

**PENDETEKSIAN DAN PEMULIHAN KERUSAKAN
CITRA MEDIS CT SCAN MENGGUNAKAN
SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD)
BERDASARKAN REGION OF INTEREST(ROI)**

SKRIPSI



ALVIONITA TINI KADOLA

H13116307

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

**PENDETEKSIAN DAN PEMULIHAN KERUSAKAN CITRA MEDIS CT
SCAN MENGGUNAKAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD)
BERDASARKAN REGION OF INTEREST(ROI)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
pada Program Studi Sistem Informasi Departemen Matematika Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar

ALVIONITA TINI KADOLA

H131 16 307

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
AGUSTUS 2023**

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Alvionita Tini Kadola

NIM : H13116307

Program Studi : Sistem Informasi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

**PENDETEKSIAN DAN PEMULIHAN KERUSAKAN CITRA MEDIS CT
SCAN MENGGUNAKAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD)
BERDASARKAN REGION OF INTEREST(ROI)**

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 3 Agustus 2023



Alvionita Tini Kadola
NIM. H13116307

**PENDETEKSIAN DAN PEMULIHAN KERUSAKAN CITRA
MEDIS CT SCAN MENGGUNAKAN SINGULAR VALUE
DECOMPOSITION (SVD) BERDASARKAN REGION OF
INTEREST(ROI)**

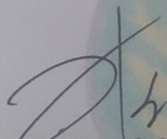
Disusun dan diajukan oleh :

**ALVIONITA TINI KADOLA
H13116307**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Sistem Informasi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin dan
dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

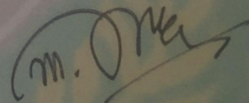
Pembimbing Utama,



Dr. Hendra, S.Si., M.Kom

NIP. 197601022002121001

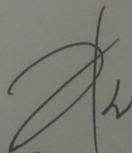
Pembimbing Pertama



Muhammad Sadno, S.Si., M.Si

NIP. 199008162022043001

Ketua Program Studi,



Dr. Hendra, S.Si., M.Kom

NIP. 197601022002121001



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Alvionita Tini Kadola
NIM : H13116307
Program Studi : Sistem Informasi
Judul Skripsi : Pendeteksian dan Pemulihan Kerusakan Citra Medis CT Scan Menggunakan *Singular Value Decomposition* (SVD) Berdasarkan *Region Of Interest*(ROI)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Sistem Informasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

Tanda Tangan

Ketua	: Dr. Hendra, S.Si., M.Kom.	(.....)
Sekretaris	: Muhammad Sadno, S.Si., M.Si	(.....)
Anggota	: A. Muh. Amil Siddik, S.Si., M.Si	(.....)
Anggota	: Edy Saputra, S.Si., M.Si.	(.....)

Ditetapkan di : Makassar
Tanggal : Agustus 2023



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “PENDETEKSIAN DAN PEMULIHAN KERUSAKAN CITRA MEDIS CT SCAN MENGGUNAKAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD) BERDASARKAN REGION OF INTEREST (ROI)” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Sistem Informasi.

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, ada begitu banyak hambatan dan kesulitan yang dilewati oleh penulis. Namun karena bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini meskipun masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada kedua orang tua penulis Ayahanda **Antonius Sule** dan Ibunda **Ritta** yang dengan sabar memberi kasih sayang, dukungan, nasihat dan doa kepada penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada saudara-saudara penulis **Dewina, Yacolina** dan **Jelni** yang tidak henti-hentinya memberikan, motivasi, masukan dan segala bantuan.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini dapat terselesaikan juga dengan bantuan, dukungan, dan bimbingan dari pihak lain. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada

1. Rektor Universitas Hasanuddin, **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** dan seluruh jajarannya.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Bapak **Dr. Eng. Amiruddin**, wakil dekan dan para staff yang membantu penulis selama mengenyam Pendidikan di Universitas Hasanuddin.
3. Ketua Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, **Prof. Dr. Nurdin, S.Si., M.Si.**
4. Ketua Program Studi Sistem Informasi FMIPA Unhas, Bapak **Dr. Hendra, S.Si., M.Kom.** sekaligus pembimbing akademik dan pembimbing utama yang selalu memberikan nasehat, motivasi, dan bantuan akademik kepada penulis selama proses pendidikan juga bantuan, dukungan, kesempatan dan kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak **Muhammad Sadno, S.Si., M.Si.** sebagai pembimbing pertama yang

memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.

6. Bapak **A. Muh. Amil Siddik, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Edy Saputra Rusdi, S.Si., M.Si.** sebagai tim penguji yang memberikan saran dan kritik yang membangun.
7. Bapak/Ibu dosen FMIPA Universitas Hasanuddin yang telah mendidik dan memberikan ilmunya sehingga penulis mampu menyelesaikan program sarjana. Serta para staff yang telah membantu dalam pengurusan berkas administrasi.
8. Keluarga besar **Sistem Informasi Unhas 2016 (sebelumnya ilmu komputer)** yang telah berbagi suka duka serta membantu dan memberi dukungan kepada penulis selama menjalani pendidikan.
9. Sahabat penulis, **Arvina Sulviyani** yang telah menemani berbagi suka dan duka selama proses perkuliahan. Senantiasa memberikan dukungan, bantuan dan motivasi. Mendengarkan keluh kesah dan memberikan saran serta solusi kepada penulis.
10. Teman-teman **KKN E-Commerce Luwu Utara Gelombang 102** yang telah berbagi pengalaman dan momen tak terlupakan.
11. Keluarga di Rappocini Om(Alm.), Tante, Kak Deus, Kak Alon, Kak Elim, dan Leni yang senantiasa membantu dan memberikan dukungan, nasehat serta motivasi kepada penulis.
12. Semua pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu baik secara langsung maupun tidak langsung

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, masih banyak kekurangan karena keterbatasan pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Akhir kata penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Makassar, 3 Agustus 2023

ALVIONITA TINI KADOLA
NIM. H13116307

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alvionita Tini Kadola
NIM : H13116307
Program Studi : Sistem Informasi
Departemen : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“PENDETEKSIAN DAN PEMULIHAN KERUSAKAN CITRA MEDIS CT SCAN MENGGUNAKAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD) BERDASARKAN REGION OF INTEREST (ROI)”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada tanggal 3 Agustus 2023

Yang Menyatakan

(Alvionita Tini Kadola)

ABSTRAK

Kemajuan teknologi membuat proses pertukaran data bertambah cepat. Hal ini juga berpengaruh pada proses pertukaran data medis seperti CT scan antar instansi Kesehatan. Tentu saja ini dapat mempermudah, namun disatu sisi juga dapat berbahaya jika terjadi kerusakan atau perubahan pada cita medis tersebut baik secara disengaja maupun tidak disengaja. Hal ini dapat berpengaruh pada pembacaan informasi yang dapat menyebabkan kesalahan diagnosis. Oleh sebab itu keaslian citra medis sangat penting, salah satu cara yang dapat dilakukan dalam perlindungan citra medis ini yaitu dengan menanamkan watermark. Watermark ini bersifat fragile dimana akan berubah jika terjadi kerusakan atau perubahan pada citra penampung. Penyisipan watermark ini sebaiknya dilakukan pada bagian-bagian yang tidak terdapat informasi penting agar tidak mempengaruhi informasi yang ada. Bagian penting ini adalah *Region of Interest* (ROI) dan bagian selebihnya merupakan *Region of Non Interest* (RONI). Watermark yang digunakan adalah potongan ROI yang akan dikompresi dengan *Run Length Encoding* (RLE), kemudian disisipkan pada bagian RONI dengan metode *Singular Value Decompositon*(SVD).

Kata kunci: CT scan, *Watermarking*, *Singular Value Decompositon*, *Region of Interest*

ABSTRACT

Advances in technology make the data exchange process faster. This also affects the process of exchanging medical data as CT Scans between health agencies. Of course this can make it easier, but on the one hand it can also be dangerous if there is damage or changes to the medical mind either intentionally or unintentionally. this can affect the readability of information which can lead to misdiagnosis. Therefore the authenticity of medical images is very important, one way that can be done in protecting this medical image is by embedding a watermark. This watermark is fragile which will change if there is damage or changes to the container image. The insertion of this watermark should be done in parts where there is no important information so as not to affect the existing information. This important part is the Region of Interest (ROI) and the remaining part is the Region of Non Interest (RONI). The watermark used is a ROI piece that will be compressed with Run Length Encoding (RLE), then inserted into the RONI section with the Singular Value Decompositon (SVD) method.

Keywords: *CT Scan, Watermarking, Singular Value Decomposition, Region of Interest*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Citra Digital	4
2.2 CT Scan	5
2.3 Watermarking	6
2.3.1 Proses watermarking	6
2.3.2 Watermarking pada citra digital	8

2.3.3	Aplikasi watermarking.....	9
2.4	Kompresi citra.....	10
2.5	<i>Region of Interest (ROI)</i>	11
2.6	<i>Singular Value Decomposition (SVD)</i>	12
2.7	<i>Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)</i> dan <i>Normalized Correlation (NC)</i>	16
2.7.1	<i>Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)</i>	16
2.7.2	<i>Normalized Correlation (NC)</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Waktu dan lokasi penelitian	18
3.2	Prosedur Penelitian.....	18
3.3	Sumber Data.....	19
3.4	Instrumen Penelitian.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		20
4.1	Pembuatan Watermark	20
4.2	Implementasi Pembuatan Watermark	22
4.3	Penyisipan Watermark Dengan <i>Singular Value Decomposition (SVD)</i>	23
4.4	Implementasi Penyisipan Watermark.....	24
4.5	Verifikasi (Ekstraksi dan Perbandingan) dan Pemulihan	24
4.6	Implementasi Verifikasi dan Pemulihan	25
4.7	Pengujian Kualitas Citra.....	26
4.8	Implementasi Kualitas Citra.....	27
BAB V PENUTUP		28
5.1	Kesimpulan.....	28
5.2	Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA		29
LAMPIRAN.....		31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses enkripsi	7
Gambar 2.2 Proses verifikasi pada watermarking	7
Gambar 3.2 Citra asli	21
Gambar 4.4 potongan program kompresi RLE.....	23
Gambar 4.5 potongan program segmentasi ROI dengan roipoly.....	24
Gambar 4.6 Flowchart verifikasi (ekstraksi dan perbandingan) dan pemulihan..	25
Gambar 4.7 Potongan program segmentasi ekstraksi	25
Gambar 4.8 Potongan program dekompresi RLE.....	26
Gambar 4.9 Potongan program deteksi dan recovery	26

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 segmentasi ROI dan RONI dengan roipoly	21
Tabel 4.2 segmentasi ROI dan RONI dengan rectangle	21
Tabel 4.3 Penyisipan citra watermark.....	24

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	31
Lampiran 2	33
Lampiran 3	34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertukaran data dan informasi pasien antar instansi layanan kesehatan telah menjadi praktik alami saat ini dikarenakan pasien mungkin melakukan pemeriksaan kesehatan pada instansi kesehatan berbeda. Salah satu yang banyak digunakan adalah citra medis berupa CT Scan. Namun selama proses transmisi, data medis dapat dimanipulasi secara sengaja atau tidak sengaja yang dapat menyebabkan konsekuensi yang berbahaya. Karena pentingnya gambar medis dalam banyak aplikasi penting yang berkaitan dengan kehidupan manusia, seperti diagnosis klinis, pengobatan, dan pembedahan, verifikasi integritas dan teknik deteksi kerusakan telah menjadi tuntutan yang semakin mendesak. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk melindungi data digital adalah dengan digital watermarking.

Watermarking merupakan suatu bentuk dari steganography, yaitu ilmu yang mempelajari bagaimana menyembunyikan suatu data pada data yang lain. Watermarking (tanda air) ini agak berbeda dengan tanda air pada uang kertas. Tanda air pada uang kertas masih terlihat oleh indera manusia (mungkin dalam posisi kertas tertentu), tetapi watermarking pada media digital tak akan dirasakan kehadirannya oleh manusia tanpa alat bantu mesin pengolah digital seperti komputer (Suhono, 2009).

Citra medis merupakan data penting dan sensitif karena berisi informasi menyangkut data pasien yang harus terjamin kerahasiaan dan terverifikasi keaslian serta integritasnya. Kerusakan pada citra medis baik sengaja maupun tidak disengaja dapat menjadi hal yang fatal karena menyangkut nyawa dan kesehatan manusia. Oleh karena itu implementasi watermarking harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak informasi dan menyebabkan kesalahan diagnosis, seperti memodifikasi wilayah tertentu dari data citra. Wilayah itu disebut *Region of Interest (ROI)*, yaitu wilayah yang berisi informasi paling signifikan terkait dengan diagnosis pasien dan karenanya harus disimpan tanpa distorsi. Bagian citra diluar ROI merupakan *Region of None Interest (RONI)* digunakan sebagai bagian host untuk menyematkan

watermark. Telah banyak penelitian mengenai perlindungan dan pendeteksian citra digital termasuk perlindungan citra medis dengan berbagai metode.

Berdasarkan masalah diatas, penulis ingin meneliti lebih banyak mengenai perlindungan citra medis. Telah banyak penelitian yang dilakukan terkait perlindungan dan pendeteksian citra digital termasuk perlindungan citra medis dengan berbagai metode. Pada penelitian ini, penulis ingin fokus pada pendeteksian kerusakan dan pemulihan citra medis dengan menyisipkan watermark berdasarkan *Region of Interest (ROI)* dengan metode *Singular Value Decomposition (SVD)*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah berikut:

1. Bagaimana implementasi metode *Singular Value Decomposition (SVD)* berdasarkan *Region of Interest (ROI)* data citra medis untuk menyisipkan watermark?
2. Bagaimana hasil pendeteksian dan pemulihan data citra medis yang mengalami serangan?
3. Bagaimana perbandingan kualitas data citra sebelum dan setelah dipulihkan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengimplementasikan metode *Singular Value Decomposition (SVD)* pada *Region of None Interest (RONI)* data citra medis untuk menyisipkan watermark.
2. Mampu mendeteksi kerusakan dan melakukan pemulihan terhadap data citra medis yang mengalami serangan.
3. Menganalisis kualitas citra sebelum dan setelah dipulihkan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat digunakan menjadi salah satu solusi kerusakan citra medis saat ini.
2. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian yang terkait selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

1. Penggunaan citra CT scan tulang kaki dengan format jpg.

2. Metode watermarking yang digunakan adalah *Singular Value Decomposition (SVD)*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Citra Digital

Citra menurut kamus Webster berarti representasi, kemiripan atau imitasi dari suatu objek (dalam Ariyanti,2010).

Citra digital merupakan larik (*array*) yang berisi nilai-nilai real atau kompleks yang diprepresentasikan dengan bit-bit tertentu (Putra, 2010). Citra digital adalah sinyal diskrit 2 dimensi. Secara matematis, sinyal ini dapat direpresentasikan sebagai fungsi dari variable-variabel 2 dimensi. Setiap elemen dari array disebut piksel (Wolfram Research, Inc.,2002). Citra merupakan salah satu bentuk informasi yang diperlukan manusia selain teks, suara dan video. Informasi ini diperlukan bukan hanya untuk komunikasi antar manusia saja tetapi juga antara manusia dengan mesin. Informasi yang terkandung dalam sebuah citra dapat diinterpretasikan berbeda-beda oleh manusia satu dengan yang lain. Artinya, nilai informasi pada sebuah citra bersifat subyektif tergantung keperluan masing-masing manusia.

Citra digital adalah representasi citra melalui pencuplikan (*sampling*) secara ruang. Citra digital umumnya berbentuk persegi panjang dengan dimensi tinggi x lebar ($M \times N$). M menyatakan jumlah baris sedangkan N menyatakan jumlah kolom pada matrik citra. Masing-masing elemen dari larik matriks ini disebut elemen citra, elemen gambar, piksel atau pel (Sulistiyanti dkk.,2016). Secara matematis citra digital dapat diungkapkan dalam bentuk matrik seperti diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M - 1,0) & f(M - 1,1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Nilai suatu piksel memiliki jangkauan yang berbeda-beda tergantung warnanya. Secara umum berada antara 0-255. Berikut ini jenis citra berdasarkan pikselnya (Putra, 2010).

- a) Citra biner, yaitu citra digital yang kemungkinan nilai pixelnya hanya dua yaitu hitam dan putih. Citra biner biasa juga disebut citra monokrom dan setiap pixelnya hanya diwakili 1 bit.

- b) Citra greyscale, yaitu citra digital yang setiap pikselnya hanya memiliki satu nilai kanal untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dimiliki adalah hitam, keabuan dan putih dengan tingkat keabuan adalah warna abu.
- c) Citra warna, terbagi menjadi yang pertama citra warna 8 bit dimana setiap pikselnya hanya diwakili oleh 8 bit dengan warna maksimum yang digunakan adalah 256. Citra warna 16 bit atau citra high color yang setiap pikselnya diwakili 2 byte memory (16 bit) dengan total warna 65.536. Citra warna 24 bit yang setiap pikselnya diwakili 24 bit dengan total warna 16.777.216 warna.

2.2 CT Scan

Computed Tomography (CT) merupakan suatu modalitas imaging diagnostic yang menggunakan gabungan dari sinar x dan komputer untuk mendapatkan citra atau gambar berupa variasi irisan tubuh manusia (Bontrager, 2010). Istilah "dihitung" dalam CT (computed tomography) menunjukkan dihitung atau direkonstruksi, dan istilah "tomografi" adalah kata majemuk yang terdiri dari istilah "tomo" (yang berarti "memotong" atau "bagian" dalam bahasa Yunani) dan "graphy" (yang berarti "menggambarkan" dalam bahasa Yunani). Pengoperasian pemindai CT didasarkan pada sinar-X. Energi tipikal yang digunakan pada CT umumnya berkisar antara 100 kV hingga 150 kV. Untuk mendapatkan gambar CT, sebuah objek diletakkan di atas meja. Sumber sinar-X (di dalam gantri pemindai CT) berputar di sekitar objek, dan sinar-X yang melewati objek terdeteksi di sisi yang berlawanan. Deteksi yang diperoleh pada sudut yang berbeda dikirim ke *data acquisition system* (DAS). Sistem ini menyediakan data proyeksi untuk membentuk gambar tomografi. Persyaratan dasar akuisisi citra CT meliputi fakta bahwa satu citra tomografi direkonstruksi dari data proyeksi sinar-X dari objek yang diperoleh pada berbagai sudut untuk rotasi umum 360° (atau 180°) dan selama pemindaian, objek harus disertakan dalam setiap set data proyeksi, dan objek harus diam (Jung, 2021).

Ketika sinar x melewati pasien, sinar x mengalami perlemahan dan selanjutnya diukur oleh detector. Detector mengkonversi foton sinar x menjadi sinyal elektrik atau sinyal analog yang harus menjadi data digital (numeric) untuk

masuk ke dalam komputer. Komputer lalu melakukan proses rekonstruksi. Gambar direkonstruksi dalam bentuk numeric dan harus diubah menjadi sinyal listrik untuk dapat dilihat pada monitor. Gambar dan data terkait kemudian dikirim ke PACS, dimana ahli radiologi dapat mengambil dan menginterpretasikannya. Setelah itu gambar dapat disimpan pada kaset magnetic (Seeram,2008).

2.3 Watermarking

Watermarking adalah suatu bentuk dari steganografi, yaitu ilmu yang mempelajari bagaimana menyembunyikan suatu data pada data atau file digital lainnya (Suhono dkk, 2000).

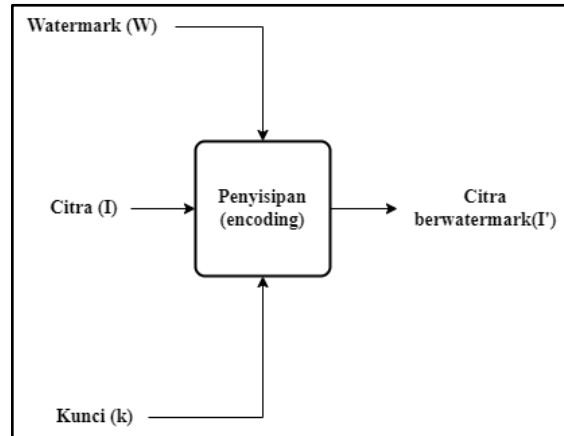
Teknik *watermarking* merupakan salah satu cara untuk melindungi hak cipta multimedia dengan menyisipkan informasi ke dalam data multimedia tersebut. Informasi yang disisipkan ke dalam data multimedia disebut *watermark*, dan *watermark* dapat dianggap sebagai sidik digital (*digital signature*) atau stempel digital dari pemilik yang sah atas produk multimedia tersebut. *Watermark* dapat berupa teks seperti informasi *copyright*, gambar berupa logo, data audio, atau rangkaian bit yang tidak makna. Penyisipan *watermark* dilakukan sedemikian rupa sehingga *watermark* tidak merusak data digital yang dilindungi (Munir, 2006).

2.3.1 Proses watermarking

Secara umum teknik watermarking terdiri atas dua tahap, yaitu penyisipan (*encoding*) dan verifikasi. Penyisipan *watermark* dapat dipandang sebagai superposisi data *watermark* pada citra dengan suatu cara sedemikian sehingga superposisi tersebut tidak mempengaruhi persepsi visual terhadap citra (Munir, 2006).

a) Penyisipan (*encoding*)

Encoding dapat disertai dengan pemasukan kunci atau tidak memerlukan kunci. Kunci diperlukan agar *watermark* hanya dapat diekstraksi oleh pihak yang sah. Kunci juga dimaksudkan untuk mencegah *watermark* dihapus oleh pihak yang tidak berhak. *Encoder E* menerima masukan berupa citra I , *watermark* w , kunci penyisipan k , dan menghasilkan citra ber-*watermark*, I' .



Gambar 2.1 Proses enkripsi

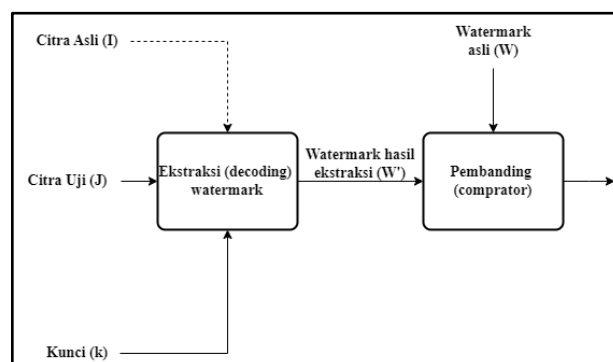
Secara matematis, penyisipan *watermark* ditulis sebagai

$$E_k(I, w) = \hat{I} \quad (2.2)$$

b) Verifikasi

Verifikasi *watermark* dilakukan untuk membuktikan status kepemilikan citra digital yang disengketakan. Verifikasi *watermark* terdiri atas dua sub-proses, yaitu ekstraksi dan pembandingan (Munir, 2006).

Watermark harus dapat diekstraksi atau dideteksi kembali bergantung pada algoritma *watermarking* yang digunakan. Pada beberapa algoritma *watermarking*, *watermark* dapat diekstraksi dalam bentuk yang eksak, sedangkan pada sebagian algoritma yang lain, kita hanya dapat mendeteksi apakah *watermark* terdapat di dalam citra, sehingga prosedurnya dinamakan pendeteksian *watermark*.



Gambar 2.2 Proses verifikasi pada watermarking

Gambar 2.2 memperlihatkan prosedur untuk melakukan ekstraksi dan selanjutnya verifikasi *watermark*. Prosedur terdiri dari sebuah *decoder*

untuk mengekstraksi *watermark* dan komparator untuk melakukan perbandingan. *Decoder D* menerima masukan berupa citra J (J bisa berupa citra ber-*watermark I* atau citra tanpa *watermark*, bahkan mungkin citra yang sudah mengalami distorsi. Jika tidak ada distorsi, $J = \hat{I}$), kunci k , dan menghasilkan *watermark* terekstraksi w' . Secara matematis proses ini ditulis sebagai

$$D_k(J) = w' \quad (2.3)$$

Decoder dapat mengikutsertakan citra asal yang belum diberi *watermark* (*non-blind watermarking*) atau tidak sama sekali (*blind watermarking*), karena beberapa skema *watermarking* memang menggunakan citra asal dalam proses ini untuk meningkatkan hasil ekstraksi yang lebih baik. Selanjutnya, *watermark* terekstraksi w' dibandingkan dengan *watermark* asli w dengan fungsi komparator C (umumnya sebuah *correlator*) untuk menghasilkan keputusan berupa keluaran biner (1 menyatakan cocok, 0 menyatakan sebaliknya):

$$C_t(w, w') = \begin{cases} 1, & c \leq t \\ 0 & c > t \end{cases} \quad (2.4)$$

yang dalam hal ini, t adalah nilai ambang, dan $c = C_t(w, w')$ adalah nilai korelasi antara dua buah sinyal *watermark*.

2.3.2 Watermarking pada citra digital

Watermark dan teknik *watermarking* dapat dibagi menjadi berbagai kategori dengan berbagai cara. *Watermark* dapat diterapkan pada domain spasial. Alternatif untuk *watermarking* domain spasial adalah *watermarking* domain frekuensi dimana domain frekuensi lebih kuat daripada teknik domain spasial (Mohanty,1999). Dalam domain spasial data teknik *watermarking* dimasukkan langsung ke host gambar sementara pada domain frekuensi data dimasukkan ke dalam gambar host yang diubah (Eswaraiah & Reddy, 2014).

Beberapa jenis kategori *watermarking* lainnya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan persepsi manusia, *image watermarking* dibedakan menjadi *visible watermarking* dan *invisible watermarking*. *Watermarking* tak-tampak (*invisible*) merupakan *watermark* tidak dapat ditangkap oleh indera visual yang dimungkinkan karena sistem visual manusia yang tidak

dapat mendeteksi perubahan kecil pada citra. Sebaliknya *invisible watermarking* dapat dilihat jelas oleh indra manusia.

- b) Berdasarkan tingkat kokokohan *watermark*, *image watermarking* dibedakan menjadi *secure watermarking*, *robust watermarking*, dan *fragile watermarking*. *Secure watermarking* berarti *watermark* harus tetap bertahan terhadap *non-malicious attack* dan *malicious attack*. *Non malicious attack* merupakan serangan yang dapat merusak atau menghancurkan *watermark* di dalam data digital, seperti kompresi, operasi penapisan, penambahan derau, penskalaan, penyuntingan, operasi geometri, dan *cropping*. Jika akibat serangan tersebut *watermark* masih dapat diekstraksi, maka skema *watermarking* yang digunakan dikatakan kokoh (*robust*). Serangan *malicious* menyerang algoritma yang bertujuan menghilangkan atau membuat *watermark* tidak dapat dideteksi. *Fragile watermarking*, merupakan *watermark* yang berubah, rusak, bahkan hilang bila citra mengalami serangan.
- c) Berdasarkan proses verifikasi *watermark*, *image watermarking* dibedakan menjadi *blind watermarking* dan *non blind watermarking*. Dalam proses verifikasi citra, *blind watermarking* tidak membutuhkan citra asli. Sebaliknya *non blind watermarking* memerlukan citra asli untuk proses verifikasi.

2.3.3 Aplikasi watermarking

Dalam keidupan sehari-hari, watermarking dapat dimanfaatkan untuk banyak hal, diantaranya sebagai berikut.

- a) Label kepemilikan atau *copyright*.
- b) Otentikasi atau *tamper proofing* untuk pembuktian keaslian citra digital dengan membandingkan watermark hasil ekstraksi dengan watermark asli
- c) Fingerprinting (traitor-tracing).
- d) Aplikasi medis untuk pengamanan data medis yang berisi informasi penting agar tidak terjadi kesalahan diagnosis.
- e) Covert communication, watermarking dapat digunakan untuk menyisipkan informasi rahasia kepada penerima.
- f) Piracy protection.

2.4 Kompresi citra

Kompresi data merupakan teknik memampatkan data untuk memperoleh data berukuran lebih sehingga dapat mengefisiensi waktu transmisi dan penyimpanan data.

Teknik kompresi terbagi menjadi dua, yaitu *lossless* dan *lossy compression*. Pada kompresi *lossless* tidak ada informasi yang hilang sehingga memungkinkan data terkompresi dapat dikembalikan menjadi data asli. Contoh penerapannya yaitu pada ZIP, rar juga digunakan pada kompresi citra medis karena fatal jika ada informasi yang hilang. Sedangkan kompresi *lossy* menghilangkan detail yang kurang penting sehingga data yang diperoleh mungkin memiliki sedikit perbedaan dengan data aslinya. Kompresi ini paling banyak digunakan untuk kompres data multimedia.

Run length Encoding (RLE) merupakan salah satu metode kompresi *lossless* yang sangat sederhana dan cocok digunakan untuk memampatkan citra dengan kelompok piksel berderajat keabu – abuan yang sama. Metode ini dilakukan dengan menyatakan seluruh baris citra menjadi sebuah baris run, kemudian menghitung run length untuk setiap derajat keabu – abuan yang berurutan (Utari,2016).

Contoh penerapan RLE

Citra grayscale 3 bit berukuran 10 x 10 piksel akan dikompresi dengan metode RLE

5	5	5	5	6	6	6	6	7	7
4	4	4	4	4	8	8	8	8	8
6	6	7	7	7	7	9	9	9	9
5	5	5	3	3	2	2	2	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
7	7	7	7	7	7	9	9	9	9
4	4	4	4	8	8	8	6	6	6
9	9	9	6	6	6	6	5	5	5
2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	5	5	6	6	6	6	4	4	4

Hasil kompresi

(5,4)(6,3)(7,2)

(4,5)(8,5)

(6,2)(7,4)(9,4)

(5,3)(3,2)(2,5)

(0,10)

(3,5)(1,5)

(7,6)(9,4)

(4,4)(8,3)(9,3)

(9,3)(6,4)(5,3)

(2,6)(1,4)

(5,3)(6,4)(4,3)

Hasil pengkodean

4585627494533225010351576944483939364532614536443

Total=49 piksel

Ukuran citra sebelum mengalami proses kompresi = $10 \times 10 \times 3 = 300$ bit

Ukuran citra setelah mengalami proses kompresi = 49×3 bit = 147 bit

Rasio pemampatan = $100\% - \frac{147}{300} \times 100\% = 51\%$

Diperoleh rasio pemampatan sebesar 51%

2.5 *Region of Interest (ROI)*

Region of Interest (ROI) merupakan area tertentu dari sebuah citra. ROI didefinisikan sebagai area gambar yang dipilih dari mana nilai piksel individu atau rata-rata diekstraksi untuk analisis lebih lanjut (Froeling dkk, 2016). ROI memungkinkan dilakukannya pemrosesan secara berbeda pada area tertentu dari citra digital. Bagian citra yang tidak termasuk area ROI disebut *region of non interest (RONI)*. Dalam pemrosesan citra medis, ROI merupakan bagian yang mengandung informasi paling penting untuk pengambilan keputusan diagnostik. Oleh karena itu lebih baik tidak menyematkan data apa pun di dalam ROI. Pada saat yang sama, setiap modifikasi atau gangguan yang terjadi pada ROI selama transmisi citra medis harus terdeteksi dan ROI asli harus dipulihkan dengan tepat. Pemulihan ini membantu menghindari diagnosis yang salah serta transmisi ulang citra medis. Umumnya, data pemulihan ROI tertanam di dalam RONI. Ketika ada modifikasi atau perusakan yang terdeteksi di dalam ROI dari citra medis yang

diterima, maka informasi yang disematkan di dalam RONI akan diekstraksi dan digunakan untuk memulihkan ROI asli.

2.6 *Singular Value Decomposition (SVD)*

Dekomposisi matriks berarti melakukan faktorisasi sebuah matriks menjadi beberapa matriks penyusun, contohnya A , hasil kali dari beberapa matriks lain, B_1, B_2, \dots, B_k .

Dekomposisi Nilai Singular (*Singular Value Decomposition*) atau yang lebih dikenal sebagai SVD, adalah salah satu teknik dekomposisi berkaitan dengan nilai singular (singular value) suatu matriks yang merupakan salah satu karakteristik matriks tersebut (Ariyanti, 2010).

Dengan SVD matriks A berukuran $m \times n$ difaktorkan menjadi matriks U , Σ , dan V sedemikian sehingga

$$A = U\Sigma V^T \quad (2.5)$$

dengan U matriks orthogonal $m \times m$ yang kolom-kolomnya berupa vektor singular kiri dari matriks A , V matriks orthogonal $n \times n$ yang kolom-kolomnya berupa vektor singular kanan dari matriks A dan Σ matriks diagonal $m \times n$ yang elemen diagonalnya berupa nilai-nilai singular matriks A bernilai riil tak negatif. Dengan kata lain $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ terurut sehingga $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n$.

Jika $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ dan $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ maka

$$A = \sum_{i=1}^k \sigma_i u_i v_i^T \quad (2.6)$$

Diagonal utama sebuah matriks biasanya didefinisikan pada matriks persegi (matriks bujursangkar) berukuran $n \times n$. Untuk matriks bukan bujursangkar, yaitu matriks $m \times n$, diagonal utama matriks didefinisikan pada garis yang dimulai dari sudut kiri atas terus ke bawah matriks sejauh mungkin.

Matriks ortogonal adalah matriks yang kolom-kolomnya adalah vektor yang saling orthogonal satu sama lain (hasil kali titik sama dengan 0). Jika vektor-vektor kolom tersebut merupakan vektor satuan, maka matriks ortogonal tersebut disebut matriks ortonormal. Vektor satuan adalah vektor yang dinormalisasi dengan panjang atau magnitude-nya sehingga memiliki panjang atau magnitude = 1. Misalkan Q adalah matriks ortogonal $m \times n$, dan kolom-kolom matriks Q adalah vektor-vektor satuan v_1, v_2, \dots, v_n , maka

$$v_i^T v_j = \begin{cases} 0 & \text{if } i \neq j \\ 1 & \text{if } i = j \end{cases} \quad (2.7)$$

Dapat pula dikatakan bahwa Q adalah matriks ortogonal jika $Q^T Q = I$, dalam hal ini I adalah matriks identitas.

Jika A adalah sebuah matriks $n \times n$, maka sebuah vektor tak nol x pada \mathbb{R}^n disebut vektor eigen (vektor karakteristik) dari A jika Ax adalah sebuah kelipatan skalar dari x ; jelasnya:

$$Ax = \lambda x, x \neq 0 \quad (2.8)$$

untuk skalar sebarang λ . Skalar λ ini disebut nilai eigen (nilai karakteristik) dari A , dan x disebut sebagai vektor eigen (vektor karakteristik) dari A yang terkait dengan λ .

Untuk menentukan nilai eigen dari matriks $A \ n \times n$, $Ax = \lambda x$ dapat sebagai

$$Ax = \lambda Ix \quad (2.9)$$

atau ekuivalen dengan

$$(A - \lambda I)x = 0 \quad (2.10)$$

Untuk nilai eigen λ , persamaan tersebut mempunyai penyelesaian tak nol jika dan hanya jika

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (2.11)$$

Persamaan di atas disebut sebagai persamaan karakteristik dari matriks A . Skalar -skalar yang memenuhi persamaan ini adalah nilai-nilai eigen dari matriks A .

Matriks A dengan rank r memiliki nilai eigen positif dari $(A^T A)^{1/2}$ disebut nilai singular dari A . Dengan kata lain, jika σ adalah nilai singular dari A maka σ adalah nilai eigen positif dari $(A^T A)^{1/2}$, atau σ^2 adalah nilai eigen dari $A^T A$. (Goldberg, dalam Ariyanti 2010).

Dari definisi di atas, dapat diketahui hubungan antara nilai eigen dan nilai singular. Dengan kata lain, untuk matriks A dengan rank r dan nilai-nilai eigen dari matriks $A^T A$ adalah $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, maka

$$\sigma_1 = \sqrt{\lambda_1}, \sigma_2 = \sqrt{\lambda_2}, \dots, \sigma_n = \sqrt{\lambda_n} = \sigma_n \quad (2.12)$$

disebut nilai singular dari matriks A .

Diasumsikan $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0$ sehingga $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$

Langkah-langkah SVD mendekomposisi $A_{m \times n}$ menjadi U, Σ , dan V (Munir, 2006)

- a) Untuk vektor singular kiri, hitung nilai-nilai eigen dari AA^T . Rank(A) = k = banyaknya nilai-nilai eigen tidak nol dari AA^T .
- b) Tentukan vektor-vektor eigen u_1, u_2, \dots, u_m yang berkoresponden dengan nilai-nilai eigen dari AA^T . Normalisasi u_1, u_2, \dots, u_m dengan cara setiap komponen vektornya dibagi dengan panjang vektor. Diperoleh matriks U.
- c) Untuk vektor singular kanan, hitung nilai-nilai eigen dari $A^T A$ lalu tentukan nilai-nilai-singularnya.
- d) Tentukan vektor-vektor eigen v_1, v_2, \dots, v_n yang berkoresponden dengan nilai-nilai eigen dari $A^T A$. Normalisasi v_1, v_2, \dots, v_n dengan cara setiap komponen vektornya dibagi dengan panjang vektor. Diperoleh matriks V. Transpose-kan matriks V sehingga menjadi T .
- e) Bentuklah matriks Σ berukuran m x n dengan elemen-elemen diagonalnya adalah nilai-nilai singular dari matriks A dengan susunan dari besar ke kecil. Nilai singular di dalam Σ adalah akar pangkat dua dari nilai-nilai eigen yang tidak nol dari $A^T A$.
- f) Maka, $A = U\Sigma E^T$

Contoh dekomposisi matriks dengan SVD

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ -1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- a) Menentukan singular kiri

$$AA^T \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ -1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 & 1 \\ 1 & 6 \end{bmatrix}$$

Nilai eigen AA^T

$$\det(A - \lambda I) = 0 \Rightarrow \begin{vmatrix} 6 - \lambda & 1 \\ 1 & 6 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow (6 - \lambda)(6 - \lambda) - 1 = 0$$

Diperoleh $\lambda_1 = 7$ dan $\lambda_2 = 5$

Nilai singular matriks A adalah $\sigma_1 = \sqrt{7}$ dan $\sigma_2 = \sqrt{5}$

- b) Menentukan matriks U

$$x(\lambda I - AA^T) = 0 \rightarrow \begin{bmatrix} \lambda - 6 & -1 \\ -1 & \lambda - 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Untuk } \lambda = 7 \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Diperoleh

$$x_1 - x_2 = 0 \text{ dan } -x_1 + x_2 = 0 \rightarrow x_1 = x_2, \text{ mis. } x_1 = 1 \rightarrow x_2 = 1$$

$$\text{Vector eigen } \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{u}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Untuk } \lambda = 5 \rightarrow \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Diperoleh

$$-x_1 - x_2 = 0 \text{ dan } -x_1 - x_2 = 0 \rightarrow x_1 = -x_2, \text{ mis. } x_1 = 1 \rightarrow x_2 = -1$$

$$\text{Vektor eigen } \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{u}_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Normalisasi u_1 dan u_2

$$\hat{u}_1 = \frac{u_1}{\|u_1\|} = \frac{(1,1)}{\sqrt{2}} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \text{ dan } \hat{u}_2 = \frac{u_2}{\|u_2\|} = \frac{(1,-1)}{\sqrt{2}} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

$$\text{Diperoleh matriks } U = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

c) Singular kanan

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

Nilai eigen AA^T

$$\det(A - \lambda I) = 0 \Rightarrow \begin{vmatrix} 5 - \lambda & 0 & 1 \\ 0 & 5 - \lambda & 3 \\ 1 & 3 & 2 - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

Diperoleh $\lambda_1 = 7, \lambda_2 = 5$ dan $\lambda_3 = 0$

Nilai singular yang tidak 0 adalah $\sigma_1 = \sqrt{7}, \sigma_2 = \sqrt{5}$

Vektor eigen

$$v_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \\ 2 \end{bmatrix}, v_2 = \begin{bmatrix} -3 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, v_3 = \begin{bmatrix} -1 \\ -3 \\ 5 \end{bmatrix}$$

Normalisasi v_1, v_2 dan v_3

$$\hat{v}_1 = \frac{v_1}{\|v_1\|} = \frac{(1,3,2)}{\sqrt{14}} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{14} \\ 3/\sqrt{14} \\ 2/\sqrt{14} \end{bmatrix}$$

$$\hat{v}_2 = \frac{v_2}{\|v_2\|} = \frac{(-3,1,0)}{\sqrt{10}} = \begin{bmatrix} -3/\sqrt{10} \\ 1/\sqrt{10} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\hat{v}_3 = \frac{v_3}{\|v_3\|} = \frac{(-1, -3, 5)}{\sqrt{35}} = \begin{bmatrix} -1/\sqrt{35} \\ -3/\sqrt{35} \\ 5/\sqrt{35} \end{bmatrix}$$

$$\text{Diperoleh matriks } V = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{14} & -3/\sqrt{10} & -1/\sqrt{35} \\ 3/\sqrt{14} & 1/\sqrt{10} & -3/\sqrt{35} \\ 2/\sqrt{14} & 0 & 5/\sqrt{35} \end{bmatrix}$$

$$V^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{14} & 3/\sqrt{14} & 2/\sqrt{14} \\ -3/\sqrt{10} & 1/\sqrt{10} & 0 \\ -1/\sqrt{35} & -3/\sqrt{35} & 5/\sqrt{35} \end{bmatrix}$$

$$\text{Matriks } \Sigma = \begin{bmatrix} \sqrt{7} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{5} & 0 \end{bmatrix}$$

Dari proses ini diperoleh dekomposisi matriks A

$$A = U\Sigma V^T$$

$$\begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ -1 & 2 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{7} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{5} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{14} & 3/\sqrt{14} & 2/\sqrt{14} \\ -3/\sqrt{10} & 1/\sqrt{10} & 0 \\ -1/\sqrt{35} & -3/\sqrt{35} & 5/\sqrt{35} \end{bmatrix}$$

2.7 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dan Normalized Correlation (NC)

2.7.1 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Untuk mengukur kualitas citra yang dihasilkan memerlukan pengujian secara subjektif yaitu dengan menghitung nilai PSNR. *Peak Signal to Noise Ratio* adalah perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya noise yang berpengaruh pada image tersebut. Untuk mendapatkan nilai PSNR, terlebih dahulu dihitung nilai MSE (*Mean Square Error*). MSE adalah nilai error kuadrat rata-rata antara image asli dengan image berwatermark.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [I(x, y) - I'(x, y)]^2 \quad (2.13)$$

Dimana

M = panjang *citra watermark*

N = lebar *citra watermark*

$I(x, y)$ = nilai piksel dari *image* asli

$I'(x, y)$ = nilai piksel pada *image watermark*

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (2.14)$$

Semakin besar nilai PSNR, semakin baik kualitas citra yang dihasilkan. PSNR yang baik bernilai lebih dari 30 dB.

2.7.2 *Normalized Correlation (NC)*

Untuk mengevaluasi kualitas watermark hasil ekstraksi dan watermark yang dipulihkan. Untuk menghitung NC digunakan persamaan.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j W x W'}{\sqrt{\sum_i \sum_j W^2 \times \sum_i \sum_j W'^2}} \quad (2.14)$$