

**WATERMARKING CITRA DIGITAL
BERBASIS DWT-SVD
DENGAN DETEKTOR NON-BLIND**



SKRIPSI

**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**

Disusun oleh:

Lia Ayuning Tyas

J2F006028

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

2011

**WATERMARKING CITRA DIGITAL
BERBASIS DWT-SVD
DENGAN DETEKTOR NON-BLIND**

Oleh :

Lia Ayuning Tyas

J2F 006 028

SKRIPSI

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer

Pada

Program Studi Teknik Informatika

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS DIPONEGORO
2011**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Watermarking Citra Digital Berbasis DWT-SVD dengan Detektor Non-Blind
Nama : Lia Ayuning Tyas
NIM : J2F 006 028

Telah diujikan pada sidang tugas akhir tanggal 24 Januari 2011 dan dinyatakan lulus pada tanggal 28 Januari 2011.

Semarang, 28 Januari 2011
Panitia Penguji Tugas Akhir
Ketua,

Drs. Eko Adi Sarwoko, M.Kom
NIP.1965 11 07 1992 03 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika

Dr. Widowati, S.Si, M.Si
NIP.1969 02 14 1994 03 2 002

Drs. Eko Adi Sarwoko, M.Kom
NIP.1965 11 07 1992 03 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Watermarking Citra Digital Berbasis DWT-SVD dengan Detektor Non-Blind

Nama : Lia Ayuning Tyas

NIM : J2F 006 028

Telah diujikan pada sidang Tugas Akhir tanggal 24 Januari 2011.

Pembimbing Utama

Semarang, 28 Januari 2011

Pembimbing Anggota

Priyo Sidik Sasongko, S.Si., M.Kom.

NIP. 1970 07 05 1997 02 1 001

Aris Sugiharto, S.Si., M.Kom.

NIP: 1971 08 11 1997 02 1 004

ABSTRAK

Kemudahan dalam pengaksesan data citra digital memberikan kesempatan kepada pihak – pihak yang tidak berhak untuk membuat salinan tanpa izin dari pemilik sah, bahkan menyebarkannya untuk kepentingan komersial. Hal ini dapat menimbulkan persoalan hak cipta bagi data citra digital tersebut. Salah satu cara untuk melindungi hak cipta data citra digital adalah dengan *watermarking*. Pada tugas akhir ini, aplikasi *watermarking* dibuat menggunakan metode DWT-SVD dengan detektor *non-blind*. Dengan menggunakan metode gabungan DWT dan SVD pada *watermarking* citra digital diharapkan citra ter-*watermark* yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan citra asli dan data *watermark* yang disisipkan lebih kuat terhadap serangan yang dilakukan, seperti rotasi, penambahan noise, dan blur. Teknik *watermarking* yang digunakan adalah *non-blind* sehingga terdapat informasi yang dihasilkan pada proses penyisipan yang tetap digunakan untuk proses ekstraksi *watermark*. Setelah dilakukan beberapa pengujian, dapat diperoleh hasil bahwa metode gabungan DWT-SVD menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam *watermarking* citra digital, karena citra yang ter-*watermark* memiliki PSNR lebih dari 20, dan *watermark* ekstrak memiliki nilai korelasi silang (NC) kemiripan citra antara *watermark* hasil ekstraksi dengan *watermark* asli tidak kurang dari 0.7 maka tingkat kemiripan dengan *watermark* asli tidak jauh berbeda dengan *watermark* hasil ekstraksi meskipun terdapat informasi pada *watermark* hasil ekstraksi yang tidak sempurna.

Kata kunci : Citra Digital, *Watermarking*, PSNR, NC, DWT-SVD.

ABSTRACT

Ease of accessing digital image data provides the opportunity for parties who are unauthorized in making copies without permission from the rightful owner, even spread it for commercial purposes. This can lead to copyright issues for the digital image data. One of ways to protect copyright of digital image data is by watermarking. In this final assignment, watermarking applications created using DWT-SVD method with non-blind detector. By using a combination of DWT and SVD methods in digital image, watermarking is expected that watermark image was produced not much different from the original image and watermark data are inserted more robust against attacks such as rotation, the addition of noise, and blur. Watermarking technique used is non-blind therefore there is information generated at a fixed insertion process is used for watermark extraction process. After doing some testing, it can be obtained a result that the combined DWT-SVD method shows a good performance in digital image watermarking, because the image has been watermarked has PSNR more than 20, and watermark extract has a value of cross correlation (NC) image similarity between the extracted watermark with the original watermark of not less than 0.7, then the level of similarity with the original watermark is not much different from the watermark extraction result even if there is information on the extracted watermark which is not perfect.

Key words : Digital Image, Watermarking, PSNR, NC, DWT-SVD.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**WATERMARKING CITRA DIGITAL BERBASIS DWT-SVD DENGAN DETEKTOR NON-BLIND**” dengan baik dan lancar. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) pada program studi Teknik Informatika Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro Semarang.

Sebagai pelaksanaan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bimbingan, arahan, dan bantuan dari berbagai pihak yang sangat mendukung. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih dengan tulus kepada:

1. Ibu Dra. Rum Hastuti, M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro.
2. Ibu Dr. Widowati, S.Si, M.Si selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro.
3. Bapak Drs. Eko Adi Sarwoko, M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro.
4. Bapak Priyo Sidik Sasongko, S.Si, M.Kom dan Bapak Aris Sugiharto, S.Si, M.Kom selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk, nasehat, dan arahnya.
5. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Informatika atas semua ilmu yang telah diberikan
6. Ibu dan Bapak serta keluarga tercinta saya yang telah mendoakan dan memberikan semua fasilitas untuk penyusunan Tugas Akhir ini.

7. Teman – teman EsPeGe Teknik Informatika 2006 yang telah memberikan dukungannya.
8. Ais, Dijah, Nani, Kaka, Diana, dan Obin yang sangat membantu memberikan semangatnya untuk penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangannya. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat bagi penulis sendiri khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Semarang, Januari 2011

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I. 1. Latar Belakang	1
I. 2. Rumusan Masalah	2
I. 3. Tujuan dan Manfaat	3
I. 4. Ruang Lingkup.....	3
I. 5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II. 1. Citra Digital.....	5
II. 2. <i>Watermarking</i>	5
II. 3. Dekomposisi Nilai Singular (SVD).....	8
II. 4. Transformasi Wavelet Diskrit	13
II. 5. Parameter Kinerja <i>Watermarking</i>	15
II. 5. 1. <i>Peak Signal to Noise Ratio</i> (PSNR).....	15
II. 5. 2. <i>Normalized Crosscorelation</i> (NC).....	16
II. 6. Proses Perangkat Lunak	16

II. 6. 1. Alat Bantu Perancangan Perangkat Lunak	19
II. 7. MATLAB 7.6.....	20
II. 7. 1. GUI (<i>Graphical User Interface</i>) MATLAB 7.6	23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Koordinat suatu piksel pada citra digital.....	5
Gambar 2. 2 Penyisipan <i>Watermark</i>	7
Gambar 2. 3 Ekstraksi <i>Watermark</i>	7
Gambar 2. 4 Dekomposisi wavelet tiga tingkat	14
Gambar 2. 5 Transformasi Wavelet Diskrit dimensi dua	15
Gambar 2. 6 Model Sekuensial Linear	17
Gambar 2. 7 Tampilan Jendela Utama MATLAB 7.6.....	21
Gambar 2. 8 Tampilan <i>current directory</i>	21
Gambar 2. 9 Tampilan <i>Command window</i>	22
Gambar 2. 10 Tampilan <i>Workspace</i>	22
Gambar 2. 11 Tampilan <i>Command History</i>	23
Gambar 2. 12 Tampilan jendela <i>figure</i> utama	24
Gambar 2. 13 Tampilan <i>Property Inspector</i>	26
Gambar 2. 14 Tampilan <i>Menu editor</i>	26
Gambar 2. 15 Tampilan <i>Object Browser</i>	27
Gambar 2. 16 Tampilan <i>M-File Editor</i>	27

No table of figures entries found.

No table of figures entries found.

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai PSNR	16
Tabel 2. 2 Simbol – simbol DFD menurut Yourdon / De Marco	19
Tabel 2. 3 Tabel Simbol – Simbol Flowchart	20

No table of figures entries found.

BAB I

PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang

Kemajuan internet saat ini menyebabkan informasi dalam berbagai bentuk dan media dapat tersebar dengan cepat. Namun karena informasi dalam bentuk data digital misalnya citra digital sangat mudah untuk dimodifikasi, penyebaran data melalui internet juga memberikan kesempatan kepada pihak yang tidak berhak untuk membuat salinan tanpa izin dari pemilik sah, bahkan menyebarkannya untuk kepentingan komersial. Hal ini dapat menimbulkan persoalan hak cipta bagi citra digital yang tersebar. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk melindungi hak cipta pada citra digital adalah dengan *watermarking*.

Watermarking merupakan teknik penyisipan (*embedding*) informasi ke dalam data digital seperti citra, audio, dan video secara rahasia. Informasi yang disisipkan kemudian harus dapat diperoleh kembali meskipun data digital telah diproses, disalin, atau didistribusikan. Informasi yang akan disisipkan ke dalam data digital dinamakan tanda air digital (*digital watermark*), sedangkan data digital yang disisipi dinamakan data orisinal (*host data*). Untuk data digital yang telah disisipi *watermark* dinamakan data bertanda air (*watermarked data*) (Basaruddin,2009).

Berdasarkan metode pemrosesnya, *watermarking* dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu pada domain spasial dan domain transformasi. *Watermarking* yang bekerja pada domain spasial langsung mengubah nilai piksel pada citra asli. Metode tersebut memiliki kompleksitas komputasi yang rendah namun tidak tahan terhadap serangan. Sebaliknya teknik *watermarking* dalam domain transformasi seperti *Discrete Fourier Transform* (DFT), *Discrete Cosine Transform* (DCT), *Discrete Wavelet Transform* (DWT), dan *Singular Value Decomposition* (SVD) memiliki lebih banyak keuntungan dan kinerja yang lebih baik daripada teknik yang bekerja pada domain spasial (Cahyana,2007).

Menurut Liu (2002), tiga karakteristik yang seharusnya dipenuhi oleh suatu teknik *watermarking* adalah *imperceptibility*, *robustness*, dan *trustworthiness* (Yusuf,2009). *Imperceptibility* menunjukkan antara citra asli dan citra ter-*watermark* secara persepsi tidak

dapat dibedakan oleh mata manusia, *watermark* tidak mengalami interferensi dengan medianya. *Robustness* merupakan tingkat kekuatan *watermark* yang disisipkan terhadap serangan dan pemrosesan sinyal yang biasanya dilakukan pada suatu data digital seperti penambahan noise, proses *filter*, *scaling*, perputaran, pemotongan, dan *lossy compression*. Sedangkan *trustworthiness* menjamin tidak akan dapat dibangkitkan *watermark* yang sama dengan *watermark* yang asli dan menyediakan bukti terpercaya untuk melindungi hak kepemilikan.

Teknik *watermark* dengan menggunakan SVD umumnya penyisipan dilakukan pada nilai-nilai singular berdasarkan pertimbangan bahwa nilai singular tidak akan mengalami perubahan signifikan jika terjadi sedikit gangguan pada citra (Basaruddin,2009).

DWT (*Discrete Wavelet Transform*) merupakan salah satu teknik pemrosesan sinyal digital. Teknik ini merupakan salah satu yang sedang berkembang di masyarakat dikarenakan teknik ini lebih mudah diaplikasikan dan hasilnya lebih bagus dibandingkan sebelumnya yaitu transformasi Fourier. Transformasi wavelet diskrit pada umumnya penyisipan dilakukan pada *subband-subband* citra itu sendiri (Fajri, 2005).

Skema *watermarking* yang digunakan merupakan penggabungan dari konsep dekomposisi nilai singular (SVD) dan transformasi wavelet diskrit (DWT) dengan memanfaatkan keunggulan dari SVD dan DWT. Adapun keunggulannya yaitu dalam hal *imperceptibility* yang sekaligus juga menunjukkan tingkat *robustness* yang memadai, khususnya untuk model serangan seperti pemampatan, pengaburan, pemotongan, dan penajaman gambar (Basaruddin,2009). Model *watermarking* yang digunakan adalah *non-blind*, sehingga informasi yang dihasilkan pada tahap penyisipan tetap digunakan untuk proses ekstraksi *watermark*.

Pada tugas akhir ini akan diteliti bagaimana proses *watermarking* pada citra digital menggunakan teknik DWT-SVD dengan detektor *non-blind*.

I. 2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perumusan masalah yang diangkat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses *watermarking* pada citra digital menggunakan teknik DWT-SVD dengan detektor *non-blind*
2. Bagaimana mengukur kualitas citra ter-*watermark* dengan citra asli

3. Bagaimana mengukur tingkat kemiripan citra *watermark* hasil ekstraksi dengan citra *watermark* asli

I. 3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah menghasilkan sebuah aplikasi yang digunakan untuk menyisipkan *watermark* pada citra digital dan mengesktrak kembali *watermark* yang telah disisipkan menggunakan teknik *watermark* DWT-SVD dengan detektor *non-blind*.

Adapun manfaat yang didapatkan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah membantu melindungi hak cipta citra digital yang tersebar di internet agar tidak disalahgunakan oleh pihak tertentu untuk disalin ataupun kepentingan komersial.

I. 4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup aplikasi *watermarking* citra digital menggunakan teknik DWT-SVD dengan detektor *non-blind* adalah sebagai berikut:

1. *Input* berupa *file* citra digital berwarna atau citra *grayscale* (format *.bmp atau *.jpg).
2. *File watermark* berupa citra *grayscale* (format *.bmp atau *.jpg).
3. Transformasi *file* citra digital menggunakan transformasi wavelet diskrit (DWT) metode Haar.
4. Proses penyisipan *watermark* dan ekstraksi menggunakan teknik dekomposisi nilai singular (SVD).
5. Model *watermark* yang digunakan adalah *non-blind watermarking*.
6. *Output* berupa *file* citra digital yang telah ter-*watermark* dan *file watermark* hasil ekstraksi.
7. Serangan yang akan dilakukan pada citra ter-*watermark* antara lain rotasi 90° berlawanan arah jarum jam, *noise*(*Speckle*, *Gaussian*, dan *Salt & Pepper*), dan *blurring*.
8. Implementasi menggunakan bahasa pemrograman MATLAB 7.6

I. 5. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I : Merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, ruang lingkup serta sistematika penulisan.

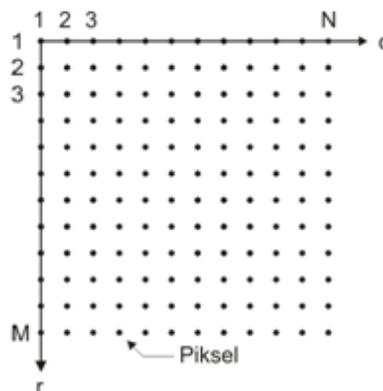
- BAB II : Merupakan teori-teori penunjang yang berisi tentang Citra Digital, *Watermarking*, Dekomposisi Nilai Singular (SVD), Transformasi Wavelet Diskrit (DWT), Parameter Kinerja *Watermarking*, Proses Perangkat Lunak dan MATLAB 7.6.
- BAB III : Berisi analisis kebutuhan dan perancangan aplikasi *watermarking* citra digital menggunakan teknik DWT-SVD dengan detektor *non-blind*.
- BAB IV : Merupakan implementasi, pengujian dan analisis hasil dari aplikasi *watermarking* citra digital menggunakan teknik DWT-SVD dengan detektor *non-blind*.
- BAB V : Merupakan penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II. 1. Citra Digital

Citra digital adalah citra yang dapat diolah oleh komputer. Secara matematis citra digital dapat dituliskan sebagai fungsi intensitas $f(x,y)$ dengan harga x (baris) dan y (kolom) merupakan koordinat posisi dan $f(x,y)$ adalah nilai fungsi pada setiap titik (x,y) yang menyatakan besar intensitas citra atau tingkat keabuan atau warna dari piksel di titik tersebut (Sutoyo, 2009). Koordinat suatu piksel pada citra digital dapat dilihat pada gambar 2.1. Piksel yang ditunjuk anak panah berada pada koordinat $(M,4)$.



Gambar 2. 1 Koordinat suatu piksel pada citra digital

Citra digital yang mengandung matriks data berukuran $m \times n \times 3$ yang merepresentasikan warna merah, hijau, dan biru untuk setiap pikselnya disebut citra warna (RGB). Setiap warna dasar menggunakan penyimpanan 8 bit = 1 *byte*, yang berarti setiap warna mempunyai gradasi sebanyak 256 warna sehingga total warna yang diperoleh adalah lebih dari 16 juta warna. Sedangkan setiap piksel dalam citra grayscale merepresentasikan nilai intensitas atau derajat keabuan yang diwakili oleh 1 *byte*.

II. 2. Watermarking

Menurut Supangkat (2000), *watermark* merupakan sebuah informasi yang disisipkan pada media lain dengan tujuan melindungi media yang disisipi oleh informasi tersebut dari pembajakan, penyalahgunaan hak cipta, dsb. *Watermarking* sendiri adalah suatu cara untuk

penyembunyian atau penanaman data tertentu ke dalam suatu data digital lainnya, tetapi tidak diketahui kehadirannya oleh indera manusia dan mampu menghadapi proses-proses pengolahan sinyal digital sampai pada tahap tertentu (Yusuf,2009).

Watermarking berkembang seiring dengan perkembangan jaman dengan munculnya *watermarking* pada media digital atau disebut dengan *digital watermarking*. Salah satu prinsip dalam *digital watermarking* adalah informasi yang disisipkan pada media digital tidak boleh mempengaruhi kualitas media digital tersebut. Jadi pada citra digital, mata manusia tidak dapat membedakan apakah citra tersebut disisipi *watermark* atau tidak. Oleh karena itu pada *digital watermarking* terdapat persyaratan bahwa *digital watermark* yang disisipkan dalam citra digital haruslah *imperceptible* atau tidak terdeteksi oleh sistem penglihatan manusia (*Human Visual System*) atau sistem pendengaran manusia (*Human Auditory System*). *Digital watermarking* sendiri adalah sebuah kode identifikasi yang secara permanen disisipkan ke dalam data digital dengan membawa informasi yang berhubungan dengan perlindungan hak cipta dan otentikasi data.

Menurut Bender (1996), ada beberapa tujuan yang ingin dicapai dari penggunaan *watermarking* sebagai suatu teknik penyembunyian data pada suatu data digital lain (Yusuf,2009) yaitu:

1. *Tamper-proofing*

Watermarking digunakan sebagai indikator yang menunjukkan apakah data digital yang asli telah mengalami perubahan dari yang aslinya (mengecek integritas data).

2. *Feature location*

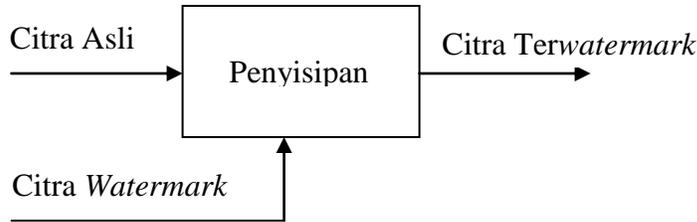
Watermarking sebagai alat identifikasi isi dari data digital pada lokasi-lokasi tertentu, misalnya penamaan suatu objek tertentu dari beberapa objek yang ada pada suatu citra digital.

3. *Annotation / caption*

Watermark berisi keterangan tentang data digital itu sendiri. Selain itu *watermark* juga dapat digunakan untuk mengirimkan pesan rahasia.

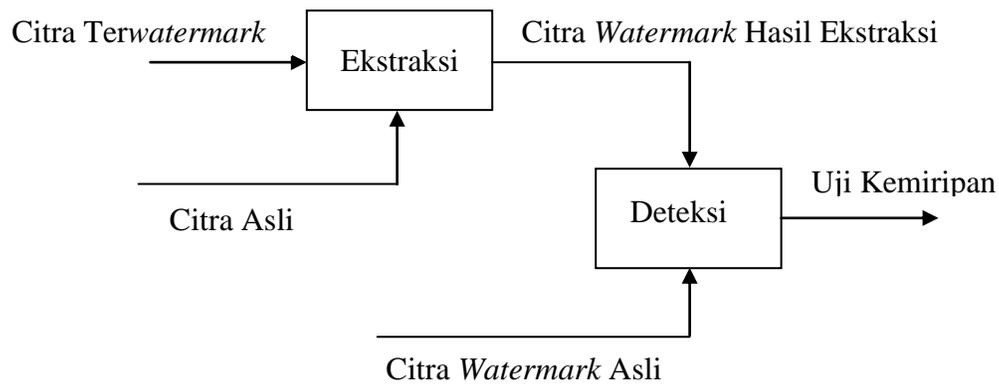
4. *Copyright-labelling*

Watermarking digunakan sebagai metode untuk menyembunyikan label hak cipta pada data digital atau sebuah bukti otentik kepemilikan atas dokumen digital tersebut.



Gambar 2. 2 Penyisipan Watermark

Proses *watermarking* perlu didukung dengan proses ekstraksi *watermark* dari citra ber*watermark*. Proses ekstraksi ini bertujuan untuk mendapatkan kembali citra *watermark* yang disisipkan dalam citra digital tersebut. Umumnya proses ekstraksi melibatkan proses perbandingan citra digital asal dengan citra ber*watermark* untuk mendapatkan *watermark* yang disisipkan.



Gambar 2. 3 Ekstraksi Watermark

Menurut Lee (1999), teknik *watermarking* pada citra digital dapat diklasifikasikan dalam dua kategori, yaitu teknik ranah spasial dan teknik ranah frekuensi (Yusuf,2009). Pada ranah spasial, penyisipan *watermark* dilakukan secara langsung ke dalam piksel citra sedangkan pada ranah frekuensi, penyisipan *watermark* dilakukan ke dalam koefisien transformasi. Biasanya teknik *watermarking* yang kuat (susah dipecahkan oleh berbagai serangan) memiliki kualitas gambar ber*watermark* yang kurang memuaskan, demikian juga sebaliknya, teknik *watermarking* yang menghasilkan kualitas gambar yang memuaskan biasanya kurang kuat menghadapi serangan. Secara garis besar teknik *watermarking* dibedakan menjadi dua (Alfatwa, 2009) yaitu:

a) *Non-blind Watermarking*

Merupakan teknik *watermarking* yang membutuhkan citra asli dan citra berwatermark untuk mengekstrak *watermark*.

b) *Blind Watermarking*

Merupakan teknik *watermarking* yang tidak membutuhkan citra asli atau *watermark* yang disisipkan untuk melakukan ekstraksi.

II. 3. Dekomposisi Nilai Singular (SVD)

Dekomposisi nilai singular atau yang lebih dikenal sebagai SVD (Singular Value Decomposition) adalah salah satu teknik dekomposisi yang cukup terkenal. SVD berkaitan erat dengan nilai singular dari sebuah matriks yang merupakan salah satu karakteristik matriks (Wijna, 2007).

Matriks A dengan nilai eigen (nilai karakteristik) dari matriks $A^T A$ yaitu λ_i untuk setiap $1 \leq i \leq n$ dengan n yaitu jumlah nilai eigen, maka nilai singular matriks A yaitu $\sigma_i = \sqrt{\lambda_i}$ dan v_i merupakan vektor eigen matriks $A^T A$ yang bersesuaian dengan nilai λ_i .

Secara umum algoritma dekomposisi nilai singular adalah sebagai berikut (Wijna, 2007):

input : matriks A

output : matriks ortogonal U, V dan matriks singular S sehingga $A = USV^T$.

1. Dibentuk matriks $A^T A$ dengan nilai eigen λ_i untuk setiap $1 \leq i \leq n$ maka nilai singular matriks A yaitu $\sigma_i = \sqrt{\lambda_i}$(2.1)

2. Dibentuk matriks diagonal $S = \begin{bmatrix} \sigma_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \sigma_n \end{bmatrix}$(2.2)

3. Dicari himpunan vektor eigen dari matriks $A^T A$. misalkan $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ merupakan vektor-vektor eigen matriks $A^T A$ dengan v_i merupakan vektor eigen yang bersesuaian dengan nilai λ_i .

4. Dibentuk matriks ortogonal $V = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_n]$ (2.3)

5. Dibentuk himpunan vektor $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ dengan $u_i = \frac{1}{\sigma_i} A v_i$(2.4)

untuk setiap $1 \leq i \leq n$.

6. Dibentuk matriks ortogonal $U = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_n]$(2.5)

7. Bentuk dekomposisi SVD

$$A = USV^T \dots\dots\dots(2.6)$$

Dekomposisi tersebut disebut sebagai dekomposisi nilai singular. Nilai $\sigma_1 \dots \sigma_n$ dari S disebut sebagai nilai-nilai singular dari A, kolom-kolom dari U merupakan vektor-vektor singular kiri dari A dan kolom-kolom dari V disebut sebagai vektor-vektor singular kanan dari A. Jika A adalah sebuah citra maka perubahan sedikit pada nilai-nilai singular tidak mempengaruhi kualitas citra dan nilai-nilai singular tidak berubah banyak setelah citra diserang (Yusuf, 2009).

Misalkan suatu citra disajikan sebagai matriks A dan *watermark* yang akan disisipkan disajikan sebagai matriks W, maka penyisipan *watermark* W ke dalam citra A dilakukan dengan terlebih dahulu mendekomposisi citra A menjadi matriks U, S, dan V untuk mendapatkan nilai singular dari citra A. nilai singular S kemudian ditambahkan dengan hasil kali *watermark* W dengan nilai alfa (Cahyana ,2007).

$$S_t = S + \text{nilai alfa} * W \dots\dots\dots(2.7)$$

nilai alfa adalah faktor intensitas yang menentukan kekuatan *watermark* yang akan disisipkan.

Kemudian melakukan dekomposisi pada S_t untuk memperoleh nilai singular baru dari S_t .

$$S_t = U_w S_w V_w^T \dots\dots\dots(2.8)$$

Sebagai langkah terakhir, S_w yang diperoleh kemudian digunakan untuk membentuk citra yang telah di-*watermark* bersama dengan matriks U dan V dari citra asal.

$$A_w = U S_w V^T \dots\dots\dots(2.9)$$

Langkah-langkah dalam proses ekstraksi adalah sebagai berikut:

$$A_w^* = U^* S_w^* (V^*)^T \dots\dots\dots(2.10)$$

$$S_t = U_w S_w V_w^T \dots\dots\dots(2.11)$$

$$W = \frac{S_t - S}{\text{nilai alfa}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Contoh 2.1:

Suatu citra yang disajikan dengan matriks $A = \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$, citra *watermark* dengan matriks $W = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$ dan nilai alfa = 1. Langkah-langkah dalam proses penyisipan dan ekstraksi adalah sebagai berikut:

$$- A^T A = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -2 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & -2 \\ -2 & 8 \end{bmatrix}$$

- Menghitung nilai eigen untuk mendapatkan nilai singularnya dengan determinan matriks $A^T A$

$$A^T A - \lambda = \begin{bmatrix} 5 - \lambda & -2 \\ -2 & 8 - \lambda \end{bmatrix}$$

$$|A^T A - \lambda| = 0$$

$$(5 - \lambda)(8 - \lambda) - 4 = 0$$

$$40 - 5\lambda - 8\lambda + \lambda^2 - 4 = 0$$

$$\lambda^2 - 13\lambda + 36 = 0$$

$$(\lambda - 9)(\lambda - 4) = 0$$

$$\lambda_1 = 9 \text{ dan } \lambda_2 = 4 \rightarrow \text{nilai eigen}$$

$$\text{Nilai singular} \rightarrow \sigma_1 = \sqrt{9} = 3 \text{ dan } \sigma_2 = \sqrt{4} = 2$$

$$\text{Maka matriks } S = \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$$

- Nilai-nilai eigen $\lambda_1 = 9, \lambda_2 = 4$ masing-masing bersesuaian dengan vektor eigen

$$v_1 = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{5} \\ -2/\sqrt{5} \end{bmatrix} \text{ dan } v_2 = \begin{bmatrix} 2/\sqrt{5} \\ 1/\sqrt{5} \end{bmatrix}. \text{ Himpunan vektor-vektor eigen tersebut ortonormal}$$

$$\text{sehingga dapat dibentuk matriks unitary } V = [v_1 \quad v_2] = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{5} & 2/\sqrt{5} \\ -2/\sqrt{5} & 1/\sqrt{5} \end{bmatrix}$$

- Kemudian matriks U dibentuk dari $u_i = \frac{1}{\sigma_i} A v_i$ sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{1}{\sigma_1} AV_1 \\
 &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{5} \\ -2/\sqrt{5} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 2/\sqrt{5} \\ -1/\sqrt{5} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_2 &= \frac{1}{\sigma_2} AV_2 \\
 &= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2/\sqrt{5} \\ 1/\sqrt{5} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1/\sqrt{5} \\ 2/\sqrt{5} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Maka matriks $U = [u_1 \quad u_2] = \begin{bmatrix} 2/\sqrt{5} & 1/\sqrt{5} \\ -1/\sqrt{5} & 2/\sqrt{5} \end{bmatrix}$

- $A = USV^T = \begin{bmatrix} 2/\sqrt{5} & 1/\sqrt{5} \\ -1/\sqrt{5} & 2/\sqrt{5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{5} & -2/\sqrt{5} \\ 2/\sqrt{5} & 1/\sqrt{5} \end{bmatrix}$

- $S_t = S + \text{nilai} \alpha * W$
 $= \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} + 1 \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}$

- Melakukan dekomposisi pada $S_t = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}$ untuk memperoleh nilai singular dari S_t

- $S_t^T S_t = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 & 6 \\ 6 & 10 \end{bmatrix}$

- Menghitung nilai eigen untuk mendapatkan nilai singularnya dengan determinan dari matriks $S_t^T S_t$

$$S_t^T S_t - \lambda = \begin{bmatrix} 10 - \lambda & 6 \\ 6 & 10 - \lambda \end{bmatrix}$$

$$|S_t^T S_t - \lambda| = 0$$

$$(10 - \lambda)(10 - \lambda) - 36 = 0$$

$$100 - 10\lambda - 10\lambda + \lambda^2 - 36 = 0$$

$$\lambda^2 - 20\lambda + 64 = 0$$

$$(\lambda - 16)(\lambda - 4) = 0$$

$\lambda_1 = 16$ dan $\lambda_2 = 4 \rightarrow$ nilai eigen

Nilai singular $\rightarrow \sigma_1 = \sqrt{16} = 4$ dan $\sigma_2 = \sqrt{4} = 2$

Maka matriks $S_w = \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$

- Nilai-nilai eigen $\lambda_1 = 16, \lambda_2 = 4$ masing-masing bersesuaian dengan vektor eigen

$v_1 = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$ dan $v_2 = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$. Himpunan vektor-vektor eigen tersebut ortonormal

sehingga dapat dibentuk matriks unitary $V_w = [v_1 \ v_2] = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$

- Kemudian matriks U_w dibentuk dari $u_i = \frac{1}{\sigma_i} S_t v_i$ sehingga diperoleh :

$$U_1 = \frac{1}{\sigma_1} S_t V_1$$

$$= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$U_2 = \frac{1}{\sigma_2} S_t V_2$$

$$= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

Maka matriks $U_w = [u_1 \ u_2] = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$

- $S_t = U_w S_w V_w^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$

- S_w yang diperoleh digunakan untuk membentuk citra yang telah di-watermark bersama dengan matriks U dan V citra asal.

$$- A_w = US_wV^T$$

$$A_w = \begin{bmatrix} 2/\sqrt{5} & 1/\sqrt{5} \\ -1/\sqrt{5} & 2/\sqrt{5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{5} & -2/\sqrt{5} \\ 2/\sqrt{5} & 1/\sqrt{5} \end{bmatrix}$$

$$A_w = \begin{bmatrix} 12/5 & 14/5 \\ 4/5 & 4/5 \end{bmatrix} \rightarrow \text{citra ter-watermark}$$

- Pada proses ekstraksi, dekomposisi matriks citra ter-watermark A_w sehingga diperoleh nilai singular S_w .

- Nilai singular S_w yang diperoleh digunakan untuk memperoleh matriks S_t bersama dengan matriks U_w dan $V_w^T \rightarrow S_t = U_w S_w V_w^T$

- Selanjutnya citra watermark dapat diperoleh dengan $W = \frac{S_t - S}{\text{nilai alfa}}$

$$\begin{aligned} - W &= \frac{S_t - S}{\text{nilai alfa}} \\ &= \frac{\begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}}{1} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

II. 4. Transformasi Wavelet Diskrit

Transformasi wavelet adalah sebuah transformasi matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal bergerak. Sinyal bergerak ini dianalisis untuk mendapatkan informasi spektrum frekuensi dan waktu secara bersamaan. Transformasi wavelet menggunakan dua komponen penting dalam melakukan transformasi yaitu (Novamizanti,2009):

1. Fungsi skala (*scaling function*)

disebut juga *lowpass filter* yang mengambil citra dengan gradiasi intensitas yang halus dan perbedaan intensitas yang tinggi akan dikurangi atau dibuang.

2. Fungsi wavelet (*wavelet function*)

disebut juga *highpass filter* yang mengambil citra dengan gradiasi intensitas yang tinggi dan perbedaan intensitas yang rendah akan dikurangi atau dibuang.

Salah satu seri pengembangan transformasi wavelet adalah *Discrete Wavelet Transform* (DWT) atau yang lebih dikenal sebagai Transformasi Wavelet Diskrit.

Secara umum Transformasi Wavelet Diskrit merupakan dekomposisi citra pada frekuensi *subband* citra tersebut. Komponen *subband* transformasi wavelet dihasilkan dengan cara

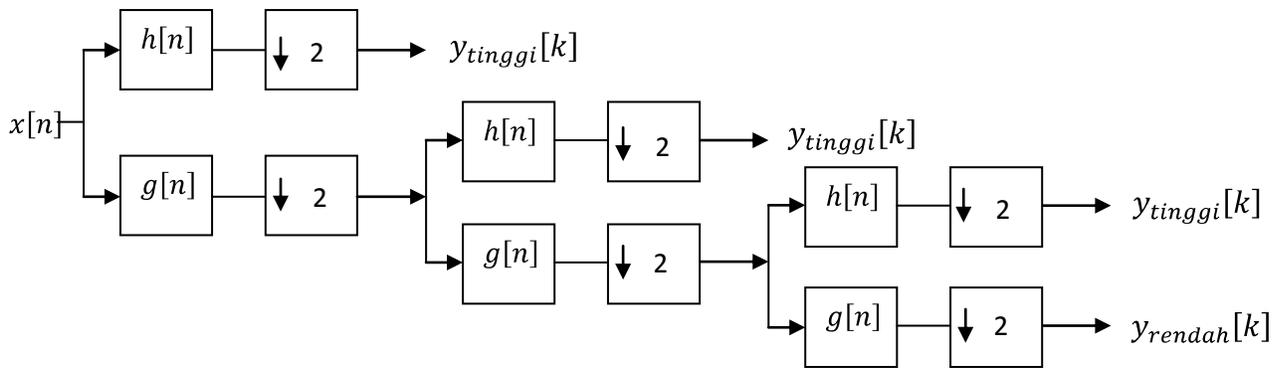
penurunan level dekomposisi. Implementasi Transformasi Wavelet Diskrit dapat dilakukan dengan melewati sinyal melalui sebuah *lowpass filter* dan *highpass filter* dan melakukan *downsampling* pada keluaran masing-masing *filter*. *Highpass filter* digunakan untuk menganalisis frekuensi tinggi dan *lowpass filter* digunakan untuk menganalisis frekuensi rendah (Aditya, 2010).

Proses dekomposisi dapat melalui satu atau lebih tingkatan. Dekomposisi satu tingkat dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$y_{tinggi}[k] = \sum_n x[n] h[2k - n] \dots \dots \dots (2.13)$$

$$y_{rendah}[k] = \sum_n x[n] g[2k - n] \dots \dots \dots (2.14)$$

$y_{tinggi}[k]$ dan $y_{rendah}[k]$ adalah hasil dari highpass filter dan lowpass filter, $x[n]$ merupakan sinyal asal, $h[n]$ adalah highpass filter, dan $g[n]$ adalah lowpass filter. Untuk dekomposisi lebih dari satu tingkat, prosedur pada persamaan 2.13 dan 2.14 dapat digunakan pada masing-masing tingkatan. Contoh penggambaran dekomposisi dapat dilihat pada gambar 2.4 dengan menggunakan dekomposisi tiga tingkat.



Gambar 2. 4 Dekomposisi wavelet tiga tingkat
[Alfatwa, 2009]

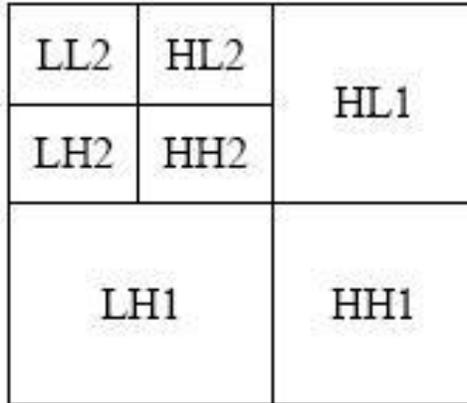
Pada gambar 2.4, $y_{tinggi}[k]$ dan $y_{rendah}[k]$ yang merupakan hasil dari highpass filter dan lowpass filter, dengan $y_{tinggi}[k]$ disebut sebagai koefisien Transformasi Wavelet Diskrit. $y_{tinggi}[k]$ merupakan detail dari informasi sinyal sedangkan $y_{rendah}[k]$ merupakan taksiran kasar dari fungsi penskalaan. Dengan menggunakan koefisien Transformasi Wavelet Diskrit ini

maka dapat dilakukan proses *Inverse Discrete Wavelet Transform* (IDWT) untuk merekonstruksi menjadi sinyal asal.

$$x[n]= \sum_k (y_{tinggi}[k]h[-n + 2k] + y_{rendah}[k]g[-n + 2k]) \dots\dots\dots(2.15)$$

Proses rekonstruksi merupakan kebalikan dari proses dekomposisi sesuai dengan tingkatan pada proses dekomposisi.

Transformasi wavelet diskrit dimensi dua dapat digambarkan seperti gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Transformasi Wavelet Diskrit dimensi dua

II. 5. Parameter Kinerja Watermarking

Kinerja *watermarking* diukur dari kualitas citra yang dihasilkan, nilai *Normalized Crosscorelation* (NC) *watermark* hasil ekstraksi dengan *watermark* asli, dan lama waktu penyisipan *watermark*.

II. 5. 1. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) digunakan untuk menentukan kualitas citra. Nilai PSNR diperoleh dengan membandingkan citra asli dan citra rekonstruksi. Untuk menentukan nilai PSNR digunakan rumus :

$$PSNR=20*\log_{10} \left(\frac{225}{\sqrt{MSE}} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan $MSE = (1/mn) \sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n [I(x,y)-I'(x,y)]^2$, m dan n adalah baris dan kolom citra, I dan I' adalah citra asli dan citra rekonstruksi. Ukuran kualitas citra disajikan dalam Tabel 2.1. (Anwar,2008)

Tabel 2. 1 Nilai PSNR

PSNR(dB)	Kualitas citra
60	Istimewa (<i>excellent</i>)
50	Bagus (<i>good</i>)
40	Layak (<i>reasonable</i>)
30	Cukup (<i>poor picture</i>)
20	Tidak dapat dipakai (<i>unusable</i>)

II. 5. 2. Normalized Crosscorelation (NC)

Tingkat kemiripan antara citra *watermark* asli dengan citra *watermark* hasil ekstraksi secara kuantitatif diukur menggunakan *Normalized Crosscorelation (NC)* (Setiadikarunia, 2008).

NC didefinisikan sebagai berikut:

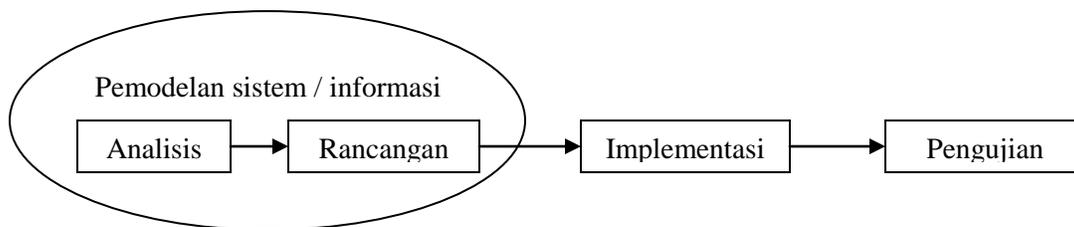
$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} w'_{ij}}{\sum_i \sum_j [w_{ij}]^2} \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan w_{ij} dan w'_{ij} adalah nilai bit piksel (i,j) pada citra *watermark* asli dan citra *watermark* hasil ekstraksi.

II. 6. Proses Perangkat Lunak

Proses perangkat lunak dicirikan seperti sebuah kerangka kerja proses umum yang dibangun dengan mendefinisikan sejumlah kecil aktifitas kerangka kerja yang bisa diaplikasikan ke semua proyek perangkat lunak, tanpa melihat ukuran atau kompleksitasnya. Model proses untuk perangkat lunak dipilih berdasarkan sifat aplikasinya dan proyeknya, metode dan alat – alat bantu yang akan dipakai, dan kontrol serta penyampaian yang dibutuhkan. Model – model proses untuk proses perangkat lunak seperti model sekuensial linear atau *waterfall model*, model prototipe, model RAD, model inkremental, model spiral, model pengembangan konkuren, model metode formal, dan model teknik generasi keempat (Pressman, 1997). Pada tugas akhir ini model proses yang digunakan adalah model sekuensial linear atau *waterfall model*. Model ini mengusulkan sebuah pendekatan kepada perkembangan perangkat lunak yang sistematis dan

sekuensial yang mulai pada tingkat dan kemajuan sistem pada seluruh analisis, desain, implementasi, dan pengujian. Model sekuensial linear merupakan model proses yang tertua dan paling banyak digunakan. Sekalipun memiliki kelemahan, tetapi secara signifikan paradigma ini lebih baik daripada pendekatan yang bersifat sembarangan dalam mengembangkan perangkat lunak (Pressman, 1997). Model sekuensial linear dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Model Sekuensial Linear

Adapun aktivitas – aktivitas dalam model sekuensial linear adalah sebagai berikut:

1. Analisis Perangkat Lunak

Proses pengumpulan kebutuhan diintensifkan dan difokuskan, khususnya pada perangkat lunak. Untuk memahami sifat program yang dibangun, analis harus memahami domain informasi, tingkah laku, unjuk kerja, dan *interface* yang diperlukan. Kebutuhan untuk sistem maupun perangkat lunak didokumentasikan sehingga dapat dikaji oleh pelanggan (Pressman, 1997).

Tahap analisis meliputi pemodelan data dan pemodelan fungsional. Penjelasan masing – masing tahap adalah sebagai berikut:

a) Pemodelan data

Pemodelan data mendeskripsikan data yang terlibat dalam perangkat lunak.

b) Pemodelan fungsional

Pemodelan fungsional mendeskripsikan seluruh fungsi yang terlibat dalam perangkat lunak. Alat yang digunakan adalah DFD (*Data Flow Diagram*). DFD menggambarkan bagaimana data ditransformasikan pada perangkat lunak serta menggambarkan fungsi – fungsi yang mentransformasikan data.

2. Rancangan Perangkat Lunak

Proses perancangan sistem membagi persyaratan dalam sistem perangkat keras atau perangkat lunak. Kegiatan ini menentukan arsitektur sistem secara keseluruhan. Perancangan perangkat lunak melibatkan identifikasi dan deskripsi abstraksi sistem perangkat lunak yang mendasar dan hubungan – hubungannya (Sommerville, 2000). Tahap desain meliputi perancangan data, perancangan fungsional, dan perancangan antar muka. Penjelasan masing – masing tahap adalah sebagai berikut:

a) Perancangan data

Mentransformasikan model data yang dihasilkan oleh proses analisis menjadi struktur data yang dibutuhkan pada saat pembuatan program (*coding*). Selain itu juga akan dilakukan desain terhadap struktur basis data yang akan dipakai.

b) Perancangan fungsional

Mendeskrripsikan kebutuhan fungsi – fungsi utama perangkat lunak.

c) Perancangan antar muka

Mendefinisikan bagaimana pengguna dan perangkat lunak berkomunikasi dalam menjalankan fungsionalitas perangkat lunak.

3. Implementasi Perangkat Lunak

Desain harus diterjemahkan ke dalam bentuk mesin yang dapat dibaca. Jika desain dilakukan dengan cara yang lengkap, pembuatan kode dapat diselesaikan secara mekanis (Pressman, 1997).

4. Pengujian Perangkat Lunak

Program sebaiknya dirilis setelah dikembangkan, diuji, dan memperbaiki kesalahan yang ditemukan pada pengujian untuk menjamin kualitasnya. Pengujian perangkat lunak adalah elemen kritis dari jaminan kualitas perangkat lunak dan merepresentasikan kajian pokok dari spesifikasi, rancangan, dan pengkodean (Pressman, 1997). Terdapat dua metode pengujian yaitu:

a) Metode white box

Pengujian yang berfokus pada logika internal perangkat lunak (*source code* program).

b) Metode black box

Mengarahkan pengujian untuk menemukan kesalahan – kesalahan dan memastikan bahwa *input* yang dibatasi akan memberikan hasil aktual yang sesuai dengan hasil yang dibutuhkan.

Pada tugas akhir ini pengujian dilakukan dengan metode *black box* yaitu menguji fungsionalitas dari perangkat lunak saja tanpa harus mengetahui struktur internal program (*source code*).

II. 6. 1. Alat Bantu Perancangan Perangkat Lunak

II. 6. 1. 1. Data Context Diagram

Data Context Diagram (DCD) adalah sebuah diagram sederhana yang menggambarkan hubungan antara proses dan *entity* luarnya.

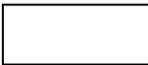
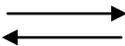
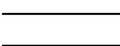
II. 6. 1. 2. Data Flow Diagram

Data Flow Diagram (DFD) adalah model dari sistem untuk menggambarkan pembagian sistem ke modul yang lebih kecil (Al Bahra, 2006).

DFD menggambarkan penyimpanan data dan proses yang mentransformasikan data. DFD menunjukkan hubungan antara data pada sistem dan proses pada sistem.

Simbol DFD menurut Yourdon/ De Marco dapat dilihat pada Tabel 2.2.

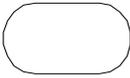
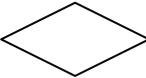
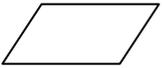
Tabel 2. 2 Simbol – simbol DFD menurut Yourdon / De Marco

Simbol	Nama Simbol	Fungsi / Keterangan
	Proses	Tempat terjadinya kegiatan pengolahan/proses
	Terminator	Entitas luar yang terlibat langsung dengan sistem
	Flow	Menunjukkan arah aliran dari dan kemana
	Storage	Sebagai alat penyimpan

II. 6. 1. 3. Flowchart

Flowchart adalah bagan – bagan yang mempunyai arus yang menggambarkan langkah – langkah penyelesaian suatu masalah. Flowchart merupakan penyajian dari suatu algoritma (Al Bahra, 2006). Simbol – simbol tersebut diantaranya dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Tabel Simbol – Simbol Flowchart

Simbol	Nama Simbol	Fungsi / Keterangan
	Proses	Menunjukkan kegiatan proses dari operasi program komputer
	Terminal	Menunjukkan awal dan akhir dari suatu proses
	Keputusan	Digunakan untuk suatu penyelesaian kondisi dalam program
	Input / Output	Digunakan untuk mewakili data input / output
	Aliran Data	Menunjukkan petunjuk dari aliran fisik pada program

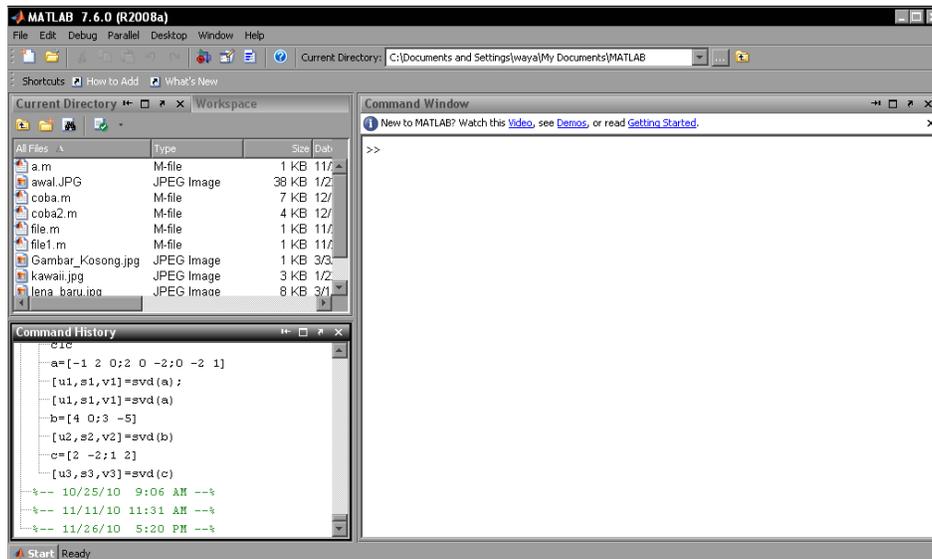
II. 7. MATLAB 7.6

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah perangkat lunak yang berorientasi pada komputasi yang melibatkan penggunaan matriks dan vektor. MATLAB merupakan bahasa pemrograman dengan kemampuan tinggi dalam bidang komputasi. Matlab memiliki kemampuan mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman (Sugiharto,2006).

Tampilan layar untuk ruang kerja MATLAB meliputi:

1. Jendela Utama

Jendela utama (*main window*) merupakan tampilan layar keseluruhan dari MATLAB yang digunakan sebagai tempat kerja utama. Pada jendela utama juga menampilkan lokasi direktori yang sedang aktif dalam bentuk *listbox* dan *tab windows*. Layar tampilan jendela utama dapat dilihat pada gambar 2.7.

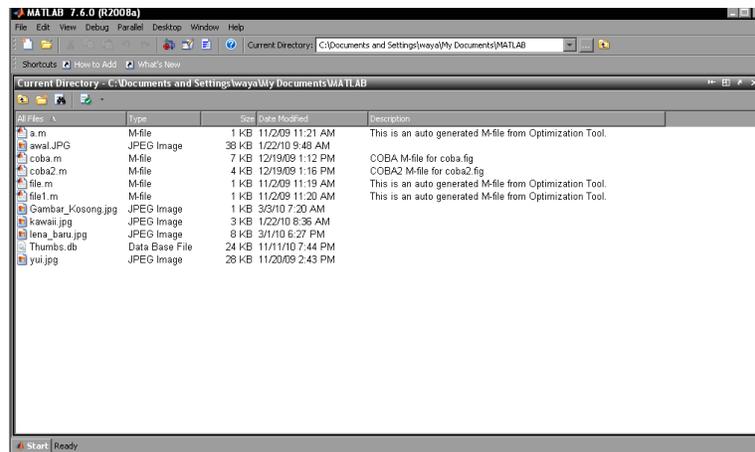


Gambar 2. 7 Tampilan Jendela Utama MATLAB 7.6

Jendela utama terdiri atas:

a. *Current Directory*

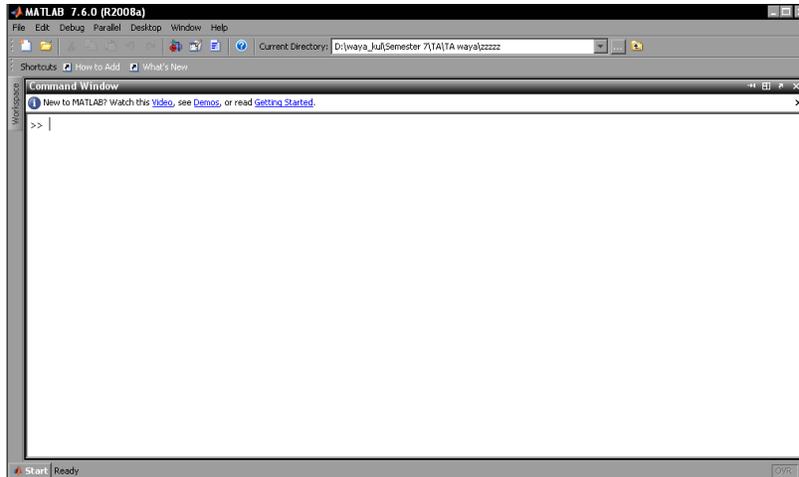
Menampilkan lokasi direktori yang sedang aktif atau yang sedang digunakan. Layar tampilan *current directory* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Tampilan *current directory*

b. *Command Window* (Jendela Perintah)

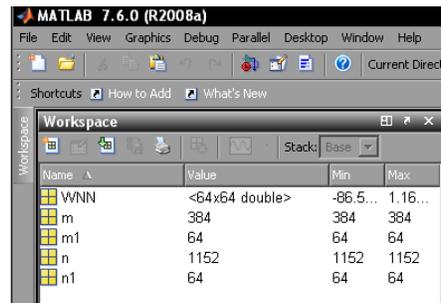
Pada jendela perintah, semua perintah dituliskan dan dieksekusi. Perintah yang dapat dituliskan seperti perhitungan biasa, memanggil fungsi, mencari informasi tentang sebuah fungsi (*help*), demo program, dan sebagainya. Setiap penulisan perintah selalu diawali dengan prompt '>>'. Layar tampilan *command window* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Tampilan *Command window*

c. *Workspace*

Ruang yang berisi semua nama matriks maupun variabel yang disertai dengan ukurannya dari ruang kerja yang sedang aktif. Layar tampilan *workspace* dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Tampilan *Workspace*

d. *Command History Window*

Ruang yang memuat daftar semua perintah yang telah dieksekusi dari jendela perintah. Perintah – perintah yang diberikan selalu disimpan antara sesi – sesi MATLAB, sehingga dapat dipilih dan dieksekusi ulang untuk sekelompok perintah dari pekerjaan yang telah lalu. Untuk mengeksekusi kembali perintah yang pernah dipakai, dapat melakukan drag perintah yang akan kembali dieksekusi dari jendela daftar perintah ke jendela perintah. Layar tampilan *command history* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Tampilan *Command History*

2. Menu utama

Berisi menu – menu perintah pada MATLAB. Menu utama terdiri dari:

a. Menu Bar

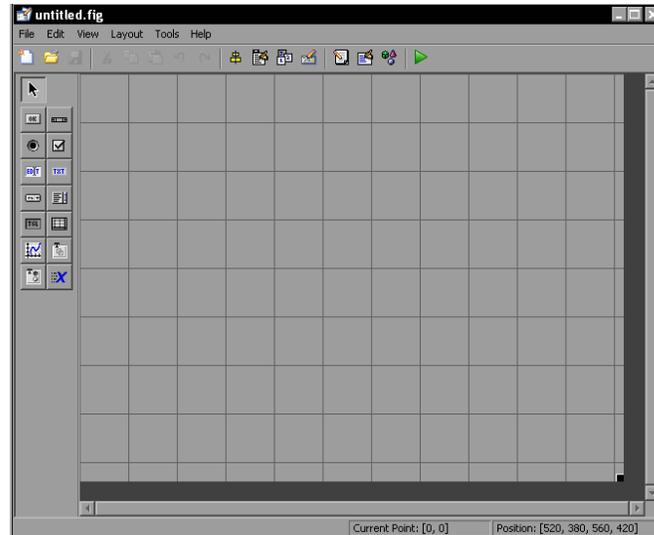
Menu bar merupakan drop-down menu yang dapat mengontrol operasi dalam ruang kerja MATLAB. Menu bar berisi File, Edit, Debug, Parallel, Desktop, Window, dan Help.

b. Tool Bar

Tool bar berisi kumpulan gambar yang mewakili perintah yang ada di menu bar. Fungsi utama tool bar yaitu memudahkan penggunaan suatu operasi yang digunakan berulang-ulang.

II. 7. 1. GUI (*Graphical User Interface*) MATLAB 7.6

GUI (*Graphical User Interface*) MATLAB merupakan fasilitas yang disediakan oleh MATLAB yang digunakan untuk membuat desain *interface* grafis dari program yang dibuat. Layar tampilan GUI dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Tampilan jendela *figure* utama

1. *Figure Window*

Merupakan pusat dari pengembangan grafis dari MATLAB. Di sini adalah tempat untuk menggambar user interface / antar muka program aplikasi.

2. *UiControl Toolbox*

Merupakan kumpulan dari objek yang digunakan untuk membuat user interface / antar muka serta kontrol bagi program aplikasi. Objek – objek tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

- *Pointer*
Digunakan untuk memilih atau menggeser objek terpilih.
- *Push Button*
Digunakan untuk mengeksekusi sub – fungsi dari program ketika ditekan menggunakan *mouse*.
- *Slider*
Fasilitas untuk input data numerik dengan skala tertentu. Input data dapat dilakukan dengan cara menggeser objek yang dibatasi oleh skala minimum yang telah ditentukan terlebih dahulu dalam program.
- *Radio Button*
Fasilitas untuk pilihan dari proses. Input dapat dilakukan dengan menekan *mouse*, maka akan ditampilkan dalam bentuk tanda dot.

- *Check Box*
Berfungsi sama dengan *radio button*, hanya saja aksi ditampilkan dalam bentuk cek.
- *Edit Text*
Digunakan untuk input atau modifikasi data oleh *user* secara interaktif.
- *Static Text*
Digunakan untuk member nama label untuk memperjelas program aplikasi, teks ini tidak dapat diedit secara interaktif.
- *Pop – up menu*
Fasilitas untuk input data yang ditampilkan dalam bentuk data item, sehingga *user* dapat memilih salah satu item sebagai input data.
- *Listbox*
Berfungsi sama dengan *pop-up menu* hanya saja semua pilihan input ditampilkan pada editor inputan.
- *Toggle Button*
Fasilitas ini berfungsi sama dengan *push button*, hanya saja pada saat ditekan maka tampilannya akan terlihat melengkung kearah dalam sampai eksekusi sub-fungsi selesai.
- *Axes*
Fasilitas untuk menampilkan grafik maupun gambar.
- *Table*
Fasilitas untuk menampilkan tabel.
- *Panel*
Fasilitas untuk membuat sebuah ruang dalam *figure* yang berbentuk persegi. Dengan panel ini objek dapat dikelompokkan dalam satu ruang sehingga hubungan antar objek semakin jelas.
- *Button Group*
Berfungsi untuk mengelompokkan dua atau lebih *button* menjadi satu grup yang saling berkaitan.
- *ActiveX Control*
Menghubungkan dan mengaitkan *plugin – plugin* yang mendukung seperti plot grafik 3D, chart, dll.

3. *Property Inspector*

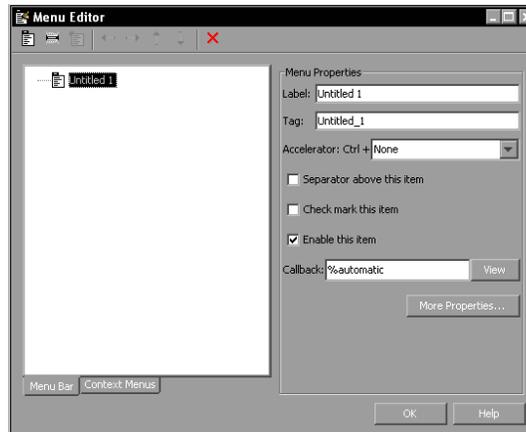
Merupakan salah satu toolbox pada *Figure window* yang berisi daftar struktur setting properti yang digunakan pada sebuah objek terpilih pada GUI seperti warna, ukuran, visibilitas, enabilitas, jenis font, dan atribut – atribut properti lainnya. Layar tampilan *property inspector* dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Tampilan *Property Inspector*

4. *Menu Editor*

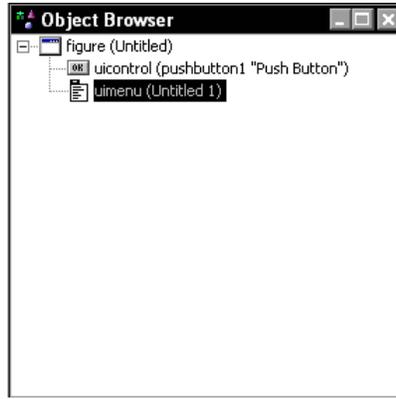
Merupakan salah satu toolbox pada *Figure window* yang dapat merancang menu maupun sub menu yang disajikan secara drop-down pada *figure* MATLAB. Layar tampilan menu editor dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Tampilan *Menu editor*

5. Object Browser

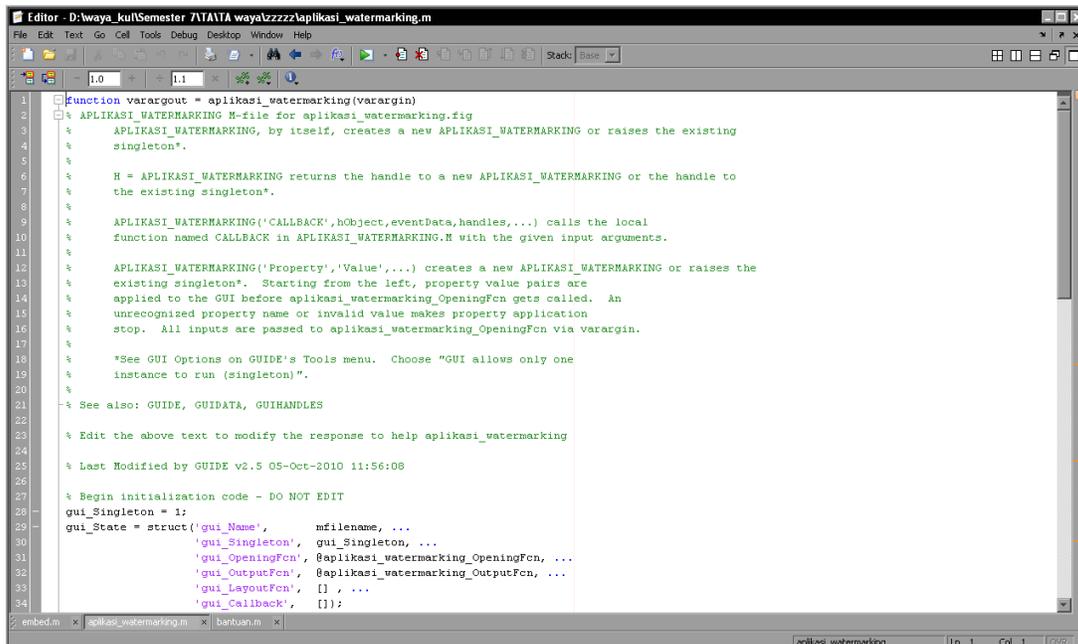
Merupakan salah satu toolbox pada *Figure window* yang menyimpan semua nama objek pada *figure* yang sedang aktif. Layar tampilan *object browser* dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Tampilan Object Browser

6. M-File Editor

Merupakan ruang yang digunakan untuk mengetikkan sejumlah perintah sekaligus yang disimpan sebagai file dengan ekstensi (*.m). Untuk mengeksekusi script tersebut dapat dilakukan dengan mengetikkan nama file pada *command window*. Layar tampilan *M-File editor* dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Tampilan M-File Editor