JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 5, No. 2, Desember 2020, Hal. 247-256
Terakreditasi "**Peringkat 3"** oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.247-256
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Analisa Kapasitas *Watermark* pada Sistem *Watermarking* Reversibel Berbasis OFDM-CDMA

Rahmawati Hasanah[#], Nurul Zahra Nafila
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung 40012, Indonesia
[#]rahmawati@polban.ac.id

Abstrak

Watermarking reversibel merupakan sistem *watermarking* yang bertujuan untuk mendapatkan *watermark* ataupun menghapus *watermark* dari media yang disisipi *watermark* tanpa merusak kualitas media tersebut. Salah satu metode yang digunakan pada *watermarking* reversibel adalah metode *Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Code Division Multiple Access* (OFDM-CDMA). Pada metode ini *watermark* bentuk serial dikonversi menjadi paralel, kemudian dimultipleks untuk mengefisiensikan *bandwidth*. Deretan *watermark* paralel ini kemudian dikalikan dengan kode spreading untuk memperkuat sifat orthogonalitas tiap deretan, sehingga meminimalisir *error* pada saat ekstraksi. Metode ini dapat menampung *watermark* dengan kapasitas yang tinggi, namun pada beberapa nilai kapasitas yang diberikan, terdapat beberapa nilai kapasitas yang menyebabkan nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) menurun dan nilai *Bit Error Rate* (BER) meningkat. Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya kapasitas *watermark* adalah nilai *power watermark* (α). Pada penelitian ini, dilakukan analisis mengenai hubungan besarnya kapasitas *watermark* dengan besarnya nilai *power watermark* (α) yang digunakan agar tetap menghasilkan nilai BER yang kecil. Penelitian ini menggunakan beberapa jenis skema modulasi yang berbeda yaitu *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), dan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). Hasil yang didapat yaitu, untuk mempertahankan nilai BER yang kecil, besarnya nilai kapasitas *watermark* yang digunakan berbanding terbalik dengan besar nilai *power watermark*.

Kata kunci: reversibel, kapasitas, *power watermark*, BPSK, QPSK.

Abstract

Reversible watermarking is a watermarking system that aims to obtain a watermark or remove a watermark from the media with a watermark inserted without damaging the quality of the media. One of the methods used in reversible watermarking is Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Code Division Multiple Access **(**OFDM-CDMA**)** *method. In this method, the serial form watermark is converted to parallel, then multiplexed to streamline bandwidth. This parallel row of watermarks is then multiplied by the spreading code to strengthen the orthogonality of each row, thereby minimizing errors during extraction. This method can accommodate watermarks with a high capacity, but at some given capacity values, there are several capacity values that cause the nilai Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) value to decrease and the Bit Error Rate (BER) value to increase. One of the factors that influence the watermark capacity is the watermark power value (α). In this study, an analysis was carried out regarding the relationship between the amount of watermark capacity and the value of the watermark power (α) used in order to still produce a small BER value. This study uses several different types of modulation schemes, namely Binary Phase Shift Keying (BPSK), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), and Quadrature Amplitude Modulation (QAM). The results obtained are, to maintain a small BER value, the value of the watermark capacity used is inversely proportional to the value of the watermark power.*

Keywords: *reversible, capacity, power watermark, BPSK, QPSK*

I. PENDAHULUAN

Watermarking adalah proses menyisipkan *watermark* yang berisi informasi kepemilikan, tujuan atau data lain ke dalam suatu media lain tanpa mempengaruhi kualitas media yang disisipi *watermark* tersebut. *Watermarking* terdiri atas tiga bagian utama yaitu penyisipan *watermark*, serangan

Diterima: 30 Oktober 2020; Direvisi: 21 November 2020; Disetujui: 1 Desember 2020
JTERA, Vol. 5, No. 2, Desember 2020

© 2020 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

watermark dan pengekstraksian *watermark*. Ada beberapa karakteristik atau sifat khusus tertentu yang harus dimiliki oleh sebuah *watermark*, diantaranya adalah *perceptual transparency* atau *imperceptibility, robustness* (ketahanan), *secure* (keamanan) dan *payload capacity*. Parameter-parameter ini saling mempengaruhi satu sama lain. Contohnya, meningkatkan *payload* atau jumlah bit *watermark* yang disisipi untuk meningkatkan ketahanan akan menurunkan kualitas gambar, dan sebaliknya. Parameter-parameter ini dapat dikompromikan dengan membuat sistem yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang ingin dikembangkan [1]. Dalam perkembangan sistem *watermarking*, terdapat beberapa metode yang dikembangkan sesuai tujuan penggunaan dan pengaplikasian *watermarking* tersebut. Salah satu diantaranya ialah sistem *watermarking* reversibel. Pada sistem ini, setelah data *watermark* diekstraksi, gambar berwatermark dapat dipulihkan kembali seperti gambar asli semula [2]. Sifat reversibel ini biasanya dibutuhkan pada gambar yang bersifat sensitif seperti pencitraan medis atau militer, dimana gambar asli diperlukan setelah *watermark* diekstraksi, sedikit saja kerusakan pada gambar tersebut, dapat mengakibatkan kesalahan pembacaan informasi. Dua karakteristik penting yang harus dipenuhi oleh *watermarking* reversibel adalah *imperceptibility* dan kapasitas penyisipan [3]. *Imperceptibility* adalah ukuran kesamaan antara gambar asli dan gambar berwatermark. *Capacity* atau dapat disebut sebagai kapasitas, merujuk pada jumlah bit *watermark* yang dapat disisipkan ke dalam gambar asli [4]. *Payload* merupakan jumlah bit *watermark* yang disisipi pada gambar asli.

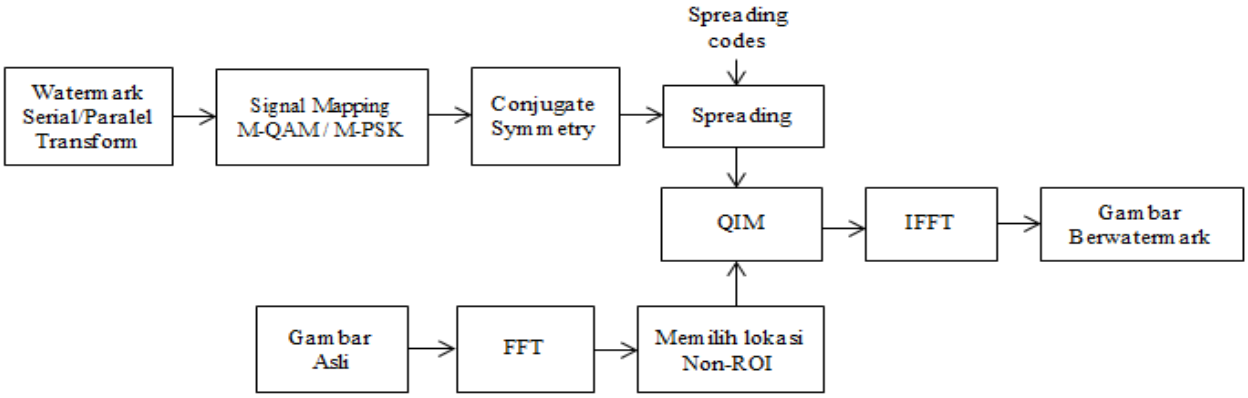
Sistem *watermarking* yang menawarkan kemampuan reversible salah satunya ialah *watermarking* berbasis OFDM-CDMA. Pada OFDM, transmiter mengirim data *stream* tunggal melewati sejumlah pasangan sub-carrier ortogonal dengan kecepatan yang lebih rendah untuk menghasilkan sebuah sinyal dengan resistansi yang tinggi terhadap interferensi. Pada [5], menjelaskan metode penyembunyian informasi OFDM dengan preposisi penyisipan QIM. Pemetaan yang digunakan ialah 4-QAM. Pada saat penyisipan, output dari 4-QAM dikombinasikan dengan algoritma QIM yang diajukan oleh [6]. Dari metode ini dihasilkan sistem penyembunyian informasi dengan kapasitas data *payload* yang tinggi. Modifikasi QIM untuk penyisipan data ketahanan yang lebih tinggi. Analisis ketahanan berbasis QIM ditampilkan oleh [7]. Pada prinsip CDMA, setiap pengguna menggunakan frekuensi yang sama dalam waktu bersamaan tetapi menggunakan sandi unik yang saling *orthogonal* untuk membedakan antara pengguna satu dengan pengguna yang lain. Hal ini berarti beberapa *bandwith* sinyal informasi dapat menggunakan frekuensi yang sama tanpa adanya interferensi satu sama lain. Penelitian [2] menyajikan sistem *watermarking* reversible berbasis CDMA. Dalam makalah ini *watermark* disebar oleh *spreading code*, lalu ditambahkan kedalam koefisien frekuensi dalam domain Discrete Wavelet. Pada [8] menjelaskan bahwa sistem *watermarking* reversibel berbasis OFDM-CDMA mampu menampung bit *watermark* dalam kapasitas besar sekaligus mempertahankan bit *error* dalam jumlah yang kecil. Namun pada beberapa nilai kapasitas yang diberikan, terdapat beberapa nilai kapasitas yang menyebabkan nilai PSNR menurun dan nilai BER meningkat. Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya kapasitas *watermark* adalah nilai *power watermark* (α) yang digunakan. Pada penelitian tersebut, modulasi yang diujikan hanya BPSK dan nilai *power watermark* hanya dicoba untuk beberapa nilai saja sehingga belum diketahui berapakah nilai *power watermark* yang dapat menghasilkan nilai kapasitas yang tinggi dengan tetap mempertahankan nilai *error* yang kecil. Oleh karena itu perlu dianalisis lebih lanjut hubungan kapasitas dan *power watermark* agar mencapai hasil yang optimum.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis mengenai hubungan kapasitas *watermark* dengan nilai *power watermark* yang digunakan. Setelah hubungan didapat, hubungan tersebut diuji dengan beberapa variasi nilai *power watermark*. Adapun modulasi yang diujikan pada bagian skema signal mapping OFDM-CDMA ini adalah BPSK, QPSK dan 4-QAM.

II. METODE PENELITIAN

A. Penyisipan Watermark

Pada proses penyisipan, pertama-tama *watermark* dipetakan dengan proses signal mapping. *Watermark* yang digunakan adalah gambar biner dengan ukuran 32x32 pixel. Kemudian *watermark* diubah ke bentuk *conjugate symmetry* dan dikalikan dengan *spreading codes*. Pada gambar asli, pertama-tama dilakukan proses FFT (*Fast Fourier Transform*) lalu memilih lokasi penyisipan. Gambar asli yang digunakan adalah gambar dengan ukuran 512x512 pixel [9]. Adapun yang menjadi lokasi penyisipan pada penelitian ini adalah blok-blok Non-ROI (*Region of Interest*) Kemudian dilakukan metode penyisipan QIM dan diikuti proses IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) hingga menghasilkan gambar berwatermark. Blok diagram penyisipan *watermark* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram penyisipan *watermark*

1. *Signal Mapping*

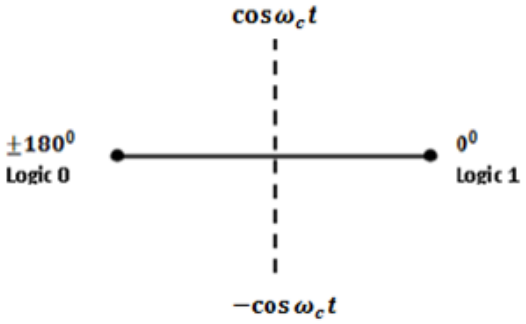
Skema signal mapping yang digunakan dapat bermacam-macam M-ary QAM atau M-ary PSK. Pada penelitian ini *signal mapping* yang digunakan adalah skema BPSK, QPSK dan 4-QAM.

BPSK merupakan salah satu teknik modulasi sinyal dengan konversi sinyal digital "0" atau "1" menjadi suatu simbol berupa sinyal kontinyu yang mempunyai dua fasa berbeda. Bit "1" dikodekan dengan pergeseran fasa sinyal *carrier* sebesar 0°, sedangkan bit "0" dikodekan dengan pergeseran fasa sinyal *carrier* sebesar 180°. Atau bisa juga sebaliknya. Dalam binary PSK (BPSK), komponen *in-phase* dari sinyal *baseband complex* dimodulasi menggunakan data input. Komponen *quadrature* sama dengan nol. Komponen *in-phase* (I) merepresentasikan bagian *real* dan komponen *quadrature* (Q) merepresentasikan bagian imajiner. Pada BPSK, sinyal *band-pass* didefinisikan sebagai:

$$s_1(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \quad \text{simbol 1} \qquad (1)$$

$$s_0(t) = -A_c \cos(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \pi) \text{ simbol 0} \qquad (2)$$

Persamaan diatas sesuai dengan plot konstelasi pada Gambar 2. Pada skema konstelasi M-ary ASK PSK, bit-bit pada gambar dipetakan menjadi M *plane*, masing- masing berisi S (0,1,2…,M-1) simbol dengan menggabungkan $\log_2 M$ bit dari tiap pixel. Pada pemetaan tersebut 2 bit dari gambar biner yang akan disisipkan dipetakan menjadi 2 *plane*, masing-masing berisi 2 simbol (0,1) dengan menggabungkan 1 bit dari tiap pixel. Karena *watermark* yang diproses berukuran 32x32 pixel, maka hasil keluaran BPSK ini adalah matriks bilangan kompleks dengan ukuran 32x32 bit.



Gambar 2. Diagram konstelasi BPSK

Kelebihan BPSK adalah menggunakan format yang sederhana sehingga cocok untuk transmisi data dengan kecepatan tinggi. Kekurangannya adalah hanya bisa mentransmisikan satu bit per simbol.

QPSK adalah pengembangan dari modulasi PSK. Dalam QPSK ada 4 fasa output berbeda. Karena input digital ke modulator QPSK adalah sinyal biner, maka untuk menghasilkan 4 output yang berbeda harus dipakai bit input lebih dari 1 bit tunggal. Setiap dua bit biner diwakili satu simbol. Keempat buah bentuk sinyal termodulasi QPSK masing-masing memiliki beda fasa 90°. Bentuk persamaan sinyal QPSK adalah sebagai berikut:

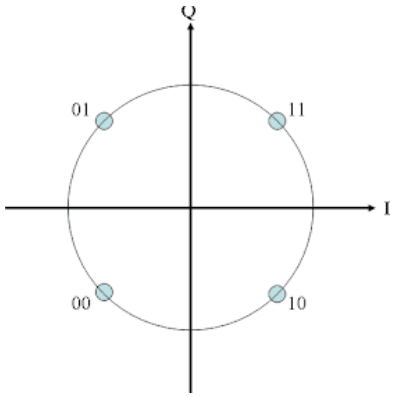
$$s_{00}(t) = A\sqrt{2}\sin(2\pi fct - 135°) \qquad (3)$$

$$s_{01}(t) = A\sqrt{2}\sin(2\pi fct - 45°) \qquad (4)$$

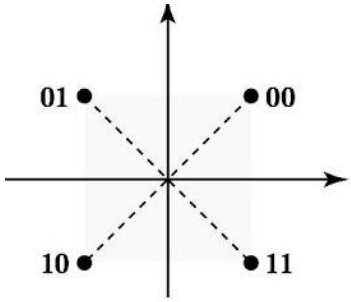
$$s_{10}(t) = A\sqrt{2}\sin(2\pi fct + 135°) \qquad (5)$$

$$s_{11}(t) = A\sqrt{2}\sin(2\pi fct + 45°) \qquad (6)$$

Pada modulasi QPSK, 2 bit dari gambar biner yang akan disisipkan dipetakan menjadi 4 *plane* seperti yang terlihat pada Gambar 3. Karena *watermark* yang diproses berukuran 32x32 pixel, maka hasil keluaran QPSK ini adalah matriks bilangan kompleks dengan ukuran 16x32 bit.



Gambar 3. Diagram konstelasi QPSK



Gambar 4. Diagram konstelasi 4-QAM

Kelebihan QPSK adalah memiliki *bandwidth* dua kali lebih besar dibandingkan BPSK, satu fasanya dapat mengkodekan 2 bit, dan BER lebih rendah daripada ASK dan FSK. Kekurangannya adalah fasanya lebih sensitive daripada BPSK.

QAM merupakan suatu metode untuk menggabungkan dua sinyal AM (*Amplitudo-Modulated*) dalam satu saluran, dengan pergeseran fasa 90° dan output yang dihasilkan terdiri dari variasi amplitude dan variasi fasa. Pada modulasi 4-QAM, variasi yang dihasilkan adalah 1 amplitudo dan 4 fasa. Bentuk persamaan sinyal QAM dapat ditulis sebagai berikut:

$$S(t) = I(t)\sin \omega ct + Q(t)\cos \omega ct \qquad (7)$$

dengan :

$I(t) = A\sin\theta$

$Q(t) = A\cos\theta$

$\omega c = frekuensi\ sinyal\ carrier\ (\frac{radian}{detik})$

$t = waktu\ (detik)$

Pada modulasi 4-QAM, 2 bit dari gambar biner yang akan disisipkan dipetakan menjadi 4 *plane* seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Sama seperti hasil keluaran QPSK, karena *watermark* yang diproses berukuran 32x32 pixel, maka hasil keluaran 4-QAM inipun adalah matriks bilangan kompleks dengan ukuran 16x32 bit.

QAM dapat mentransmisikan lebih banyak bit-bit informasi per simbol dibandingkan skema modulasi amplitudo dan skema modulasi phasa biasa sehingga dapat meningkatkan efisiensi transmisi. Kekurangan QAM adalah lebih rentan terhadap *noise* karena titik konstelasi yang berdekatan.

2. *Conjugate Symmetry*

Keluaran dari *watermark* yang telah melalui proses s*ignal mapping* adalah matriks *watermark* dengan nilai berupa bilangan kompleks, maka dari itu dibutuhkan proses *conjugate symmetry* agar bilangan kompleks tersebut tersusun sebagai bilangan *real*, sehingga ketika dikalikan dengan *spreading codes*, maka keluaran yang dihasilkan merupakan matriks bilangan real. Langkah untuk membangun *complex conjugate symmetry* ini ialah; untuk matriks C_i dengan ukuran MxN, sediakan tambahan baris kosong dibawahnya sebanyak M baris. Pindahkan bagian imajiner dari bilangan kompleks baris ke-1 kedalam baris m+1. Lalu gantikan bilangan kompleks pada baris ke-1 dengan bagian real pada baris ke-1. Lakukan hal yang sama untuk baris-baris berikutnya, hingga baris ke-M. Hasil akhir dari matriks conjugate symmetric yang dibutuhkan ialah matriks C_i berukuran 2MxN [5].

3. *Spreading Watermarks*

Prinsip sistem CDMA digunakan pada bagian spreading dari penelitian ini. Matriks conjugate symmerty berisi data yang berisikan antipodal bits $\boldsymbol{w_cgt_i} \in \{1,-1\}$. Pilih "*n*" buah deretan *mutually orthogonal spreading codes* $\boldsymbol{c_i} = [c_1, c_2, \ldots\ldots, c_l]$ dengan panjang "*l*". Panjang spreading codes yang digunakan berpengaruh terhadap orthogonalitas deretan *watermark*. Spreading codes ini harus mempunyai nilai rata-rata nol dan hasil kali transformasi sama dengan nol [2].

Pada penelitian ini *mutually orthogonal spreading codes* yang digunakan adalah Kode Walsh Hadamard sebanyak 8 deretan dengan panjang masing-masing deretan 256 bit. Pada percobaan dengan *signal mapping* BPSK, matriks *conjugate symmetry watermark* dengan ukuran 64x32 bit dibentuk menjadi matriks ukuran 256x8 bit, agar dapat dikalikan dengan matriks kode Walsh Hadamard. Sedangkan percobaan dengan *signal mapping* QPSK dan 4-QAM, Kode Walsh Hadamard yang digunakan sebanyak 8 deretan dengan panjang masing-masing deretan 128 bit, dan matriks *conjugate symmetry watermark* dengan ukuran 32x32 bit dibentuk menjadi matriks ukuran 128x8 bit. Proses perkaliannya sebagai berikut [2]:

$$cw = w_{cgt} * c \qquad (8)$$

dengan:

w_{cgt}= matriks *conjugate symmetry watermark*

c = matriks Walsh Hadamard codes

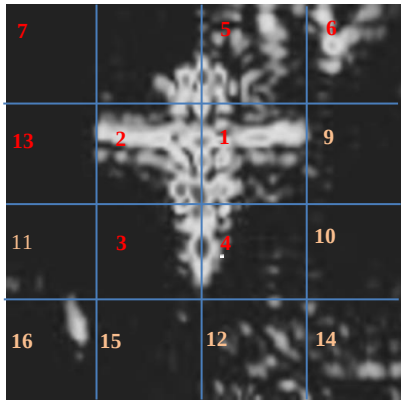
cw = matriks *watermark* yang telah disebar oleh spreading codes

4. *Pemilihan Lokasi Penyisipan :*

Pemilihan lokasi penyisipan pada penelitian ini berdasarkan konsep ROI (*Region of Interest*). ROI merupakan daerah-daerah pada gambar yang menarik perhatian manusia dibanding daerah lainnya. Pada [10], dijelaskan langkah-langkah untuk mendeteksi ROI pada suatu gambar. Pertama, gambar dibagi menjadi 16 blok. Kemudian, nilai ROI dihitung untuk setiap blok berdasarkan 5 parameter yang berpengaruh terkait daya tarik ROI sub-images tersebut, antara lain Intensitas, Kontras, Lokasi, *Edginess*, dan Tekstur. Ukuran untuk tiap parameter tersebut kemudian dinormalisasi dalam range (0,1) dengan simbol m_I, m_C , m_L , m_E , dan m_T. Setelah itu, dapat dihitung IM (*Importance Measure*) untuk tiap sub-gambar dengan rumus sebagai berikut:

$$IM(S_x) = m_I(S_x)^2 + m_C(S_x)^2 + m_L(S_x)^2 + m_E(S_x)^2 + m_T(S_x)^2 \quad (9)$$

Nilai IM dari tiap sub-gambar diurutkan dari yang paling tinggi hingga paling rendah. Sub-gambar yang memiliki nilai IM paling tinggi dianggap sebagai daerah yang paling penting. Sub-gambar dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok. 8 Sub-gambar dengan nilai IM tertinggi termasuk kedalam kelompok ROI, dan 8 sub-gambar lainnya sebagai kelompok Non-ROI. Adapun estimasi nilai kompleksitas gambar dapat dihitung dengan menghitung rata-rata nilai dari semua sub-gambar. Pada penelitian [8] dengan menggunakan gambar asli berukuran 512x512 pixel dan ukuran masing-masing sub-gambar 128x128 pixel, didapat nilai IM ternormalisasi dari tiap sub-gambar dan diperoleh urutan peringkat kompleksitas tiap sub-gambar seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Penentuan blok ROI dan Non-ROI

Delapan gambar peringkat 1-8 dikelompokkan sebagai ROI. Bagian ini dianggap sebagai bagian yang penting. Delapan gambar peringkat 9-16 dikelompokkan sebagai Non-ROI. Pada penelitian ini, gambar yang digunakan sama dengan gambar yang digunakan pada penelitian [8] sehingga pembagian ROI dan Non-ROI nya pun merujuk pada penelitian [8]. Pada penelitian ini, bagian Non-ROI dipilih sebagai lokasi penyisipan agar *watermark* tidak mempengaruhi bagian penting dalam gambar.

Untuk modulasi dengan BPSK, *cw* (matriks *watermark* yang telah disebar oleh *spreading codes*) yang telah didapat pada rumus (8) berukuran 256x256 bit sehingga membutuhkan 4 sub-gambar ukuran 128x128 bit untuk lokasi penyisipan. Sub-gambar yang dipilih adalah no. 11, 10, 16 dan 14 dikarenakan susunan rangking tersebut membentuk gabungan sub-gambar berukuran 256x256 pixel sehingga memudahkan penyisipan matriks *watermark* yang berukuran 256x256 bit. Sedangkan untuk modulasi QPSK dan 4-QAM, *cw* yang dihasilkan berukuran 128x128 bit sehingga hanya membutuhkan 1 sub-gambar untuk lokasi penyisipan. Sub-gambar yang dipilih adalah no.11 dikarenakan sub-gambar ini termasuk bagian Non-ROI.

Dari nilai IM yang telah didapat, dapat diestimasi kapasitas *watermark* dari gambar asli dapat dihitung menggunakan rumus :

$$C = W \log(1 + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_n^2}) \quad (10)$$

dengan:
W = *bandwidth* kanal
Dalam sebuah gambar dengan ukuran M pixel, *bandwidth* didapat dengan rumus W=M/2 sesuai dengan teori sampling Nyquist
σ_n^2 = varians *noise*
σ_w^2 = varians MWI (*Maximum Watermark Image*),

Persamaan di atas dapat dihitung dengan menggunakan estimasi yaitu $\overline{\sigma_w^2}$, dengan perhitungan:

$$\overline{\sigma_w^2} = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} (IM(S_x) \times \sigma_{wx}^2(S_x)) \quad (11)$$

dengan:
σ_{wx}^2 = varians dari nilai intensitas dalam sub-gambar *x.*

Hasilnya pada penelitian [8] total estimasi kapasitas yang didapat 459124 bit atau 1.75 bpp (bit per pixel).

5. *QIM (Quantization Index Modulation)*

Algoritma QIM yang digunakan mengacu pada algoritma yang dijelaskan oleh Chen [6]. Perubahan pesan akan didistribusikan keseluruh bidang lokasi penyisipan dalam domain spasi (ruang), setelah transformasi jika setiap titik (koefisien) diubah. Gambar asli yang akan disisipi *watermark* terlebih dahulu ditransformasi oleh FFT, sehingga keluaran koefisiennya menjadi frekuensi kompleks. Gambar asli yang tertransformasi ini kemudian dikuantisasi. Pembawa informasi *x* diubah oleh pengkuantisasi menjadi vektor *Q[x]*. Sementara itu *watermark* yang telah disebar oleh *spreading codes (cw)* dikali dengan *power watermark* (*a*), dan kemudian ditambahkan pada *Q[x]* sehingga menghasilkan vektor *y* [5]. Vektor *y* merupakan hasil gambar berwatermark. Rumus penyisipannya adalah:

$$y = Q[x] + (a * cw) \quad (12)$$

B. Pengekstraksian Watermark

Pengektraksian *watermark* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode ekstraksi *blind*, karena selama proses pengekstraksian tidak memerlukan gambar asli. Pertama, gambar ber-*watermark* ditransformasi oleh FFT sehingga koefisien keluarannya berada dalam domain frekuensi. Kemudian menentukan lokasi pengekstraksian yang mana sama dengan lokasi penyisipan. Kemudian dilakukan proses kebalikan dari QIM. Koefisien-koefisien informasi diketahui dengan menghitung perbedaan antara sinyal gambar berwatermark yang terkuantisasi dengan yang tidak terkuantisasi [2].

$$\widehat{cw} = \frac{y - Q[y]}{a} \quad (13)$$

Namun koefisien informasi ini belum dapat terbaca karena harus melalui proses korelasi silang antara koefisien informasi dengan *spreading codes* terlebih dahulu:

$$\hat{w} = \widehat{cw} * c^T \quad (14)$$

Hingga didapat *watermark* terekstraksi. Selanjutnya, dilakukan deconjugate symmetric dan signal mapping sesuai modulasi yang digunakan yakni De-BPSK/De-QPSK/ De-4QAM/ untuk memperoleh hasil akhir dari ekstraksi *watermark*.

C. Penghapusan Watermark

Setelah *watermark* berhasil diekstraksi, *watermark* dapat dihapus dari gambar pembawa, tanpa merusak gambar pembawa tersebut. Cara yang diajukan hampir sama dengan saat menyisipkan *watermark*, namun pada saat proses QIM, yang dilakukan adalah proses pengurangan *watermark*. Nilai power waternark (a) saat pengekstraksian harus sama dengan nilai *watermark* saat penyisipan.

$$z = Q[y] - (a * \widehat{cw}_2) \quad (15)$$

dengan $\widehat{cw}_2$ adalah penyebaran *watermark* hasil ekstraksi dengan *spreading codes*.

$$\widehat{cw}_2 = \hat{w} * c \quad (16)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar asli yang diujikan pada penelitian ini adalah pencitraan gambar militer, berjenis *gray scale* dengan format Bitmap ukuran 512x512 pixel [9] dan *watermark* yang digunakan adalah gambar dengan format Bitmap berukuran 32x32 pixel.

A. Penyisipan, Pengekstraksian, dan Penghapusan Watermark

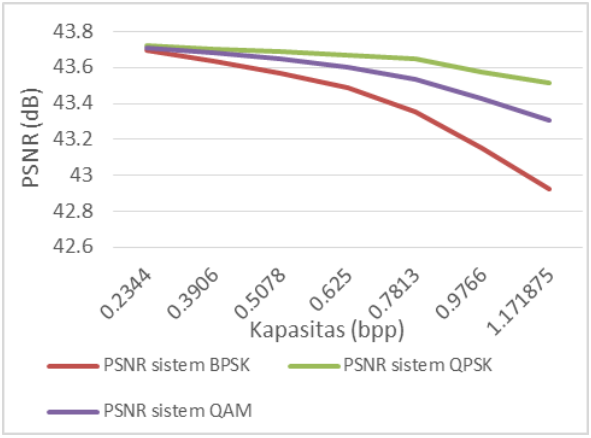
Percobaan pertama yaitu dilakukan penyisipan *watermark* dengan ukuran 32x32 pixel dengan menggunakan satu nilai power *watermark* (a) yaitu 0,08. Percobaan diujikan dengan 3 jenis modulasi yaitu BPSK, QPSK dan 4-QAM. Kualitas gambar berwatermark yang dihasilkan diukur dengan parameter PSNR dan MSE (*Mean Square Error*) sebagai berikut [11]:

$$PSNR = 10\, log_{10} \frac{255^2}{MSE}\, dB \quad (17)$$

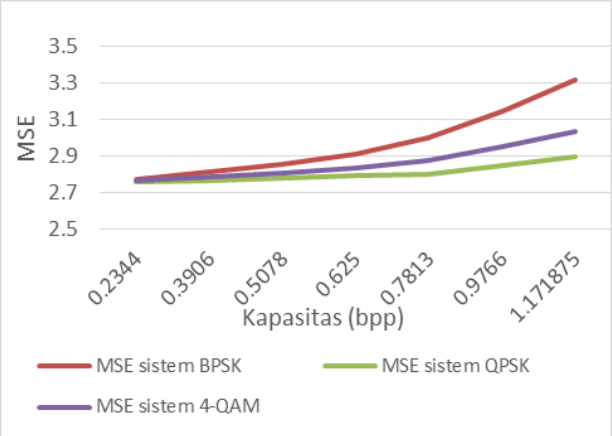
$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} (X_{(i,j)} - Y_{(i,j)})^2 \quad (18)$$

dengan:
$X_{(i,j)}$: koefisien gambar asli
$Y_{(i,j)}$: koefisien gambar berwatermark.

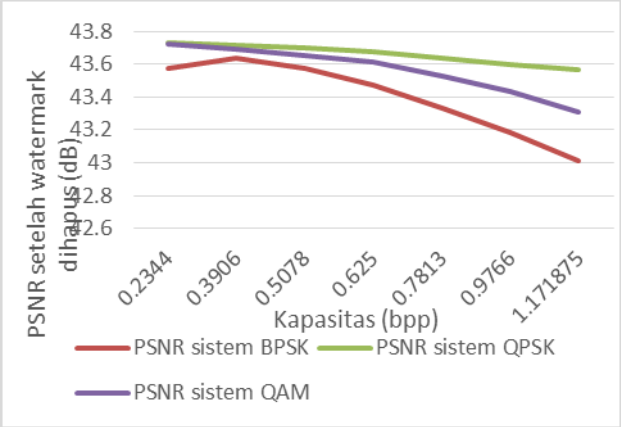
Hasil ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Perbandingan PSNR dengan kapasitas



Gambar 7. Perbandingan MSE dengan kapasitas



Gambar 8. Perbandingan hasil PSNR setelah penghapusan *watermark* dengan kapasitas *watermark*

Dari Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin besar kapasitas *payload watermark* yang disisipkan, semakin kecil PSNR yang dihasilkan dan semakin besar MSE nya. Hal ini dikarenakan semakin banyak bit-bit *watermark* yang disisipkan maka pengaruh terhadap perubahan koefisien gambar juga semakin besar sehingga menaikkan jumlah MSE dan menurunkan nilai PSNR, sehingga kualitas gambar semakin menurun.

Dari 3 jenis modulasi yang diujikan, tampak bahwa modulasi QPSK dan 4-QAM mempunyai nilai PSNR yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan PSNR hasil modulasi BPSK. Hal ini dikarenakan pada modulasi QPSK dan 4-QAM, 2 bit dari gambar biner yang akan disisipkan dipetakan menjadi 4 *plane*. *Watermark* yang diproses berukuran 32x32 pixel, maka hasil keluaran QPSK dan 4-QAM ini adalah matriks bilangan kompleks dengan ukuran 16x32 bit. Matriks ini lebih kecil jika dibandingkan matriks *watermark* keluaran BPSK yaitu matriks bilangan kompleks dengan ukuran 32x32 bit. Hal ini membuktikan QPSK dan 4-QAM dapat mentransmisikan lebih banyak bit-bit informasi per simbol dibandingkan dengan BPSK, sehingga mengefisiensikan transmisi data.

Setelah penyisipan dilakukan, pengujian selanjutnya adalah mengekstraksi *watermark* untuk mengetahui bit *error* yang dihasilkan. Proses ekstraksi dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada Bab III. *Watermark* hasil ekstraksi kemudian dibandingkan dengan *watermark* asli untuk dihitung tingkat *error* nya menggunakan parameter BER.

$$\text{BER} = \frac{\text{jumlah bit } error}{\text{total jumlah bit}} \qquad (19)$$

Tabel 1 menunjukkan BER dari hasil ekstraksi *watermark*.

Tabel 1. BER *watermark* hasil ekstraksi

Kapasitas(bpp)	BER BPSK	BER QPSK	BER 4-QAM
0,2344	0	0	0
0,3906	0	0	0
0,5078	0	0	0
0,625	0,0068	0	0,000977
0,7813	0,006836	0	0,0068
0,9766	0,000977	0	0,0049
1,171875	0,0146	0,0107	0,0225

Hasil pada Tabel 1 merupakan nilai BER dengan menggunakan nilai *power watermark* yang sama yaitu 0,08 didapat hasil bahwa kapasitas maksimum BPSK dan 4-QAM sebelum terdapat *error* yaitu 0,5078 bpp (bit per pixel). Sedangkan kapasitas maksimum QPSK sebelum terdapat *error* yaitu 0,9766 bpp. Sehingga dapat disimpulkan QPSK memiliki kapasitas *watermark* yang lebih tinggi dibandingkan BPSK dan 4-QAM. QPSK dapat mempertahankan nilai *error* yang kecil karena pada QPSK, satu simbol mewakili dua bit biner. Kesalahan pada dua bit akan lebih kecil probabilitasnya dibandingkan dengan kesalahan pada satu bit. Nilai bit *error* QPSK lebih kecil dibanding skema modulasi lainnya [12].

Setelah ekstraksi *watermark* didapat, *watermark* dapat dihapus dari gambar pembawa, tanpa merusak kualitas gambar pembawa. Hasil kualitas gambar pembawa setelah penghapusan *watermark* dapat dilihat pada Gambar 8.

Dapat dilihat pada persamaan (15), gambar berwatermark dikurangi *watermark* hasil ekstraksi. Maka BER yang dihasilkan saat ekstraksi *watermark* berpengaruh terhadap kualitas gambar setelah penghapusan *watermark*. Apabila BER nya kecil, kualitas gambar pembawa akan tetap baik setelah *watermark* dihapus dari gambar pembawa.

Hal ini berlaku pada semua modulasi baik BPSK, QPSK dan 4-QAM.

B. Analisa Kapasitas Watermark

Dari hasil yang didapat pada proses ekstraksi *watermark*, dapat dianalisis pada nilai power *watermark* dan nilai kapasitas maksimum berapakah yang menghasilkan nilai BER=0 atau mendekati 0.

Pada sistem BPSK dan 4-QAM, dengan nilai *watermark* 0,08 didapat kapasitas maksimum sebesar 0,5078 bpp untuk menghasilkan BER=0. Bila nilai power *watermark* dikalikan dengan nilai kapasitas, akan didapat nilai pembagi:

$$0{,}08 * 0{,}5078 = 0{,}040624$$

Dari hasil tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$power\ watermark * kapasitas = 0{,}040624$$

Dari persamaan di atas, dapat dihitung kapasitas dari nilai power *watermark* atau sebaliknya, dengan perbandingan:

$$kapasitas = 0{,}040624/power\ watermark \quad (20)$$

Sedangkan pada sistem QPSK, dengan nilai *watermark* 0,08 didapat kapasitas maksimum sebesar 0,9766 bpp untuk menghasilkan BER=0 atau mendekati 0. Bila nilai power *watermark* dikalikan dengan nilai kapasitas, akan didapat nilai pembagi:

$$0{,}08 * 0{,}9766 = 0{,}078218$$

Dari hasil tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$power\ watermark * kapasitas = 0{,}078218$$

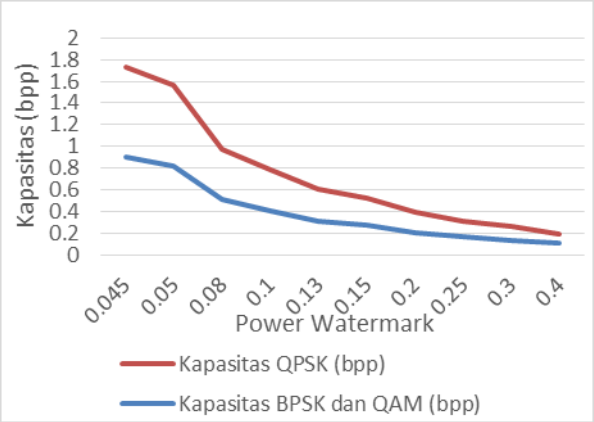
Dari persamaan di atas kita dapat mencari kapasitas dari nilai power *watermark* atau sebaliknya, dengan perbandingan:

$$kapasitas = 0{,}078218/power\ watermark \quad (21)$$

Dengan menggunakan beberapa nilai *power watermark* yang bervariasi dari 0,045 sampai 4, didapat grafik nilai kapasitas maksimum yang menghasilkan BER = 0 atau mendekati 0 yang ditunjukkan pada Gambar 9. Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan nilai BER untuk beberapa nilai yang diujikan.

Hasil pada Tabel 2 dan 3 membuktikan bahwa dengan menggunakan (20) dan (21) kita dapat mengetahui kapasitas maksimum yang dapat digunakan sesuai nilai *power watermark*nya, untuk menghasilkan BER=0 atau mendekati 0.

Gambar 10 menampilkan hasil gambar berwatermark dengan modulasi QPSK, *power watermark* sebesar 0,045 dan kapasitas *payload watermark* sebesar 1,736178 bpp. PSNRyang dihasilkan pada gambar berwatermark didapat sebesar 43,5781 dB. BER hasil ekstraksi sebesar 0, dan PSNR setelah *watermark* dihapus sebesar 43,5982 dB.



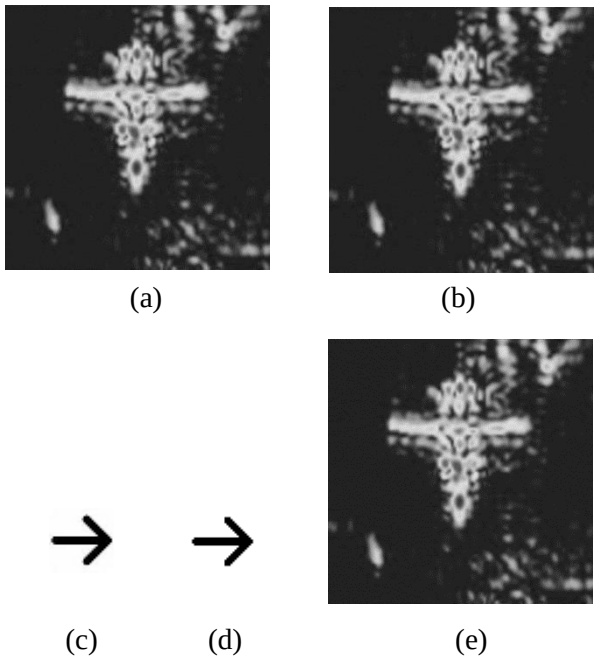
Gambar 9. Perbandingan kapasitas dan power *watermark* yang digunakan

Tabel 2. Nilai BER hasil pengekstraksian *watermark* pada modulasi BPSK dan 4-QAM

Power Watermark	Kapasitas (bpp)	BER BPSK	BER 4-QAM
0,045	0,902756	0	0
0,08	0,5078	0	0
0,4	0,10156	0	0

Tabel 3. Nilai BER hasil pengekstraksian *watermark* pada modulasi QPSK

Power Watermark	Kapasitas (bpp)	BER QPSK
0,045	1,736178	0
0,08	0,9766	0
0,4	0,19532	0



Gambar 10. (a) Gambar asli (b) Gambar berwatermark (PSNR= 43,5781 dB) (c) *Watermark* asli 32x32 (d) *Watermark* hasil ekstraksi (BER=0) (e) Gambar setelah *watermark* dihapus (PSNR=43.5982 dB)

Pada [8] penyisipan *watermark* dengan menggunakan modulasi BPSK dan nilai *power watermark* sebesar 0,08 didapat hasil kapasitas maksimum sebelum terdapat *error* yaitu 0,9766 bpp. Namun pada penelitian tersebut belum diketahui nilai kapasitas maksimum yang dapat digunakan agar tetap menghasilkan BER=0 jika digunakan nilai *power watermark* yang berbeda-beda.

IV. KESIMPULAN

Pada *watermarking* reversibel, BER (*Bit Error Rate*) yang dihasilkan saat ekstraksi *watermark* berpengaruh terhadap kualitas gambar setelah penghapusan *watermark*. Apabila BER nya kecil, maka kualitas gambar setelah penghapusan *watermark* akan baik. Dalam mempertahankan nilai BER yang kecil, besarnya nilai kapasitas *watermark* yang digunakan berbanding terbalik dengan besar nilai *power watermark*. Didapat hasil, dari *power watermark* terkecil yang diujikan yaitu, pada modulasi BPSK dan QAM, dengan nilai α=0,045 didapat kapasitas *watermark* sebesar 0,9028 bpp. Sedangkan pada modulasi QPSK dengan nilai α=0,045 didapat kapasitas *watermark* sebesar 1,7361 bpp. Untuk penelitian lebih lanjut, dapat diteliti mengenai ketahanan sistem *watermarking* ini dalam menghadapi *attack* atau serangan. Selain itu, dapat dianalisa juga parameter lain yang dapat meningkatkan performa sistem misalnya pemakaian kode lain untuk *spreading codes* pada bagian CDMA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Bandung yang telah mendanai penelitian ini melalui Skema Penelitian Mandiri DIPA POLBAN tahun 2020, Nomor: B/249.70/PL1.R7/PG.00.03/2020.

REFERENSI

[1] G. C. Langelaar, I. Setyawan and R. L. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data. A state-of-the-art overview," in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 17, no. 5, pp. 20-46, Sep 2000.

[2] M. K. Samee and J. Götze, "CDMA based blind and reversible watermarking scheme for images in Wavelet domain," IEEE *19th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, pp. 154-159, Vienna, 2012.

[3] K. Asifullah, A. Siddiqa, S. Munib, and S. A. Malik, "A recent survey of reversible watermarking techniques," *Elsevier Information Sciences*, vol. 279, pp. 251-272, April 2014.

[4] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich, and T. Kalker, "Digital watermarking and steganography," *Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier*, USA, 2008.

[5] T. S. Fan, J. S. Xue, W. H. Xuan, and D. P. Qu, "OFDM Information Hiding Method by Preposition Embedded QIM," *IEEE Computational Intelligence for Modelling Control & Automation, 2008 International Conference on*, pp. 19-24, Vienna, 2008.

[6] B. Chen and G. W. Wornell, "Quantization index modulation: A class of provably good methods for digital watermarking and information embedding," *submitted to IEEE Trans. on Information Theory*, 1999.

[7] S. Maiti, A. Roy, T. S. Das, and S. K. Sarkar, "OFDM based high capacity information hiding in grey scale image," *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, vol. 1, no. 6, January 2012.

[8] R. Hasanah and M. S. Arifianto, "A high payload reversible watermarking scheme based-on OFDM-CDMA," *10th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA)*, October 2016.

[9] http://glcharvat.com/Dr._Gregory_L._Charvat_Projects/Synthetic_Aperture_Radar_(SAR).html, (diakses terakhir Oktober 2020)

[10] F. Yaghmaee and M. Jamzad, "Estimating watermarking capacity in gray scale images based on image complexity," *EURASIP Journal on Advance in Signal Processing*, vol. 2010, January 2010.

[11] M. B. Aliwa, T. E. El-Tobely, M. M. Fahmy, M. E. S. Nasr, and M. H. Abd El-Aziz, "Fidelity and robust digital watermarking adaptively pixel based on medial pyramid of embedding error gray scale images", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 10, no. 6, June 2010.

[12] S. Haykin, "Communication System 4th Edition," *John Wiley & Sons, Inc.*, USA, 2001.