan akses untuk mendistorsi, mengganti bahkan menghapus *watermark* oleh pihak tak bertanggung jawab. *Imperceptibility* memiliki parameternya tersendiri, yaitu *signal to noise ratio* (SNR), *objective difference grade* (ODG), dan *subjective different grade* (SDG).

b) Robustness

Robustness merupakan kriteria sistem *audio watermarking* dalam kekuatan dan ketahanan terhadap berbagai serangan dan pemrosesan sinyal. Layaknya distorsi yang dapat terjadi pada *watermark* saat proses *encoding*, *decoding* maupun saat pendistribusian di internet dan juga serangan seperti kompresi MP3, *low pass filtering* dan penambahan *echo*. *bit error rate* (BER) merupakan parameter dari *robustness*.

c) Robustness

Payload merupakan seberapa banyak kuantitas informasi yang dapat disisipkan dalam sinyal *audio host* per satuan waktu. *Payload* bergantung pada ukuran data orisinal nya, semakin banyak pola orisinal semakin besar bit yang dapat disisipkan di *watermark*. Parameter dari *payload* itu sendiri adalah *capacity* (C).

2.3 Least Significant Bit (LSB)

Teknik *least significant bit* (LSB) dianggap sebagai metode yang mudah untuk melakukan steganografi dengan mudah. Mirip dengan teknik steganografi lainnya, teknik ini bekerja untuk menyembunyikan data ke dalam media *host* agar tidak terdeteksi oleh pengamat sesekali. Ini bertindak untuk memodifikasi data *audio* sampel *host* dengan data pesan rahasia (*audio*). Teknik LSB menyediakan kemampuan *embedding* yang tinggi untuk *embedding* data [8]. Algoritma LSB ini menggunakan Teknik domain special. Pada Teknik ini *watermark* diterapkan ke sinyal *host*. Dalam domain piksel, kombinasi dengan domain *host* didasarkan pada pengoperasian yang mudah. *Watermark* dapat dideteksi dengan mengkorelasikan model yang diantisipasi dengan sinyal yang diterima.

2.4 Quantum

Quantum merupakan mesin fisik yang dapat menerima status input, yang mewakili superposisi koheren dari banyak kemungkinan input yang berbeda dan mengembangkannya menjadi superposisi output yang sesuai. Komputasi, yang merupakan urutan transformasi kesatuan, mempengaruhi secara simultan setiap elemen superposisi, menghasilkan pemrosesan data paralel yang masif. Sementara paralelisme di komputer klasik membutuhkan lebih banyak perangkat keras, itu dilakukan hanya dengan satu perangkat keras di komputer kuantum. Kemampuan ini memungkinkan komputer kuantum untuk memecahkan beberapa masalah secara efisien, yang diyakini sulit dipecahkan pada komputer klasik manapun [1], [2],[3].

a. Quantum Representation of Discrete Signal (QRDS)

Quantum representation of discrete signal (QRDS) menggunakan dua urutan bit terjerat untuk menyimpan amplitudo sinyal dan informasi waktu (yaitu posisi) dan menyimpan seluruh sinyal digital dalam superposisi urutan dua bit. Kedua barisan bit dalam keadaan basis 0 dan 1 [3].

b. Quantum Discrete Cosine Transform (QDCT)

Quantum Diskrit cosinus transform, yaitu DCT, mengungkapkan urutan titik data yang terbatas dalam hal jumlah fungsi kosinus beresilasi pada frekuensi yang berbeda. Ini banyak digunakan dalam pemrosesan sinyal dan kompresi data, termasuk MP3 untuk *audio digital* dan JPEG untuk gambar *digital*. DCT mengubah sinyal menjadi pita frekuensi yang berbeda (rendah, sedang, dan tinggi).

Sebagian besar informasi sinyal cenderung terkonsentrasi pada beberapa komponen frekuensi rendah [3].

Secara matematis, DCT kuantum, yaitu qDCT, diselesaikan dengan menggunakan

$$qDCT : |x\rangle = g(x) \sum_{c=0}^{2^m-2} \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(c + \frac{1}{2} \right) x \right] |c\rangle$$

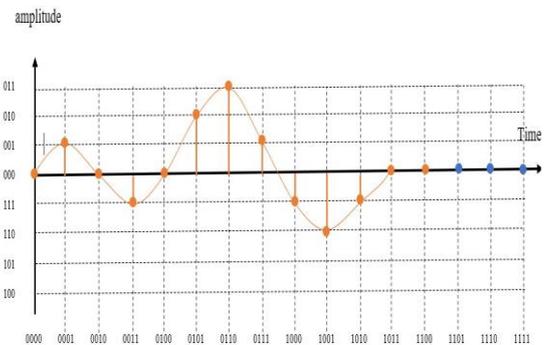
QDCT memproses konten FRQA dalam domain waktu dan mengubahnya menjadi domain frekuensi [4].

c. Flexible Representation for Quantum Audio (FRQA)

FRQA (*flexible representation for quantum audio*) adalah model representasi sinyal *audio* yang menggunakan status basis dari urutan qubit untuk menyimpan detail aritmatika dari setiap sampel. Sinyal audio FRQA secara matematis didefinisikan sebagai berikut:

$$|Q_A\rangle = \frac{1}{2^{l/2}} \sum_{t=0}^{2^l-1} |A_t\rangle \otimes |t\rangle$$

Dimana $|A_t\rangle = |A_t^{q-1} \dots A_t^1 A_t^0\rangle$ mengkodekan dua komplemen representasi dari setiap nilai amplitudo dan $|t\rangle = |t_{l-1} \dots t_1 t_0\rangle$, $t_i \in \{0,1\}$, adalah informasi waktu yang sesuai. $|Q_A\rangle$ dinormalisasikan $\| |Q_A\rangle \| = 1$. Seperti yang diberikan pada persamaan 5, FRQA membutuhkan $(q+1)$ qubit untuk mewakili audio kuantum yang terdiri dari 2^l sampel.



Gambar 2. 1. Segmen sinyal audio FRQA dan representasinya (titik biru adalah redundansi)

Gambar 2.1 menunjukkan segmen sinyal audio kuantum dan ekspresinya menggunakan representasi FRQA. Dalam contoh ini, nilai amplitudo diambil sampelnya antara -2 dan 3, di mana 3 qubit diperlukan untuk menyimpan informasi amplitudo dalam *audio* FRQA. Panjang audionya adalah 13, jadi $l = \lceil \log_2 13 \rceil = 4$. Oleh karena itu, dibutuhkan 7 qubit untuk mewakili sinyal *audio* FRQA ini [10].

2.5 Serangan pada Audio Watermarking

Ketahanan pada sistem *audio watermarking* diuji kualitasnya dengan macam-macam serangan yang ditujukan padanya, dengan tujuan untuk merusak informasi yang disisipkan bahkan sampai menghapusnya. *Watermarked audio* diserang tepat saat sebelum proses ekstraksi dilakukan, berikut beberapa serangan yang digunakan pada *audio watermarking*:

a. Noise-X

Noise-X berfungsi sebagai bit-flip, yaitu membalikkan nilai-nilai qubit yang ada pada audio ter-*watermark*. Representasi noise-x dalam bentuk matriks.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

b. Noise-Z

Noise-Z memiliki fungsi yang hampir sama dengan noise-x. Representasi noise-z dalam bentuk matriks.

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

c. CNOT

Controller NOT gate atau CNOT gate adalah operasi dua qubit, dimana qubit pertama biasa disebut sebagai qubit kontrol, dan qubit kedua sebagai qubit target.

$$CNOT = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.6 Parameter Pengujian

• Bit Error Rate

BER merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk penilaian hasil *audio watermarking* dalam segi *robustness*. BER merupakan suatu proses untuk menguji keutuhan suatu sistem *audio watermarking* dengan membandingkan bit hasil ekstraksi setelah dilakukan penyerangan dengan bit yang dikirim sebelum dilakukan penyerangan. Nilai BER dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit kesalahan}}{\text{Jumlah bit yang disisipkan}} \times 100\%$$

• Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR merupakan parameter untuk mengukur kualitas audio secara objektif. Jika hasil SNR > 20dB, maka watermarked audio dinyatakan bagus karena informasi yang disisipkan sulit dideteksi. Perhitungan SNR dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x^2(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} [x_w(n) - x(n)]^2}$$

dimana:

$x_w(n)$ = audio yang diberi *watermark*

$x(n)$ = *host audio*

N = panjang audio (dalam desibel, dB) sebagai nilai SNR

• Objective Difference Grade (ODG)

ODG merupakan parameter pengukuran *imperceptibility* berdasarkan standar ITU-R (*international telecommunication union radio communication sector*) BS.1387-1. ODG dihitung menggunakan PEAQ (*perceptual evaluation of audio quality*). Nilai ODG tersebut dapat dilihat dari Tabel 2.1.

Tabel 2.1. *Objective Difference Grade (ODG)*

ODG	Penjelasan
0.0	Tak Terlihat
-1.0	Terlihat, tetapi tidak mengganggu
-2.0	Sedikit mengganggu
-3.0	Mengganggu
-4.0	Sangat mengganggu

• Capacity (C)

Capacity merupakan parameter objektif yang menyatakan banyaknya bit *watermark* yang disisipkan dalam *host audio*. Semakin besar kapasitas, semakin banyak informasi yang dapat disisipkan. Perhitungan *Capacity* dilakukan dengan rumus berikut :

$$C = \frac{\text{Panjang bit Watermark}}{\text{Panjang bit host}} \times f_s$$

dimana:

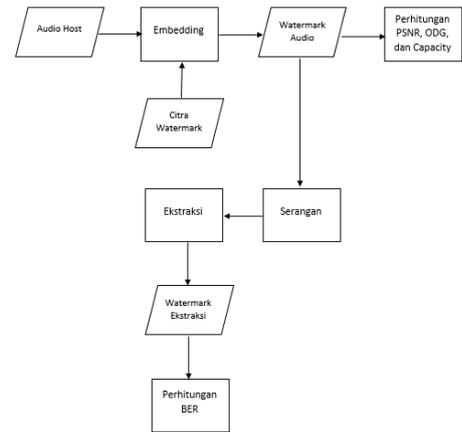
C = *capacity* dengan satuan *bit per second* (bps)

f_s = frekuensi *sampling* dengan satuan sampel per detik (dalam Hertz, Hz)

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

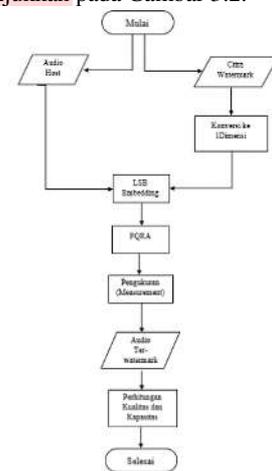
Dalam proses perancangan tugas akhir ini, perancangan sistem pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu proses *embedding*, dan proses ekstraksi. Dalam menentukan kualitas audio *watermark* dengan menghitung SNR, ODG, dan *Capacity*. Perancangan sistem *audio watermarking* dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Desain Sistem

3.2. Proses Penyisipan

Proses penyisipan (*embedding*) dilakukan dengan metode *least significant bit* (LSB) terhadap *audio host*. Proses penyisipan (*embedding*) dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2.



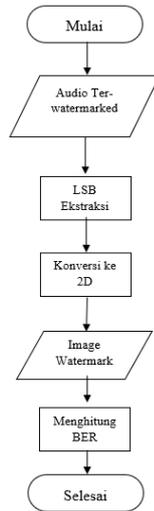
Gambar 3.2. Proses Penyisipan

Langkah langkah proses penyisipan (*embedding*) dijelaskan sebagai berikut.

1. Pada gambar 3.2, ada 2 *input* dalam *watermarking* yaitu *audio host* dan *citra watermark*.
2. Tahap pertama dalam proses *embedding* adalah *input audio host*.
3. Disisi lain, *citra watermark* di konversi menjadi satu dimensi, karena sinyal *audio* hanya memiliki satu dimensi dengan begitu *citra* dapat disisipkan kedalam *audio host*.
4. Selanjutnya dilakukan proses penyisipan *citra watermark* ke *audio host* dengan menggunakan teknik LSB.
5. Selanjutnya, memanfaatkan FRQA dalam domain waktu dan mengubahnya menjadi domain frekuensi.
6. Kemudian dilakukan pengukuran (*measurement*).
7. Akhirnya *audio ter-watermark* diperoleh.
8. Terakhir, menghitung nilai SNR sebagai penilaian kualitas *watermarking audio*.

3.3 Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi adalah *watermarked audio* yang telah diuji ketahanannya dengan serangan. Hasil yang didapat dari proses ekstraksi adalah nilai ketahanan dari suatu *watermark* yang telah disisipkan kedalam suatu *audio digital*. Proses ekstraksi dapat ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Proses Ekstraksi

Langkah proses ekstraksi dijelaskan sebagai berikut.

1. Membaca sinyal *audio* ter-watermarked.
2. Kemudian informasi *audio watermark* pada posisi yang sesuai dari domain frekuensi di ekstrak menggunakan LSB ekstraksi.
3. setelah proses ekstraksi, mengubah menjadi bentuk dua dimensi untuk mendapat *audio watermark* dan *audio host*, dan memperoleh informasi *audio watermark* dan *audio host* yang di ekstraksi.
4. Menghitung BER.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Data Pengujian

Pengujian ini menggunakan *audio host*, yaitu HostAudio.wav, serta citra *watermark* tel-u.jpeg. Pada Gambar 4.1 merupakan citra yang digunakan sebagai citra *watermark*.

TEL- U

Gambar 4.1. Citra Watermark

4.2 Skenario Pengujian

Berikut adalah beberapa skenario pengujian yang dilakukan pada sistem watermarking yang telah dirancang.

1. Analisis Pengaruh Parameter Uji terhadap Impercibility Audio Ter-watermark Pada pengujian ini dilakukan penyisipan (embedding) *watermark* pada *audio host* dengan menggunakan metode LSB. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh parameter uji terhadap kemiripan citra ter-watermark dengan *audio host* berdasarkan nilai SNR.
2. Analisis Pengaruh Metode Watermarking terhadap Robustness Hasil Ekstraksi Citra Ter-watermark tanpa Serangan Pada pengujian dilakukan pada proses ekstraksi *watermark* untuk membandingkan nilai BER dan SNR *watermark* pada saat proses penyisipan terhadap *watermark* yang diperoleh setelah proses ekstraksi.
3. Analisis Pengaruh Metode Watermarking terhadap Robustness Hasil Ekstraksi Citra Ter-watermark dengan Serangan Pengujian ini dilakukan pada proses ekstraksi *watermark* untuk membandingkan nilai BER, dan SNR *audio watermark* pada saat proses penyisipan terhadap *watermark* yang diperoleh setelah proses ekstraksi.
4. Analisis Pengaruh terhadap Waktu Komputasi Sistem Pada pengujian ini dihitung lama waktu yang dibutuhkan selama proses *embedding* dan ekstraksi kemudian hasil yang diperoleh.
5. Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dengan Penelitian Sebelumnya Dilakukan analisis perbandingan beberapa teknik atau metode yang diusulkan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang diusulkan pada Tugas Akhir ini.

4.3 Analisis Pengaruh Sistem Hasil Audio Ter-watermark Tanpa Serangan

Pengujian ini dilakukan menghitung nilai BER, SNR, dan waktu rata rata untuk melihat kualitas citra ter-watermark. Tabel 4.1 merupakan hasil pengujian yang telah dilakukan.

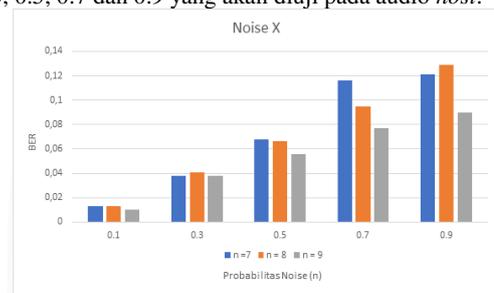
Tabel 4.1. Pengaruh Sistem Audio Ter-watermark tanpa serangan

Bit kuantisasi	BER	SNR
4	0	-1.6106
5	0	4.3561
6	0	10.4285
7	0	16.3990
8	0	22.4910
9	0	28.4878
10	0	34.4760

Berdasarkan Table 4.1 dapat dilihat bahwa hasil BER, dan SNR yang diperoleh sangat baik. Nilai BER bernilai 0 menunjukkan bahwa sistem yang digunakan berjalan dengan baik. SNR memperoleh nilai sama dengan nilai SNR yang mendapat serangan.

4.4 Analisis Pengaruh Sistem Hasil Audio Ter-watermark dengan serangan noise X

Noise X merupakan matriks 2×2 yang digunakan untuk menyerang qubit audio kuantum. Matriks X disisipkan diantara qubit 1 sampai 8, sehingga dapat mengubah nilai qubit dan memberikan efek bintik-bintik warna pada titik-titik piksel citra yang diserang. Pengujian dimulai dari probabilitas *noise* bernilai 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 dan 0.9 yang akan diuji pada *audio host*.



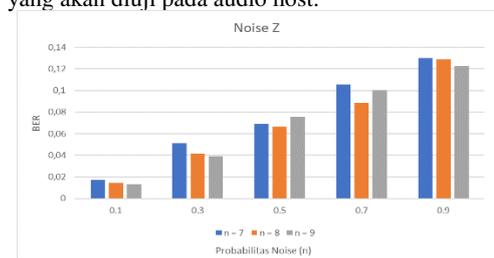
Gambar 4.2. Pengaruh Terhadap noise X

Berdasarkan Gambar 4.2 ketika probabilitas *noise* bernilai 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, dan 0.9. Nilai BER yang dihasilkan 0.0130, 0.0378, 0.0677, 0.1159, dan 0.1211 pada bit kuantisasi 7. Pada bit kuantisasi 8 BER yang dihasilkan 0.0130, 0.0404, 0.0667, 0.0951, dan 0.1289. Dan pada bit kuantisasi 9 BER yang dihasilkan 0.0104, 0.0378, 0.0560, 0.0768, dan 0.0898. Sedangkan untuk nilai SNR 16.3990, 22.4910, dan 28.4878 pada bit kuantisasi 7, 8, dan 9. Waktu rata rata yang di perlukan 3,13012, 6,79414, dan 21,52846.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar probabilitas *noise* yang digunakan maka hasil BER dan waktu yang diperoleh semakin besar namun nilai SNR nya bernilai sama. Nilai SNR berubah jika bit kuantisasi nya diubah, pada bit kuantisasi bit yang digunakan kecil maka nilai SNR kecil.

4.5 Analisis Pengaruh Sistem Hasil Audio Ter-watermark dengan serangan noise Z

Noise Z merupakan matriks 2×2 yang digunakan untuk menyerang qubit audio kuantum. Matriks Z disisipkan diantara qubit 1 sampai 8, sehingga dapat mengubah nilai qubit dan memberikan efek bintik-bintik warna pada titik-titik piksel citra yang diserang. Pengujian dimulai dari probabilitas *noise* bernilai 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 dan 0.9 yang akan diuji pada *audio host*.



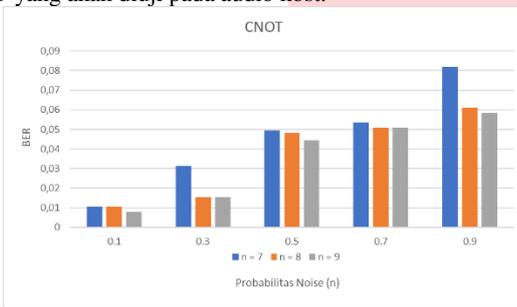
Gambar 4.3. Pengaruh Terhadap noise Z

Berdasarkan Gambar 4.3 ketika probabilitas *noise* bernilai 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, dan 0.9. Nilai BER yang dihasilkan 0.0169, 0.0508, 0.0690, 0.1055, dan 0.1302 pada bit kuantisasi 7. Pada bit kuantisasi 8 BER yang dihasilkan 0.0143, 0.0417, 0.0664, 0.0885, dan 0.1289. Dan pada bit kuantisasi 9 BER yang dihasilkan 0.0130, 0.0391, 0.0755, 0.1003, dan 0.1224. Sedangkan untuk nilai SNR 16.3990, 22.4910, dan 28.4878 pada bit kuantisasi 7,8, dan 9. Waktu rata rata yang di perlukan 3,13012, 6,79414, dan 21,52846.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar probabilitas *noise* yang digunakan maka hasil BER dan waktu yang diperoleh semakin besar namun nilai SNR nya bernilai sama. Nilai SNR berubah jika bit kuantisasi nya diubah, pada bit kuantisasi bit yang digunakan kecil maka nilai SNR kecil.

4.6 Analisis Pengaruh Sistem Hasil Audio Ter-watermark dengan serangan noise CNOT

Noise CNOT merupakan matriks 4x4 yang digunakan untuk menyerang qubit citra kuantum. Matriks ini disisipkan diantara qubit 1 sampai 8, sehingga mengubah nilai qubit dan memberikan efek bintik-bintik warna pada titik-titik piksel citra yang diserang. Pengujian dimulai dari probabilitas noise bernilai 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 dan 0.9 yang akan diuji pada audio host.



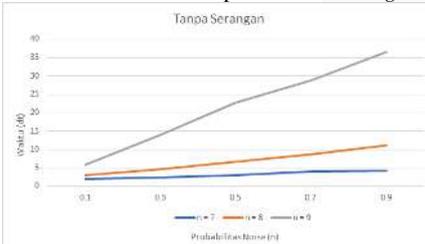
Gambar 4.2. Pengaruh Terhadap noise CNOT

Berdasarkan Gambar 4.4 ketika probabilitas *noise* bernilai 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, dan 0.9. Nilai BER yang dihasilkan 0.0104, 0.0312, 0.0495, 0.0534, dan 0.0820 pada bit kuantisasi 7. Pada bit kuantisasi 8 BER yang dihasilkan 0.0104, 0.0156, 0.0482, 0.0508, dan 0.0612. Dan pada bit kuantisasi 9 BER yang dihasilkan 0.0078, 0.0156, 0.0443, 0.0508, dan 0.0586. Sedangkan untuk nilai SNR 16.3990, 22.4910, dan 28.4878 pada bit kuantisasi 7,8, dan 9. Waktu rata rata yang di perlukan 3,13012, 6,79414, dan 21,52846.

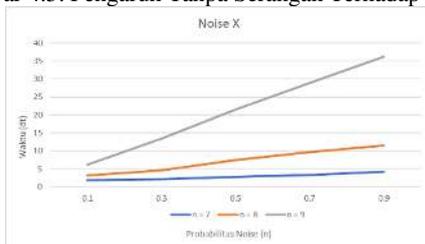
Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar probabilitas *noise* yang digunakan maka hasil BER dan waktu yang diperoleh semakin besar namun nilai SNR nya bernilai sama. Nilai SNR berubah jika bit kuantisasi nya diubah, pada bit kuantisasi bit yang digunakan kecil maka nilai SNR kecil.

4.7 Analisis Pengaruh Audio host terhadap waktu komputasi

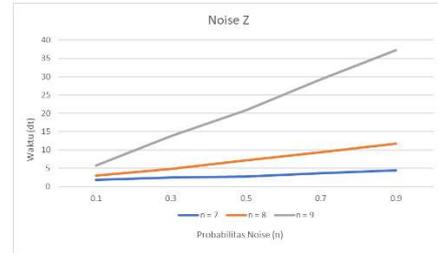
Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis lama waktu yang diperlukan sistem saat melakukan proses *embedding* dan ekstrasi.



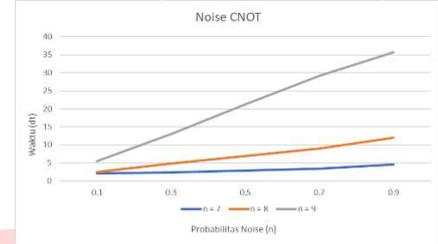
Gambar 4.5. Pengaruh Tanpa Serangan Terhadap Waktu



Gambar 4.6. Pengaruh Noise X Terhadap Waktu



Gambar 4.7. Pengaruh Noise Z Terhadap Waktu



Gambar 4.7. Pengaruh Noise CNOT Terhadap Waktu

Hasil pengujian waktu dapat dilihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8. Hal ini dapat dilihat dari hasil perolehan hampir sama untuk masing masing probabilitas *noise*. Namun perubahan waktu berubah saat terjadi perubahan bit kuantisasi. Semakin besar bit kuantisasi maka semakin lama waktu komputasi yang diperlukan.

4.8 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dengan Penelitian Sebelumnya

Beberapa tahun sebelumnya telah dilakukan penelitian serupa, yaitu *watermarking* citra berbasis modifikasi LSB untuk lokalisasi dan restorasi citra warna.

Tabel 4.2. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Penelitian Sebelumnya

Parameter		Referensi		
			Penelitian yang diajukan	
BER	Tanpa Serangan	0	0	
	Noise X	ProbNoise 0.1	0.0129	0.0130
		ProbNoise 0.5	0.0620	0.0677
	Noise CNOT	ProbNoise 0.1	0.0063	0.0104
		ProbNoise 0.5	0.0312	0.0495

Pada Tabel 4.2 merupakan perbandingan hasil simulasi penelitian ini dengan penelitian *watermarking* citra berbasis modifikasi LSB untuk lokalisasi dan restorasi citra warna. Penelitian *watermarking* citra berbasis modifikasi LSB untuk lokalisasi dan restorasi citra warna menghasilkan nilai BER pada tanpa serangan 0. Pada Noise X dengan probabilitas noise 0.1 dan 0.5 bernilai 0.0129 dan 0.062. Dan pada noise CNOT dengan probabilitas 0.1 dan 0.5 bernilai 0.0063 dan 0.0312. Pada penelitian yang di ajukan tanpa serangan bernilai 0, Noise x dengan probabilitas 0.1 dan 0.5 bernilai 0.0130 dan 0.0677. Pada noise CNOT dengan probabilitas 0.1 dan 0.5 bernilai 0.0104 dan 0.0495.

Perbandingan hasil simulasi dengan simulasi sebelumnya menghasilkan nilai BER yang sama ketika tanpa serangan. Penelitian sebelumnya tidak menggunakan noise Z dan memiliki nilai yang tidak jauh berbeda pada noise X dan noise CNOT.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Sistem ini telah berhasil dirancang dengan menggunakan metode *quantum audio watermarking* menggunakan teknik LSB. Sistem ini diuji menggunakan parameter pengujian berupa BER, SNR, dan waktu. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil ekstraksi tanpa serangan menunjukkan bahwa sistem menghasilkan kualitas *audio watermark* terbaik dilihat dari BER yang bernilai 0.

2. Nilai BER akan lebih baik pada saat probabilitas *noise* kecil dibandingkan pada saat probabilitas *noise* besar.
3. Hasil penelitian dengan serangan menunjukkan bahwa serangan noise CNOT memiliki nilai BER, SNR, dan Waktu yang lebih baik dibandingkan dengan serangan noise X dan noise Z, dimana kerusakan yang dialami saat menggunakan noise CNOT memiliki nilai yang lebih kecil dari serangan noise X dan noise Z diprobabilitas yang sama.
4. Bit kuantisasi bernilai 7 memiliki waktu komputasi yang lebih singkat dibandingkan dengan bit kuantisasi bernilai 8 dan bit kuantisasi bernilai 9. Pada saat probabilitas kecil maka waktu komputasi lebih singkat dibandingkan probabilitas besar.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, penulis memiliki beberapa saran untuk penelitian selanjutnya agar dapat menyempurnakan dan menjadikan penelitian yang lebih baik. Hal yang disarankan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan jenis serangan yang lebih bervariasi.
- b. Qubit yang diserang dapat ditingkatkan dengan menyerang bagian informasi posisinya.
- c. Menambahkan metode lain agar nilai parameter yang dihasilkan menjadi lebih baik.

Referensi

1. M. Y. Nejad, M. Mosleh, and S. R. Heikalabad, "An LSB-Based Quantum Audio Watermarking Using MSB as Arbitrator," *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 58, no. 11, pp. 3828–3851, Nov. 2019, doi: 10.1007/s10773-019-04251-z.
2. M. Y. Nejad, M. Mosleh, and S. R. Heikalabad, "An enhanced LSB-based quantum audio watermarking scheme for nano communication networks," *Multimed Tools Appl*, vol. 79, no. 35–36, pp. 26489–26515, Sep. 2020, doi: 10.1007/s11042-020-09326-2.
3. M. Y. Nejad, M. Mosleh, and S. R. Heikalabad, "A blind quantum audio watermarking based on quantum discrete cosine transform," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 55, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jisa.2020.102495.
4. K. Chen, F. Yan, A. M. Iliyasu, and J. Zhao, "A Quantum Audio Watermarking Scheme."
5. K. Chen, F. Yan, A. M. Iliyasu, and J. Zhao, "Dual Quantum Audio Watermarking Schemes Based on Quantum Discrete Cosine Transform," *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 58, no. 2, pp. 502–521, Feb. 2019, doi: 10.1007/s10773-018-3950-9.
6. Z. G. Qu, H. X. He, and T. Li, "Novel quantum watermarking algorithm based on improved least significant qubit modification for quantum audio," *Chinese Physics B*, vol. 27, no. 1, Jan. 2018, doi: 10.1088/1674-1056/27/1/010306.
7. A. A. Abdullah and Y. K. Abbas, "QUANTUM AUDIO STEGANOGRAPHY SYSTEM," 2020.
8. S. Heidari and M. Naseri, "A Novel LSB Based Quantum Watermarking," *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 55, no. 10, pp. 4205–4218, Oct. 2016, doi: 10.1007/s10773-016-3046-3.
9. P. Pattanshetti, P. Dongaonkar, and S. Karpe, "Digital Watermarking in Audio Using Least Significant Bit and Discrete Cosine Transform." [Online]. Available: www.ijcsit.com
10. F. Yan, Y. Guo, A. M. Iliyasu, and H. Yang, "Flexible Representation and Manipulation of Audio Signals on Quantum Computers," Jan. 2017, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1701.01291>
11. S. Ali Khayam, "The Discrete Cosine Transform (DCT): Theory and Application 1," 2003.