

## COMPRESSIVE SENSING BERBASIS DCT-DWT UNTUK KOMPRESI WATERMARK PADA WATERMARKING CITRA DIGITAL DENGAN DOMAIN SWT-SVD

### COMPRESSIVE SENSING BASED ON DCT-DWT FOR WATERMARK COMPRESSION ON DIGITAL IMAGE WATERMARKING WITH SWT- SVD

Muhammad Rizqi<sup>1</sup>, Efri Suhartono<sup>2</sup>, I Nyoman Apraz Ramantryana<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[muhrizzqii@gmail.com](mailto:muhrizzqii@gmail.com), <sup>2</sup>[efrisuhartono@telkomuniversity.ac.id](mailto:efrisuhartono@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[ramatryana@gmail.com](mailto:ramatryana@gmail.com)

#### Abstrak

*Image watermarking* adalah proses perlindungan hak cipta dari suatu objek (gambar) dengan memberikan tanda di dalam objek tersebut. Teknik *image watermarking*, dikatakan baik apabila tanda yang disisipkan tidak tampak oleh kasat mata dan objek pembawanya tidak mengalami penurunan kualitas serta tanda yang disisipkan harus tahan terhadap berbagai pengolahan sinyal.

Pada tugas akhir ini di implementasikan sistem *image watermarking* pada *watermark* dan *host* dalam bentuk citra hitam putih dan *Red Green Blue* (RGB). Pada sistem *image watermarking* menggunakan metode *Compressive Sensing* (CS) berbasis *Discrete Cosine Transform-Discrete Wavelet Transform* (DCT-DWT), *Stationary Wavelet Transform-Singular Value Decomposition* (SWT-SVD) dan proses rekonstruksi menggunakan algoritme *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP).

Pengujian dilakukan terhadap sistem yang di bangun dan telah dilakukan beberapa skenario pengujian dalam memperoleh analisis terkait dengan performansi sistem yang mampu dihasilkan. Pengaruh CS pada pengujian menghasilkan nilai *Mean Square Error* (MSE) 4,396208, *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) 41,70416 dan *Bit Error Rate* (BER) 0,185565. Dan pengaruh tanpa CS pada pengujian menghasilkan nilai *Mean Square Error* (MSE) 3,53102, *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) 42,6518 dan *Bit Error Rate* (BER) 0,19686  
 Kata kunci: *Image watermarking*, CS, DCT-DWT, SWT-SVD, OMP, MSE, PSNR, BER

#### Abstract

*Image watermarking* is the process of protecting the copyright of an object (image) by giving a sign inside the object. *Image watermarking* technique is said to be good if the inserted sign does not appear to be visible and the carrying object does not experience a decrease in quality and the inserted sign must be resistant to various signal processing.

This final project implements an *image watermarking* system on *watermarks* and *hosts* in the form of *black and white* and *Red Green Blue* (RGB) images. The *image watermarking* system uses the *Compressive Sensing* (CS) method based on *Discrete Cosine Transform-Discrete Wavelet Transform* (DCT-DWT), *Stationary Wavelet Transform-Singular Value Decomposition* (SWT-SVD) and the reconstruction process using the *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP) algorithm.

Tests are carried out on systems that are built and several test scenarios have been carried out in

obtaining analysis related to the system performance that can be produced. The effect of CS on the test results in the value of Mean Square Error (MSE) 4,396208, Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) 41,70416 and Bit Error Rate (BER) 0,185565. And the effect without CS on the test resulted in the value of MSE 3.53102, PSNR 42.6518 and BER 0.19686

**Keywords:** *Image watermarking*, CS, DCT-DWT, SWT-SVD, OMP, MSE, PSNR, BER

## 1. Pendahuluan

Perkembangan multimedia dan teknologi saat ini menjadi lebih mudah dan murah. Perkembangan sistem multimedia ditandai dengan pengontrolan terpadu menggunakan komputer dalam manipulasi, presentasi, penyimpanan dan komunikasi informasi digital. Perkembangan tersebut membawa keuntungan, dan pada saat yang bersamaan memberikan peluang kepada orang yang tidak bertanggung jawab terhadap karya cipta seperti pemalsuan, serangan dan lain sebagainya. Pembajakan tersebut tentu sangat merugikan pencipta, oleh karena itu dibutuhkan teknologi yang mampu melindungi karya cipta. Salah satu metode perlindungan karya cipta adalah dengan menggunakan teknik *watermarking*.

*Watermarking* adalah suatu cara untuk menyembunyikan data tertentu ke dalam suatu data digital lainnya, tetapi tidak diketahui kehadirannya oleh indera manusia dan mampu menghadapi proses-proses pengolahan sinyal digital yang tidak merusak kualitas data yang terwatermark sampai pada tahap tertentu. Sistem image watermarking dibuat menggunakan CS pada citra pesan yang dikompresi dengan metode DCT berfungsi untuk merubah domain spasial ke domain frekuensi, lalu metode DWT berfungsi untuk menghasilkan sparse signal. Dan proses penyisipan menggunakan metode SWT yang berfungsi untuk memilih koefisien gambar dari empat subband, kemudian dengan metode SVD berfungsi untuk transformasi matriks pada subband yang terpilih. Pada teknik rekonstruksi menggunakan OMP berfungsi untuk mengembalikan citra watermark setelah dilakukan proses penyisipan dan juga proses ekstraksi sehingga pesan lebih sulit untuk dipecahkan. Dalam melakukan penelitian ini, penulis mengacu pada “**Analysis of SWT-SVD Digital Image Watermarking Technique**” dimana pada penelitian sebelumnya belum terdapat metode CS

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Image Watermarking

Image watermarking adalah proses penyisipan *watermark* berupa teks/citra/audio/video ke dalam citra *host*. Penyisipan *watermark* ke citra *host* bertujuan untuk perlindungan karya cipta gambar yang mengidentifikasi data gambar atas informasi karya cipta

### 2.2 Citra RGB

Citra yang nilai intensitas pixelnya tersusun oleh tiga kanal warna yaitu merah, hijau, biru. Pada citra RGB, masing-masing kanal warna memiliki nilai intensitas pixel dengan kedalaman bit sebesar 8 bit (1 byte) yang artinya memiliki variasi warna sebanyak  $2^8=256$  derajat warna. Sehingga variasi warna pada setiap pixel pada citra RGB adalah sebanyak  $256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$

### 2.3 Compressive Sensing

CS atau pencuplikan kompresif adalah metode kompresi dengan melakukan pengambilan beberapa *sample* pada transformasi proyeksi yang digunakan. Terdapat dua transformasi penting di dalam CS, diantaranya [1]:

- *Projection transform*: Suatu sistem transformasi dimana sinyal dikompres atau dicuplik dan transformasi seperti ini biasanya dipakai untuk pengukuran dan pengamatan
- *Sparsity transform*: Suatu sistem transformasi yang membuat sinyal menjadi jarang dan biasanya dipakai untuk mencari komponen jarang dari sinyal

$$Y = A \times W$$

#### 2.4 Discrete Cosine Transform

Proses transformasi DCT adalah proses transformasi data dari domain waktu ke domain frekuensi, yang mampu memisahkan informasi pada frekuensi rendah hingga frekuensi tinggi. Dalam sebuah citra, informasi utama yang dikandungnya lebih banyak terdapat pada frekuensi rendah dan menengah, sedangkan informasi yang berada pada frekuensi tinggi adalah informasi detail. Ini sebagaimana sifat visual mata manusia yang tidak begitu sensitif pada perubahan informasi detail tetapi sangat sensitif pada informasi global. Ini menunjukkan bahwa menghilangkan informasi detail citra tidak menghilangkan makna informasi yang terkandung pada citra. Untuk menghilangkan informasi detail ini dapat dilakukan melalui proses DCT [2]

#### 2.5 Discrete Wavelet Transform

*Discrete wavelet transform* (DWT) mulai dikembangkan pada tahun 1976 dengan teknik dekomposisi sinyal waktu diskrit [8]. Secara umum *Discrete wavelet transform* (DWT) adalah dekomposisi citra pada frekuensi *subband* citra. Komponen tersebut dihasilkan dengan cara menurunkan level dekomposisi. Penggambaran skala waktu sinyal digital pada *Discrete wavelet transform* (DWT) dengan cara melakukan teknik filterisasi *digital*. Teknik ini dilakukan dengan melewatkan sinyal yang akan dianalisis didalam filter pada frekuensi dan skala yang berbeda [3 8]

#### 2.6 Stationary Wavelet Transform

Transformasi wavelets digunakan untuk mendekomposisi frekuensi menjadi dua bagian; data frekuensi tinggi dan data frekuensi rendah. Jumlah dekomposisi pada proses ini biasanya ditentukan oleh penggunaan dan panjang dari sinyal asli. Data yang didapat dari proses ini disebut koefisien SWT. Data asli dapat dikonstruksi kembali dari koefisien tersebut dengan proses inverse SWT [4]

#### 2.7 Singular Value Decomposition (SVD)

*Singular Value Decomposition* atau yang biasa disingkat dengan SVD adalah generalisasi dari dekomposisi suatu nilai eigen yang digunakan dalam proses analisa matriks segi empat. Pada penggunaannya Dekomposisi eigen dapat menyederhanakan kedalam 2 bagian matrik. Sedangkan SVD akan melakukan proses dekomposisi dengan menghasilkan 3 matriks yang sederhana terdiri dari 1 matriks diagonal dan 2 matriks orthogonal [5 15].

#### 2.8 Mean square Error

MSE adalah algoritme validasi citra yang paling sederhana, dan paling banyak digunakan, MSE adalah rekomendasi pengukuran kualitas citra yang cukup baik (Varnan et al., 2011). Algoritme ini paling sering digunakan untuk *signal processing*. Persamaan MSE dapat dilihat dibawah ini :

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x(i, j) - y(i, j))^2$$

Diimana  $x(i, j)$  merepresentasikan citra yang asli dan  $y(i, j)$  merepresentasikan citra yang sudah dimodifikasi atau yang sudah dikenai proses pengolahan citra, serta  $i$  dan  $j$  adalah posisi piksel dari citra  $M \times N$ . MSE bernilai 0 ketika  $x(i, j) = y(i, j)$ .

#### 2.9 Peak Signal to Noise Ratio

PSNR adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui kualitas citra hasil ekstraksi pada sistem

yang dibuat. Berikut persamaan untuk mencari nilai PSNR:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

Kualitas suatu citra dapat dikatakan baik apabila nilai PSNR lebih dari 40 dB tetapi jika nilai PSNR semakin kurang dari 30 dB maka kualitas yang dihasilkan pada saat ekstraksi kurang baik [6].

### 2.10Bit Error Rate

Merupakan parameter untuk menghitung tingkat kesalahan bit yang diterima oleh sistem setelah proses ekstraksi watermark. BER didapat setelah melakukan perbandingan antara bit-bit hasil ekstraksi dan bit-bit awal yang disisipkan. Adanya perbedaan antara keduanya dapat dikatakan sebagai error dan sejumlah bit yang benar akan dibagi dengan keseluruhan bit yang ada dan akan didapatkan nilai BER dalam persen [8].

$$BER = \frac{\text{jumlah bit salah}}{\text{jumlah bit keseluruhan}} \times 100\%$$

## 3. Implementasi Sistem

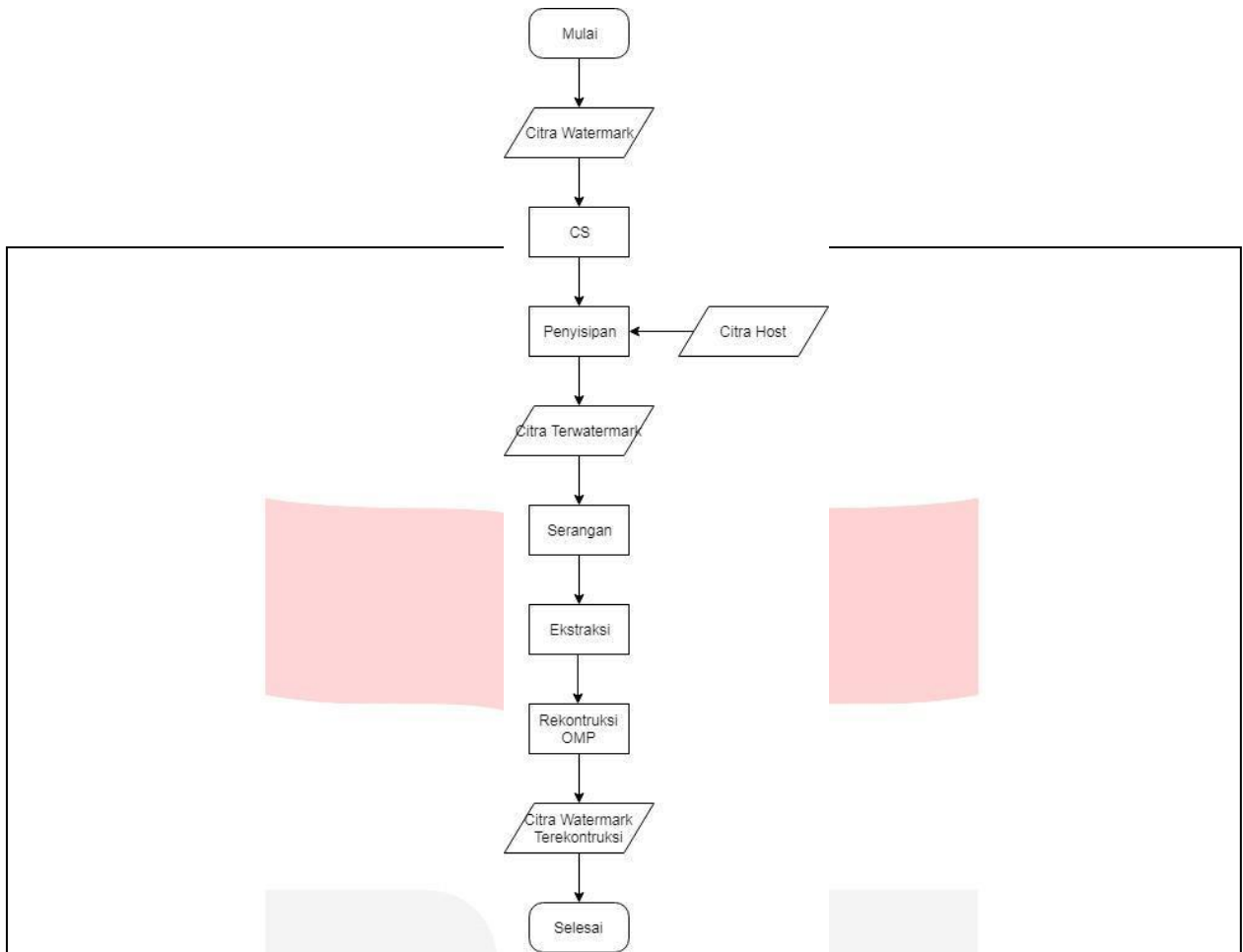
### 3.1 Pendukung Sistem

Dalam pembuatan tugas akhir ini, dibutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak sebagai pendukung penelitian. Diantaranya:

- **Perangkat keras**
  - Processor* : Intel(R) Core(TM) i5-2450M CPU @ 2.50GHz
  - Memory* : 4GB
  - Harddisk* : 500 GB
- **Perangkat lunak**
  - Operating System* : Windows 7
  - Programming Tools* : Matlab (R2017a)

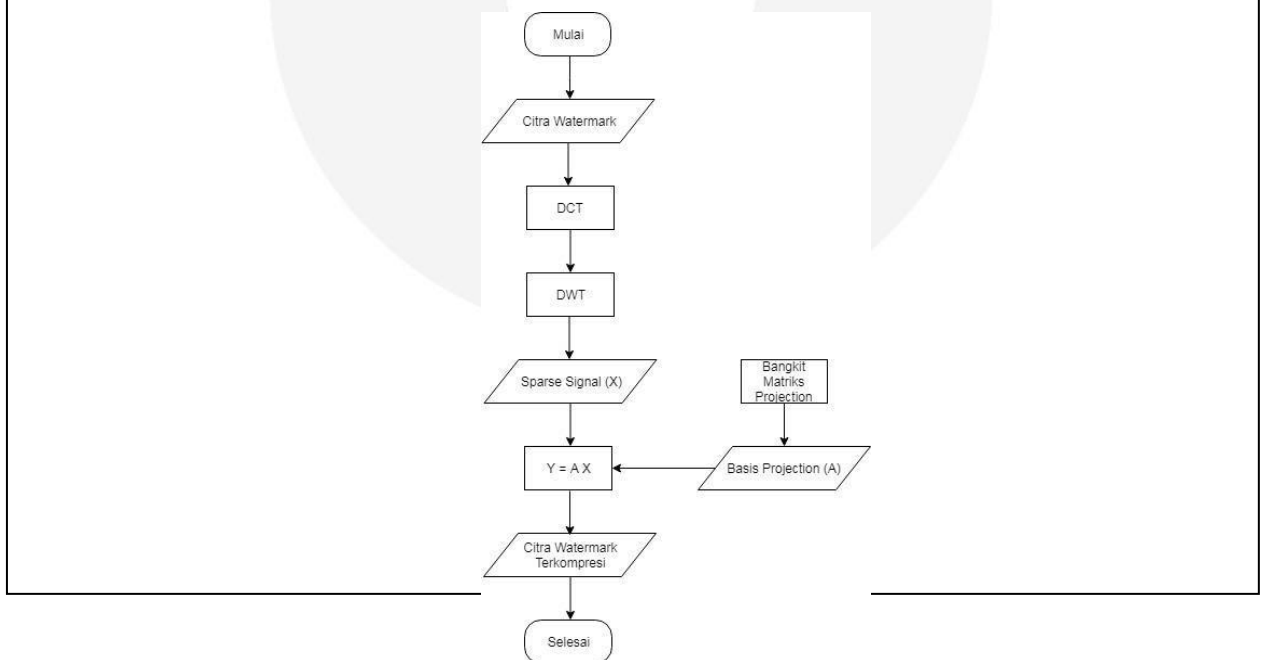
### 3.2 Deskripsi Sistem

Secara umum, pada tugas akhir ini di implementasikan sistem *image watermarking* yang disisipkan gambar. Kedua gambar tersebut merupakan gambar digital *grayscale* dengan format *Joint Photographic experts Group (JPEG)*, pada *image watermark* dilakukan proses kompresi menggunakan CS berbasis DCT-DWT. Pada citra host dilakukan proses penyisipan dengan metode SWT-SVD. Setelah itu, citra terwatermark dari sistem diberikan serangan. Kemudian proses ekstraksi dan rekonstruksi *image watermark* terkompresi ke keadaan seperti semula menggunakan algoritme OMP. Berikut blok diagram deskripsi sistem. Berikut blok diagram deskripsi sistem



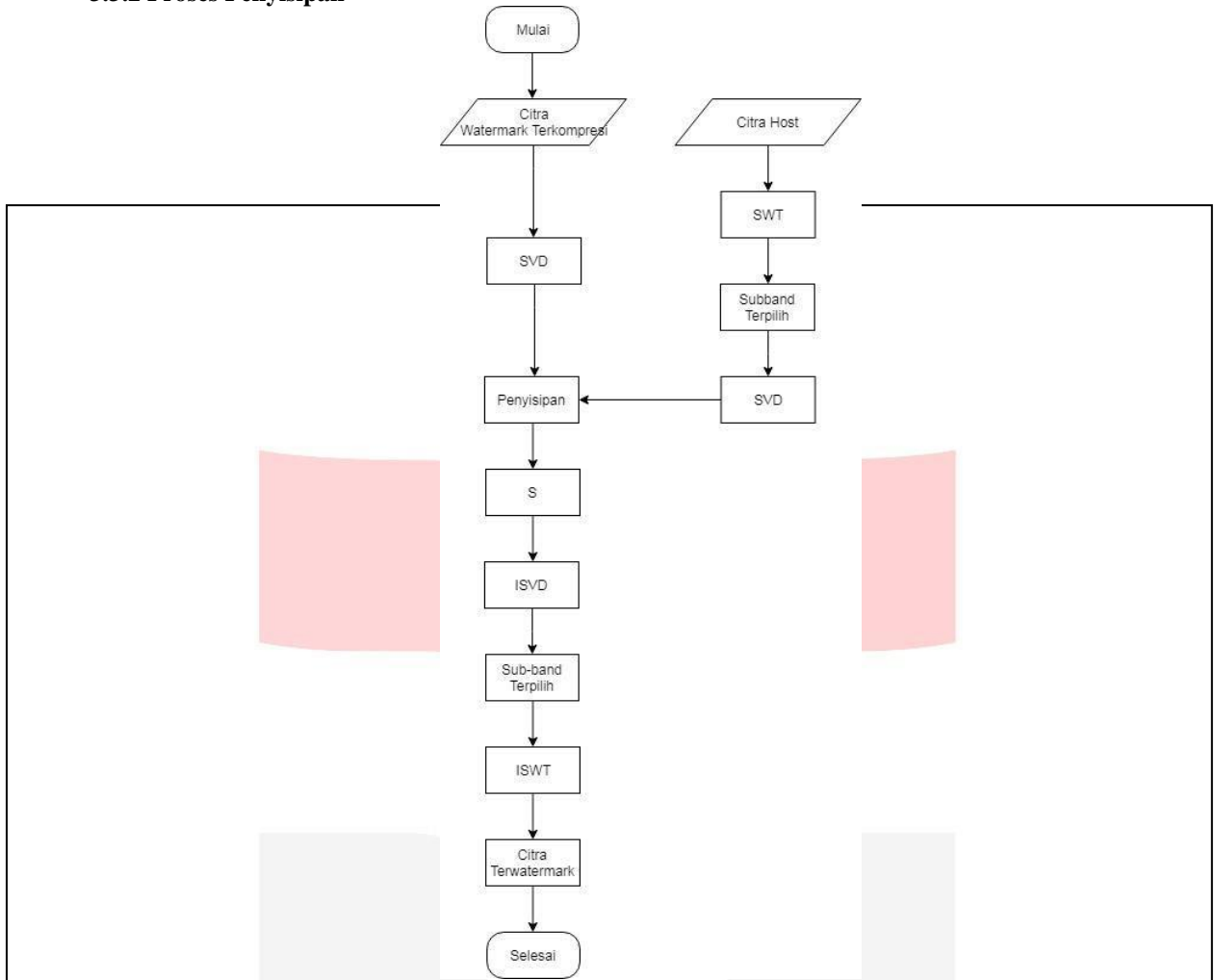
Gambar 3.1 Blok Diagram Deskripsi Sistem

**3.3 Proses Sistem**  
**3.3.1 Proses Compressive Sensing**



Gambar 3.2 Blok Diagram Proses CS

### 3.3.2 Proses Penyisipan



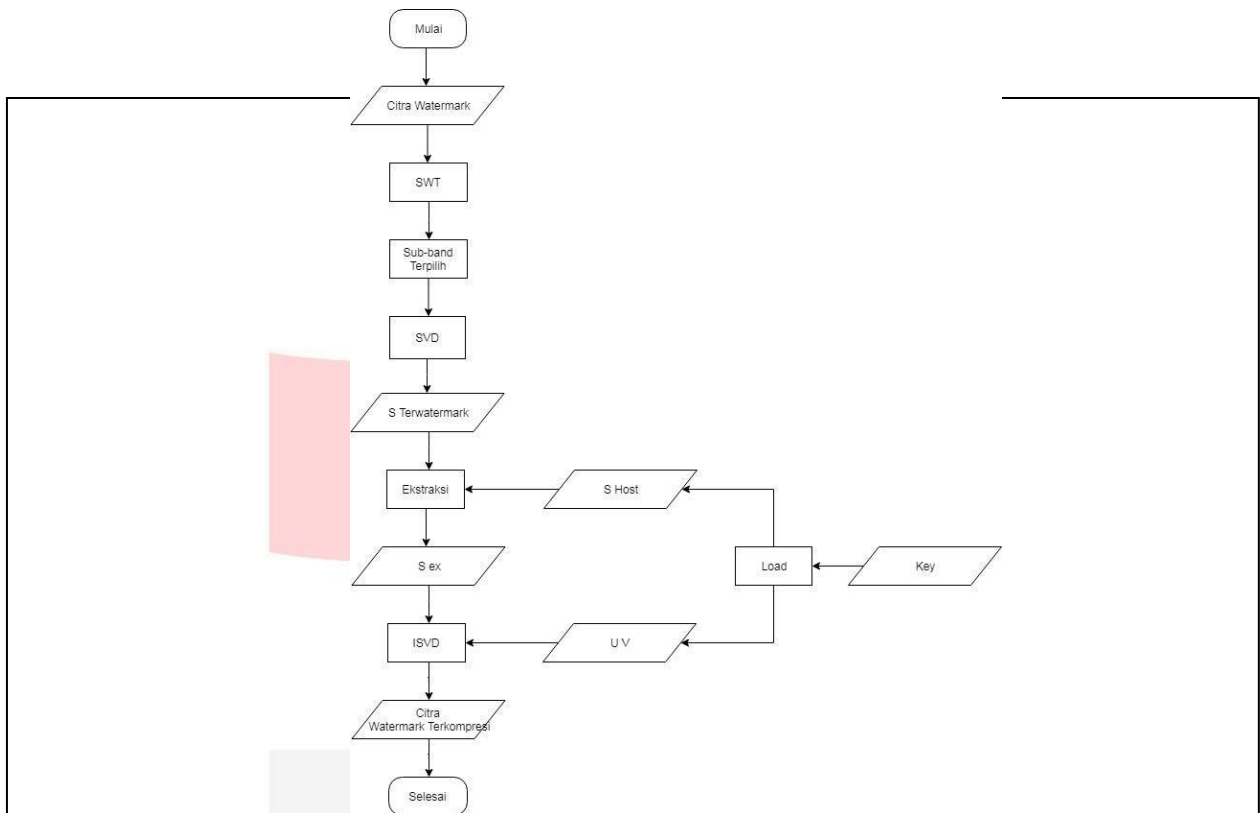
Gambar 3.3 Blok Diagram Proses Penyisipan

### 3.3.3 Proses Serangan

Pada tahap ini, citra terwatermark diberi serangan berupa *gaussian noise* dan *salt and pepper noise* untuk menguji ketahanan sistem. Berikut penjelasan dari serangan yang digunakan:

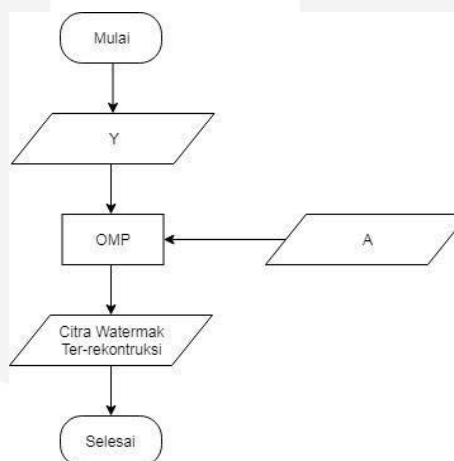
- *Gaussian noise* merupakan model *noise* yg mengikuti distribusi normal *standard* dengan rata-rata nol dan standard deviasi 1. Efek dari noise ini adalah munculnya titik-titik berwarna yg jumlahnya sama dengan persentase *noise*
- *Salt and pepper noise* merupakan model *noise* seperti taburan garam dan lada yang memberikan warna putih dan hitam pada titik yang terkena noise

### 3.3.4 Proses Ekstraksi



Gambar 3.4 Blok Diagram Proses Ekstraksi

### 3.3.5 Proses Rekontruksi OMP



Gambar 3.5 Blok Diagram Proses Rekontruksi OMP

## 4. Pengujian dan Analisis Sistem

### 4.1 Pengujian Sistem

Pada tugas akhir ini, di analisis sistem yang telah dibuat menggunakan citra watermark berupa citra hitam putih dan citra host berupa citra RGB. Pada pengujian sistem, telah dilakukan beberapa skenario pengujian dalam memperoleh analisis terkait dan dilakukan pengujian sistem terhadap serangan berupa gaussian noise dan salt and pepper noise. Pengujian ini di analisis pada 1 citra watermark dan 5 citra host menggunakan CS, setelah di dapatkan hasil masing-masing citra host kemudian dihitung nilai rata-rata untuk mendapatkan performansi sistem. Penilaian sistem image watermarking berdasarkan parameter

MSE, PSNR dan BER. Penilaian MSE dan PSNR dihasilkan dari citra terwatermark, sedangkan nilai BER dihasilkan dari citra *watermark* terekonstruksi

#### 4.2 Skenario Pengujian

Pada skenario pengujian sistem, telah dilakukan beberapa skenario pengujian, di antaranya sebagai berikut :

1. Pengujian evaluasi pemilihan resolusi citra *watermark* dan citra *host*
2. Pengujian evaluasi pemilihan *measurement rate*
3. Pengujian evaluasi pemilihan *layer* warna dan *subband*
4. Pengujian evaluasi pemilihan mother wavelet, level dan rasio
5. Pengujian ketahanan sistem dengan serangan *gaussian noise* dan *salt and pepper noise*

##### 4.2.1 Pengujian Evaluasi Pemilihan Resolusi Citra Watermark dan Citra Host

| Resolusi | MSE      | PSNR     | BER      |
|----------|----------|----------|----------|
| 32       | 0,336308 | 52,90404 | 0,338794 |
| 64       | 0,974713 | 48,24434 | 0,221387 |
| 128      | 3,21457  | 43,06516 | 0,214764 |
| 256      | 10,91013 | 37,76918 | 0,209207 |
| 512      | 46,5983  | 31,48818 | 0,219248 |

Tabel 4.1 Nilai Rata-Rata Performasi untuk Resolusi Citra Watermark

| Resolusi | MSE      | PSNR     | BER      |
|----------|----------|----------|----------|
| 128      | 11,31506 | 37,61332 | 0,228186 |
| 256      | 2,93549  | 43,46092 | 0,226141 |
| 512      | 0,795512 | 49,13008 | 0,170904 |
| 1024     | 0,25072  | 54,15408 | 0,128149 |

Tabel 4.2 Nilai Rata-Rata Performasi untuk Resolusi Citra Host

##### 4.2.2 Pengujian Evaluasi Pemilihan Measurement Rate

| Rate | MSE      | PSNR     | BER      |
|------|----------|----------|----------|
| 10%  | 0,258774 | 54       | 0,693177 |
| 20%  | 0,380635 | 52,38694 | 0,346094 |
| 30%  | 0,208625 | 54,99158 | 0,576489 |
| 40%  | 0,200277 | 55,17804 | 0,283087 |
| 50%  | 0,230456 | 54,53248 | 0,144245 |

Tabel 4.3 Nilai Rata-Rata Performasi untuk Measurement Rate



#### 4.2.3 Pengujian Evaluasi Pemilihan Layer Warna dan subband

| Jenis Layer | MSE      | PSNR     | BER      |
|-------------|----------|----------|----------|
| Red         | 0,230456 | 54,53248 | 0,144245 |
| Green       | 0,240248 | 54,36354 | 0,132282 |
| Blue        | 0,222433 | 54,7284  | 0,173755 |
| Y           | 1,425736 | 46,60654 | 0,112372 |
| V           | 0,600209 | 50,67432 | 0,122412 |

Tabel 4.4 Nilai Rata-Rata Performasi untuk Layer Warna

| Jenis Subband | MSE      | PSNR     | BER      |
|---------------|----------|----------|----------|
| LL            | 1,425736 | 46,60654 | 0,112372 |
| LH            | 0,664664 | 49,91428 | 0,460492 |
| HL            | 0,657694 | 49,97594 | 0,4716   |
| HH            | 0,694798 | 49,72846 | 0,502673 |

2. Tabel 4.5 Nilai Rata-Rata Performasi untuk Jenis Subband

#### 4.2.4 Pengujian Evaluasi Pemilihan Mother Wavelet, Level dan Rasio

| MW  | MSE      | PSNR     | BER      |
|-----|----------|----------|----------|
| db1 | 1,926454 | 45,42436 | 0,184082 |
| db3 | 1,873538 | 45,42414 | 0,182758 |
| db5 | 1,630494 | 46,01136 | 0,10296  |

Tabel 4.6 Nilai Rata-Rata Performasi untuk Mother Wavelet

| Level | MSE     | PSNR    | BER     |
|-------|---------|---------|---------|
| 1     | 1,63049 | 46,0113 | 0,10296 |
| 2     | 0,62481 | 49,8719 | 0,43294 |
| 3     | 0,40173 | 52,0928 | 0,95062 |

Tabel 4.7 Nilai Rata-Rata Performasi untuk Level

| Rasio | MSE      | PSNR     | BER      |
|-------|----------|----------|----------|
| 0,2   | 4,396208 | 41,70416 | 0,185565 |
| 0,5   | 24,10658 | 34,31126 | 0,217664 |
| 0,8   | 0,40173  | 52,09282 | 0,950623 |

Tabel 4.8 Nilai Rata-Rata Performasi untuk Rasio

#### 4.2.5 Pengujian Ketahanan Sistem dengan serangan Gaussian Noise dan Salt and Pepper Noise

| Sigma | BER      |
|-------|----------|
| 1     | 0,209241 |
| 2     | 0,213684 |
| 3     | 0,215051 |
| 4     | 0,213934 |
| 5     | 0,213873 |

Tabel 4.9 Nilai Rata-Rata Ketahanan Sistem untuk Gaussian Noise

| <i>Density Noise</i> | BER      |
|----------------------|----------|
| 0,01                 | 0,235773 |
| 0,05                 | 0,367023 |
| 0,1                  | 0,44953  |
| 0,25                 | 0,499658 |
| 0,5                  | 0,50199  |

Tabel 4.10 Nilai Rata-Rata Ketahanan Sistem untuk Salt and Pepper Noise

| MSE     | PSNR    | BER      |
|---------|---------|----------|
| 3,53102 | 42,6518 | 0,196869 |

Tabel 4.11 Pengujian Sparsitas Sistem

Berdasarkan pengujian 1 citra *watermark* dan 5 citra *host* yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa performansi sistem terbaik menggunakan citra *watermark* dan citra *host* ukuran 64x64 dan 1024x1024, *measurement rate* 50%, layer Y ruang warna YcbCr dan *subband* LL. Sedangkan ketahanan sistem pada *gaussian noise* pada level sigma 1 dengan BER 0,209241 dan *salt and pepper* pada density noise 0,01 dengan BER 0,235773. Pada perbandingan pengujian menggunakan CS dan tanpa CS, membuktikan bahwa tanpa CS menghasilkan performansi sistem yang cukup baik daripada menggunakan CS berdasarkan MSE yaitu menggunakan CS 4,396108 dan tanpa menggunakan CS 3,53102

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisis dari *aussian* yang dirancang, maka terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi dan pengujian teknik DCT-DWT untuk CS, teknik penyisipan SWT-SVD dan OMP untuk rekonstruksi citra *watermark* telah berhasil
2. Dalam pemilihan resolusi citra *watermark*, semakin besar resolusi citra maka akan semakin buruk jika melihat hasil dari pengujian
3. Dalam pemilihan resolusi citra *host*, semakin besar resolusi citra *host* maka akan semakin baik jika melihat hasil dari pengujian
4. Pengujian *measurement rate* menghasilkan nilai PSNR diatas 50 dB dan nilai *measurement rate* semakin besar maka BER semakin baik
5. *Compressive Sensing* dapat digunakan sebagai metode pengkompresian yang cukup baik jika melihat hasil dari pengujian terhadap performansi menggunakan penyerangan *aussian noise* dengan rata – rata BER sebesar 0.209241 dan *salt and pepper* dengan rata – rata BER sebesar 0.235773
6. Pengujian menggunakan CS dan tanpa CS, membuktikan bahwa tanpa CS menghasilkan performansi sistem yang cukup baik daripada menggunakan CS berdasarkan MSE yaitu menggunakan CS 4,396108 dan tanpa menggunakan CS 3,53102 karena semakin besar nilai kompresi maka semakin besar matrix *sparse* yang direkonstruksi

### 5.2 Saran

Dalam melakukan pengujian, analisis dan kesimpulan. Terdapat beberapa kesalahan yang dilakukan penulis. Untuk itu penulis akan memberikan saran agar proses penelitian selanjutnya dapat dilakukan lebih baik lagi dari hasil pengujian. Saran-saran yang dapat penulis berikan yaitu:

1. Memilih jenis *watermark* yang lain seperti audio, teks, video atau lainnya
2. Menggunakan *host* yang berbeda misal audio, teks dan video
3. Memilih metode yang lainnya untuk CS dan penyisipan
4. Memilih teknik rekonstruksi yang lainnya

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] A.Solichin. "Digital watermarking untuk Melindungi Informasi Multimedia", Universitas Budi Luhur, Jakarta.
- [2] A.Pangestu. "Analisis Image Watermarking Menggunakan Compressive Sensing Algoritma Orthogonal Matching Pursuit dengan Pendekatan Berbasis Discrete Cosine Transform Menggunakan Singular Value Decomposition", Telkom University, Bandung.
- [4] Saad Qaisar, Rana Muhammad Bilal, Wafa Iqbal, Muqaddas Naureen and Sungyoung Lee, "Compressive Sensing: From Theory to Applications, A Survey," Journal of Communications and Networks, 2013
- [5] Al-Haj. Ali, T. Christina, and M. Ahmad, "Hybrid DWT-SWT Audio Watermarking", University of Jordan, Amman
- [6] H. Abdi, "Single Value Decomposition and Generalized Single Value Decomposition," 2007.
- [7] S.Afan, W.Rudini, Rojali," Perancangan Program Penyembunyian Pesan Audio Dengan Metode Least Significant Bit Berbasis Android".
- [8] A.E.F.Pratono. "Implementasi Image Watermarking dengan Metode Spread Spectrum dan DWT Berbasis Android", Telkom University, Bandung.
- [9] T.Yumna. "Implementasi Discrete Cosine Transform (DCT) pada Field Programmable Gate Array (FPGA) untuk Aplikasi Kompresi Citra", Telkom University, Bandung.
- [10] I.R.Boesandi. "Kompresi Citra Medis pada Image Watermarking dengan Menggunakan Huffman Coding, Compressive Sensing dan Metode DWT- SVD", Telkom University, Bandung.
- [11] P.Darma, Pengolahan Citra Digital, yogyakarta,2010.