

**MEKANISME *REMOVABLE WATERMARKING* MELALUI METODE
SUBSAMPLING MENGGUNAKAN METODE TRANSFORMASI
WAVELET DISKRIT**

SKRIPSI



AGUSSALIM JABBAR

H 131 14 319

**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2019



**MEKANISME *REMOVABLE WATERMARKING* MELALUI METODE
SUBSAMPLING MENGGUNAKAN METODE TRANSFORMASI
WAVELET DISKRIT**

SKRIPSI

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

AGUSSALIM JABBAR

H 131 14 319

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

2019



Optimization Software:
www.balesio.com

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang saya buat dengan judul:

Mekanisme *Removable Watermarking* Melalui Metode *Subsampling* Menggunakan Metode Transformasi Wavelet Diskrit

UNIVERSITAS HASANUDDIN

adalah benar hasil karya saya sendiri bukan hasil plagiat dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun

Makassar, 22 Januari 2019



Agussalim Jabbar
NIM. H 131 14 319



**Mekanisme *Removable Watermarking* Melalui Metode *Subsampling*
Menggunakan Metode Transformasi Wavelet Diskrit**



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Agussalim Jabbar
NIM : H 131 14 319
Program Studi : Ilmu Komputer
Judul Skripsi : Mekanisme *Removable Watermarking* Melalui Metode *Subsampling* Menggunakan Metode Transformasi Wavelet Diskrit

Telah berhasil dipertahankan dihadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Ilmu Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

- 1 Ketua : Dr. Loeky Haryanto, MS., M.Sc.
- 2 Sekretaris : Dr. Amran, S.Si., M.Si.
- 3 Anggota : Prof. Dr. Moh. Ivan Azis, M. Sc.
- 4 Anggota : Dr. Hendra, S.Si., M.Kom.
- 5 Anggota : Prof. Dr. Eng. Mawardi, S.Si., M.Si.

Tanda Tangan

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)



Optimization Software:
www.balesio.com

an di : Makassar

: 22 Januari 2019

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kita hanya panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya kepada semua makhluk ciptaan-Nya. Shalawat senantiasa kita kirimkan kepada Rasulullah SAW, yang berkat beliau dan orang-orang yang senantiasa meneruskan tekad dan ilmu dari beliau sehingga kita dapat kembali ke jalan yang benar. Rasa syukur yang amat sangat atas segala nikmat yang telah diberikan terutama nikmat hidup, kesehatan, kesempatan dan kemudahan yang dikaruniakan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **Mekanisme *Removable Watermarking* Melalui Metode *Subsampling* Menggunakan Metode Transformasi Wavelet Diskrit.**

Penulis mengungkapkan rasa hormat dan terima kasih yang tulus kepada keluarga besar penulis terkhusus bagi Ayahanda **Djabbar Faisal**, dan Ibunda **Sumiah** yang dengan setulus hati telah merawat, memberikan dukungan secara moral maupun materi dan dengan senantiasa mendoakan penulis. Tak lupa juga ucapan banyak terima kasih kepada saudara-saudari penulis, **Rahmania, Alham Djabbar**, dan **Sutrisno Jabbar** yang telah memberikan saran, bantuan dan motivasi yang sangat berarti bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini takkan dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan, bimbingan, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengungkapkan ucapan terima kasih dengan tulus kepada:

1. **Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Palubuhu, MA**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
2. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
3. **Bapak Prof. Dr. Amir Kamal Amir, M.Sc**, selaku Ketua Departemen Matematika, segenap dosen pengajar dan staf Departemen Matematika yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa di Departemen Matematika.



4. **Bapak Dr. Diaraya, M.Ak**, selaku ketua program studi Ilmu Komputer Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
5. **Bapak Dr. Eng. Armin Lawi, M. Eng**, selaku ketua program studi Ilmu Komputer Unhas periode 2014-2018. Terima kasih atas segala bantuan, nasehat dan motivasi yang diberikan kepada penulis semenjak awal menjalani pendidikan di Universitas Hasanuddin hingga saat ini.
6. **Bapak Dr. Hendra, S.Si., M.Kom**, selaku dosen pembimbing utama atas nasehat, bantuan dan motivasinya serta telah meluangkan waktunya ditengah berbagai kesibukannya untuk membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
7. **Bapak Prof. Dr. Eng. Mawardi, S.Si, M.Si**, selaku dosen pembimbing pertama atas segala bantuan dan nasehatnya yang telah sangat membantu penulis selama penulisan serta bimbingannya dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
8. **Bapak Dr. Loeky Haryanto, MS., M.Sc.** selaku dosen penguji sekaligus penasihat akademik dari penulis. Terima kasih atas segala saran, kritik, bantuan dan waktu yang disisihkan kepada penulis baik dalam urusan akademik maupun saat seminar dan sidang penulis .
9. **Bapak Dr. Amran, S.Si., M.Si.**, dan **Bapak Prof. Dr. Moh. Ivan Azis, M. Sc.** selaku dosen penguji penulis yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyusunan tugas akhir ini serta telah meluangkan waktunya dalam seminar serta sidang penulis.
10. Anggota organisasi **Himatika FMIPA Unhas**, baik senior dan junior didalamnya terutama kepada teman angkatan **Transpose 2014** atas segala motivasi, bantuan dan ilmu-ilmu yang telah diberikan yang tidak didapatkan dalam proses perkuliahan.
11. **Nita, Jo, Sarwan, Ola, Mamet, Fajar, Miftah, Nuhi, Icha, Luki, Yaumil, Aspar, Fuad, Nawir, Odit, Sukma, Nadya, Khalil, Nurul, Budi, Ima, Titin, Niar, Tio, Nura, Nanda, Yuyu, Firman, Ochi, Hikma, Dewi, Syams, Murni, Darul, Irwan, Ij`lal, Oki, Danti, Harisman, Dhila, Iyam, Firda, Yusri, dan Hajar** yang telah



menemani, menyemangati, dan banyak membantu penulis selama 4 tahun dalam suka dan duka. Harapan dan doa agar kita semua bisa mencapai kesuksesan dan mampu mendapat manfaat dari segala hal yang telah dipelajari selama ini.

12. Teman-teman **KKN UNHAS Gelombang 96 Kec. Cenrana Kab. Maros** yang telah menjadi keluarga baru selama KKN dan menjadikan KKN sebagai momen yang membahagiakan.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah banyak memberi dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan. Harapan penulis skripsi ini dapat bermanfaat bagi setiap pembaca sekalian.

Makassar, 22 Januari 2019


Agussalim Jabbar



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

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

Nama : Agussalim Jabbar

NIM : H 131 14 319

Program Studi : Ilmu Komputer

Departemen : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Prediktor Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas tugas akhir saya yang berjudul:

**“Mekanisme *Removable Watermarking* Melalui Metode *Subsampling*
Menggunakan Metode Transformasi Wavelet Diskrit”**

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, 22 Januari 2019

Yang Menyatakan,


Agussalim Jabbar



ABSTRAK

Watermarking adalah suatu teknologi untuk melindungi hak cipta citra digital dengan cara menyisipkan informasi tambahan seperti informasi pemilik ke dalam citra tersebut. Telah banyak teknik *watermarking* yang telah diusulkan namun seringkali *watermark* yang terlihat akan merusak kualitas citra yang disisipinya serta tidak dapat menghasilkan citra hasil restorasi yang baik. Pada penelitian ini, diusulkan sebuah mekanisme *removable watermarking* dengan menggunakan metode *subsampling* dan transformasi wavelet diskrit. Proses penyisipan akan dilakukan pada koefisien transformasi dari citra. Mekanisme ini menggunakan nilai intensitas adaptif yang memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan intensitas *watermark* sesuai dengan kebutuhan visual dari citra yang dilindungi. Hasil penelitian menggunakan citra RGB menunjukkan bahwa mekanisme yang dirancang dapat bekerja dengan baik pada citra dengan tingkat kecerahan yang tinggi dan sedang.

Kata Kunci : *Removable Watermarking, Subsampling, Transformasi Wavelet Diskrit, Watermarking*



ABSTRACT

Watermarking is a technology to protect the copyright of digital images by embedding additional information such as owner information into the image. There have been many watermarking techniques that have been proposed but often the visible watermark will damage the quality of the marked image and it cannot produce good restoration images. In this study, a removable watermarking mechanism was proposed using subsampling and discrete wavelet transformation method. The embedding process will be performed on the transform coefficients of the image. This mechanism uses adaptive intensity value that allow the user to adjust the intensity of the watermark according to the visual requirements of the protected image. The results of the study using RGB images show that the designed mechanism can work well on images with high and medium brightness levels.

Keywords : Discrete Wavelet Transformation, Removable Watermarking, Subsampling, Watermarking



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK.....	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xii
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.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
Landasan Teori.....	4
Citra Digital.....	4
<i>Watermarking</i>	5



2.1.3	Filtering	6
2.1.4	Transformasi Wavelet Diskrit	7
2.1.5	Penerapan Transformasi Wavelet Diskrit	9
2.1.6	Penerapan Transformasi Wavelet Diskrit pada Citra.....	12
2.1.7	<i>Peak Signal to Noise Ratio</i>	14
2.1.8	<i>Structural Similarity Index Metric</i>	15
2.1.9	Serangan terhadap Citra Ber- <i>watermark</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		19
3.1	Tahapan Penelitian	19
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.3	Rancangan Sistem	20
3.4	Instrumen Penelitian.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		21
4.1	Prosedur Penyisipan	21
4.2	Prosedur Penghapusan.....	23
4.3	Contoh Sederhana Mekanisme <i>Removable Watermarking</i>	25
4.4	Hasil Penelitian dan Analisis.....	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		38
5.1	Kesimpulan.....	38
5.2	Saran	39
DAFTAR PUSTAKA		40
LAMPIRAN.....		42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Contoh gelombang(a), dan wavelet(b)	7
Gambar 2 Dekomposisi wavelet 3 tingkat	10
Gambar 3 Rekonstruksi wavelet 3 tingkat	10
Gambar 4 Grafik dari beberapa wavelet : (a) Haar (b) Daubechies4 (c) Coiflet1 (d) Symlet2 (e) Meyer (f) Morlet (g) Mexican Hat (sumbu x adalah waktu dan sumbu y adalah ibu wavelet).....	12
Gambar 5 TWD pada sinyal 2 dimensi	13
Gambar 6 (a) Struktur piramid dua tingkat (b) Dekomposisi citra dengan haar wavelet 2 tingkat	13
Gambar 7 Diagram sistem pengukuran SSIM	15



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Citra asli berwarna RGB	33
Tabel 2 Citra biner watermark	34
Tabel 3 Hasil pengujian mekanisme dengan nilai kunci (1,3) serta nilai $w_u = 80$ dan $w_v = 100$	35
Tabel 4 Tabel nilai PSNR dan SSIM hasil pengujian mekanisme.....	36
Tabel 5 Hasil pengujian terhadap serangan – serangan standar.....	36



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Program prosedur penyisipan.....	43
Lampiran II Program prosedur penghapusan.....	44
Lampiran III Fungsi subsampling1	46
Lampiran IV Fungsi subsampling2.....	46
Lampiran V Fungsi subsampling3	47
Lampiran VI Fungsi subsampling4.....	47
Lampiran VII Fungsi kunci.....	47
Lampiran VIII Fungsi sisip	48
Lampiran IX Fungsi hapus.....	49
Lampiran X Fungsi invers subsampling	49



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Watermarking adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk melindungi hak cipta citra digital. Penerapan *watermarking* yaitu dengan cara menyisipkan informasi tambahan seperti informasi pemilik, keaslian, dsb ke dalam citra digital tersebut. Teknik *watermarking* berdasarkan visualisasinya atau sudut pandang manusia maka terbagi menjadi *watermarking* yang terlihat dan yang tidak terlihat. *Watermarking* yang terlihat berguna untuk melindungi hak cipta sebuah media digital. Namun *watermark* yang terlihat tersebut dapat merusak gambar yang ingin dilindunginya.

Mekanisme *removable watermarking* dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Mekanisme ini juga biasa disebut *reversible*, *revertible* atau *lossless*. Selain melindungi hak cipta dari citra digital, versi ini memungkinkan pengguna untuk menghapus *watermark* yang terlihat dan mendapatkan citra digital kembali dengan kualitas yang dapat diterima (mirip dengan citra asli).

Penelitian lain mengenai *removable watermarking* yaitu dengan menggunakan *reversible contrast mapping* (RCM) dan *least significant bits* dari piksel yang dimodifikasi [1]. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil penyisipan data dengan tingkat penyisipan data yang tinggi. Dilakukan penelitian lain menggunakan algoritma gabungan dari RCM yang dimodifikasi dan *prediction error expansion* (PEE) yang digunakan di *reversible watermarking* (RW) [2]. Kedua metode digunakan sehingga memungkinkan tingkat penyisipan data yang tinggi dengan distorsi penyisipan yang rendah.

Dilakukan penelitian mengenai *removable watermarking* dengan modifikasi nilai piksel berdasarkan *mapping* [3]. Nilai piksel dari citra asli yang tertutupi *watermark* dipetakan ke range kecil $[\alpha, \alpha + 127]$ untuk menghasilkan citra ter-

k. Untuk mengembalikannya ke citra asli, perbedaan gambar dan lainnya dikompresi secara *lossless* untuk disisipkan ke dalam citra ter-
k menggunakan algoritma *reversible data hiding*. Dilakukan pula



penelitian mengenai *removable watermarking* berbasis sistem visual manusia [4]. *Watermark* muncul secara transparan menutupi citra asli dengan penyesuaian nilai piksel secara adaptif oleh pengguna. Untuk mencapai reversibilitas, paket rekonstruksi dimasukkan secara reversibel ke wilayah yang tidak ter-*watermark*.

Dengan menggunakan teknik subsampling, sebuah penelitian mengenai *removable watermarking* dilakukan dengan strategi kontras-adaptif untuk mendapatkan hasil restorasi yang baik [5]. Selain sifat dari media yang dilindungi, skema yang diusulkan menggunakan nilai intensitas adaptif yang memungkinkan penyedia gambar untuk menyesuaikan energi *watermark* sesuai dengan kebutuhan visual gambar yang dilindungi. Hasil penelitiannya mengungguli penelitian terkait dalam hal menjaga kualitas hasil restorasi. Penelitian ini juga memenuhi fungsi-fungsi lain dari sebuah *removable watermarking*.

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan oleh Pei-Yu Lin, Yi-Hui Chen, Chin-Chen Chang, dan Jung-San Lee dalam jurnalnya ‘*Contrast Adaptive Removable Visible Watermarking (CARVW) mechanism*’, penulis memutuskan untuk melakukan pengkajian ulang permasalahan tersebut dan menuliskannya dalam bentuk skripsi dengan judul ”**Mekanisme Removable Watermarking Melalui Metode *Subsampling* Menggunakan Metode Transformasi Wavelet Diskrit**”.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang yang telah dikemukakan diatas maka pokok permasalahan yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana merancang mekanisme *removable watermarking* melalui metode *subsampling* menggunakan metode transformasi wavelet diskrit?
- b) Bagaimana kemampuan mekanisme *removable watermarking* dalam mempertahankan kualitas citra dengan parameter PSNR dan SSIM?
- c) Bagaimana ketahanan dari mekanisme *removable watermarking* terhadap serangan-serangan standar?



1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk:

- a) Merancang mekanisme *removable watermarking* melalui metode *subsampling* menggunakan metode transformasi wavelet diskrit
- b) Menganalisis kemampuan mekanisme *removable watermarking* dalam mempertahankan kualitas citra dengan parameter PSNR dan SSIM
- c) Menganalisis ketahanan dari mekanisme *removable watermarking* terhadap serangan-serangan standar.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharap dari hasil penelitian ini antara lain adalah dapat dijadikan sebagai bahan masukan ke berbagai pihak dalam upaya melindungi otentifikasi citra digital serta mempertahankan kualitas hasil restorasi dari citra ber-*watermark*.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih teliti maka diberi beberapa batasan sebagai berikut

- a) Citra asli yang digunakan yaitu citra berwarna RGB (Red Green Blue)
- b) Watermark yang digunakan berupa citra biner dengan ukuran seperempat dari citra asli.
- c) Metode yang digunakan yaitu metode transformasi wavelet diskrit level satu



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Citra Digital

Citra merupakan matriks dua dimensi dari fungsi intensitas cahaya. Citra dipresentasikan oleh dua variabel yang menunjukkan posisi pada bidang dengan sebuah fungsi intensitas cahaya sebagai fungsi $f(x, y)$, dimana f adalah nilai amplitudo pada koordinat spasial (x, y) . Karena cahaya merupakan salah satu bentuk energi, maka fungsi $f(x, y)$ merupakan bilangan berhingga yang tak pernah bernilai nol atau negatif [6].

Citra merupakan cahaya yang direfleksikan dari sebuah objek. Fungsi $f(x, y)$ dapat dilihat sebagai fungsi yang memiliki dua unsur. Unsur pertama adalah kekuatan sumber cahaya yang melingkupi pandangan terhadap objek, sedangkan unsur kedua adalah intensitas cahaya yang direfleksikan oleh objek. Kedua unsur tersebut masing-masing dapat dituliskan sebagai fungsi $i(x, y)$ dan $r(x, y)$ yang digabungkan sebagai perkalian fungsi untuk membentuk fungsi $f(x, y)$ dengan nilai keduanya berada di antara 0 dan 1. Sehingga $f(x, y)$ dapat ditulis sebagai:

$$f(x, y) = i(x, y) * r(x, y) \quad (2.1)$$

Ketika citra digital dapat direpresentasikan sebagai suatu matriks dengan ukuran $M \times N$, maka setiap pasangan indeks baris dan kolom menyatakan suatu titik pada citra. Sedangkan nilai dari elemen matriksnya menyatakan tingkat keabuan atau warna pada titik tersebut. Titik-titik tersebut dinamakan sebagai elemen citra atau piksel [6].

Citra digital yang direpresentasikan dalam bentuk matriks $M \times N$ ditulis sebagai berikut:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$



dimana elemen-elemen matriks atau piksel menunjukkan nilai keabuan atau warna. Namun jika citra digital akan diproses di dalam MATLAB maka matriksnya menjadi seperti berikut [7] :

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots & f(M,N) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

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, yang berarti setiap warna mempunyai gradasi sebanyak 256 warna. Sedangkan setiap piksel dalam citra grayscale merepresentasikan nilai intensitas atau derajat keabuan yang diwakili oleh 1 byte [8].

2.1.2 Watermarking

Watermarking adalah suatu metode penyisipan informasi tertentu, baik dalam bentuk umum atau rahasia, ke dalam data digital (audio, gambar, atau video). *Watermark* dapat berupa teks seperti informasi *copyright*, gambar berupa logo, data audio, atau rangkaian bit yang tidak bermakna.

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. Dimana keuntungan cara ini adalah mudah dan cepat tetapi umumnya *watermark* tidak tahan terhadap tindakan manipulasi pada citra. Penyisipan dengan metode transformasi berarti *watermark* disisipkan ke dalam koefisien transformasi dari citra [8].

Berdasarkan persepsi manusia, *watermarking* dapat diklasifikasi menjadi tiga kategori yaitu:

- *Watermark* terlihat
- *Watermark* tidak terlihat
- *Watermark* ganda



Watermark terlihat tampak jelas oleh pengamat biasa jika diperiksa dengan cermat. *Watermark* tidak terlihat terbagi dua lagi menjadi *watermark* kuat dan *watermark* rapuh. *Watermark* tidak terlihat yang kuat begitu tertanam sehingga perubahan yang dibuat ke pixel tidak bisa disadari melalui persepsi. Dan juga *watermark* harus tahan terhadap operasi pemrosesan sinyal standar (disebut "serangan") dan itu dapat dipulihkan dengan mekanisme decoding yang tepat saja. *Watermark* tidak terlihat yang rapuh tertanam sedemikian rupa sehingga manipulasi atau modifikasi citra apa pun menyebabkan kerusakan, atau perubahan *watermark*. *Watermark* ganda adalah kombinasi dari *watermark* terlihat dan tidak terlihat. Dalam jenis *watermark* ini, *watermark* tidak terlihat digunakan sebagai cadangan untuk *watermark* terlihat [9].

Sebuah *watermarking* memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut:

a. *Robustness*

Robustness pada *watermarking* diartikan bahwa *watermark* harus tahan terhadap beberapa operasi pemrosesan digital pada umumnya, seperti konversi dari digital ke analog atau sebaliknya, kompresi dan sebagainya.

b. *Fidelity*

Fidelity merupakan derajat degradasi atau penurunan kualitas data host setelah ditumpangi *watermark* dibandingkan dengan sebelum ditumpangi *watermark*.

c. *Temper resistance*

Temper resistance adalah ketahanan sistem *watermark* terhadap kemungkinan adanya serangan (attack) atau usaha untuk menghilangkan, merubah atau memberikan *watermark* palsu pada data host [6].

2.1.3 Filtering

Filtering pada umumnya adalah suatu proses dimana diambil sebagian nilai dari frekuensi tertentu dan membuang sinyal pada frekuensi yang lain. Filtering pada citra juga menggunakan prinsip yang sama dengan filtering



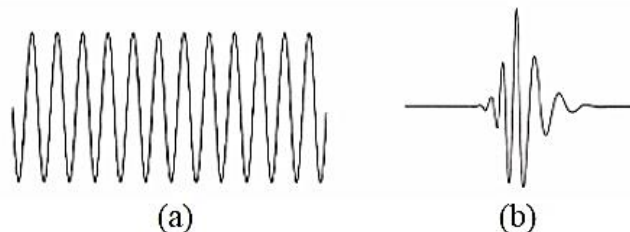
pada umumnya, yaitu mengambil fungsi citra pada frekuensi-frekuensi tertentu dan membuang fungsi citra pada frekuensi-frekuensi tertentu [10].

Dari sifat-sifat citra pada bidang frekuensi, maka prinsip-prinsip filtering dapat dikembangkan sebagai berikut :

- 1) Bila ingin mempertahankan gradiasi atau banyaknya level warna pada suatu citra, maka yang dipertahankan adalah frekuensi rendah dan frekuensi tinggi dapat dibuang atau dinamakan filter *lowpass*. Hal ini sering digunakan untuk reduksi *noise* dan proses blur.
- 2) Bila ingin mendapatkan threshold atau citra biner yang menunjukkan bentuk suatu gambar maka frekuensi tinggi dipertahankan dan frekuensi rendah dibuang atau dinamakan filter *highpass*. Hal ini sering digunakan untuk menentukan garis tepi (*edge*) atau sketsa dari citra.
- 3) Bila ingin mempertahankan gradiasi dan bentuk, dengan tetap mengurangi banyaknya bidang frekuensi (*bandwidth*) dan membuang sinyal yang tidak perlu maka frekuensi rendah dan frekuensi tinggi dipertahankan, sedangkan frekuensi tengah dibuang atau dinamakan filter *band stop*. Teknik ini digunakan untuk kompresi, restorasi, dan denoising [10].

2.1.4 Transformasi Wavelet Diskrit

Gelombang (*wave*) adalah sebuah fungsi yang bergerak naik turun ruang dan waktu secara periodik. Sedangkan wavelet merupakan gelombang yang dibatasi atau terlokalisasi. Sering disebut sebagai gelombang pendek [12].



Gambar 1 Contoh gelombang(a), dan wavelet(b)



Dasar-dasar dari Transformasi Wavelet Diskrit (TWD) dimulai pada tahun 1976 ketika teknik untuk menguraikan sinyal waktu diskrit telah

dirancang. Karya serupa dilakukan dalam pengkodean sinyal ucapan yang diberi nama sebagai *sub bagian coding*. Pada tahun 1983, teknik yang mirip dengan *sub bagian coding* dikembangkan yang diberi nama *pyramidal coding* atau sering disebut analisis multi-resolusi. Kemudian banyak perbaikan dilakukan pada skema pengkodean ini yang menghasilkan skema analisis multi-resolusi yang efisien. [11].

Transformasi sinyal hanyalah salah satu cara untuk merepresentasikan sinyal tersebut. Transformasi tidak akan mengubah isi informasi dalam sinyal. Transformasi Wavelet khususnya mampu merepresentasikan waktu dan frekuensi dari sinyal dengan menggunakan analisis multi resolusi. Teknik tersebut memungkinkan untuk menganalisis sinyal pada frekuensi yang berbeda dengan resolusi yang berbeda. Teknik ini didesain untuk memberikan resolusi waktu yang baik dan resolusi frekuensi yang jelek pada frekuensi tinggi dan resolusi frekuensi yang baik dan resolusi waktu yang jelek pada frekuensi rendah dimana sinyal dengan keadaan demikian sering dijumpai [15].

Dalam TWD, representasi skala dan waktu dari sinyal digital diperoleh dengan menggunakan teknik filtering digital. Sinyal yang akan dianalisis dilewatkan melalui filter dengan frekuensi *cut-off* yang berbeda pada skala yang berbeda [11].

Resolusi dari sinyal, yaitu ukuran jumlah informasi detail dalam sinyal, diubah oleh operasi filtering, dan skalanya diubah oleh operasi upsampling dan downsampling (subsampling). Subsampling sebuah sinyal sama saja dengan mengurangi tingkat sampling, atau menghapus beberapa sampel dari sinyal. Misalnya, subsampling oleh dua mengacu pada menggugurkan setiap sampel lain dari sinyal. Subsampling oleh faktor n mengurangi jumlah sampel dalam sinyal sebanyak faktor n . [15]

Upsampling sebuah sinyal sama saja dengan meningkatkan tingkat sampling dari sinyal dengan menambahkan sampel baru ke sinyal. Misalnya, upsampling oleh dua mengacu pada penambahan sampel baru, biasanya nol, pada nilai interpolasi, antara setiap dua sampel dari sinyal. Upsampling sebuah



sinyal oleh faktor n meningkatkan jumlah sampel dalam sinyal sebanyak faktor n . [15]

2.1.5 Penerapan Transformasi Wavelet Diskrit

Ide dasar dari TWD untuk sinyal satu dimensi dijelaskan sebagai berikut. TWD membagi sinyal satu dimensi menjadi dua bagian yaitu bagian frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Pembagian ini disebut dekomposisi. Sinyal dilewatkan melalui serangkaian filter *highpass* untuk menganalisis frekuensi tinggi, dan sinyal itu juga dilewatkan melalui serangkaian filter *lowpass* untuk menganalisis frekuensi rendah. Filter dengan frekuensi cut-off berbeda digunakan untuk menganalisis sinyal pada resolusi yang berbeda [12].

Dimisalkan $x[n]$ adalah sinyal asli, dengan band frekuensi dari 0 hingga π rad/s. Selanjutnya, sinyal asli $x[n]$ dilewatkan melalui filter halfband *highpass* $H_0[n]$ dan *lowpass* $G_0[n]$. Karena sinyal sekarang memiliki frekuensi tertinggi $\pi/2$ bukannya π radian, setelah filtering, setengah dari sampel bisa dihilangkan sesuai dengan aturan Nyquist. Oleh karena itu, sinyal dapat di-*subsample* oleh 2, hanya dengan menghapus setiap sampel kedua. Hal tersebut merupakan dekomposisi tingkat satu dan dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut [9]:

$$\begin{cases} d_i[k] = \sum_n x[n]H_0[2k - n] \\ a_i[k] = \sum_n x[n]G_0[2k - n] \end{cases} \quad (2.4)$$

dengan :

$d_i[k]$ = hasil dari filter *highpass*

$a_i[k]$ = hasil dari filter *lowpass*

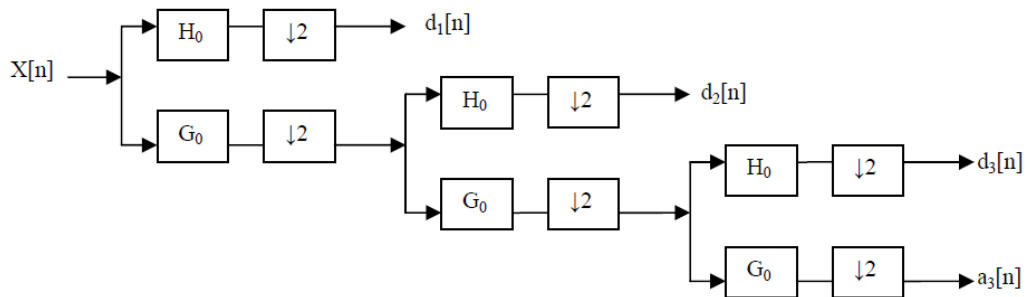
$x[n]$ = sinyal asli

$H_0[n]$ = filter *highpass*

$G_0[n]$ = filter *lowpass*

Untuk dekomposisi lebih dari satu tingkat, prosedur pada persamaan (2.4) dapat digunakan pada masing-masing tingkatan. Contoh penggambaran dekomposisi dapat dilihat pada gambar berikut dengan menggunakan dekomposisi tiga tingkat dan citra di-*subsample* oleh 2 [11].



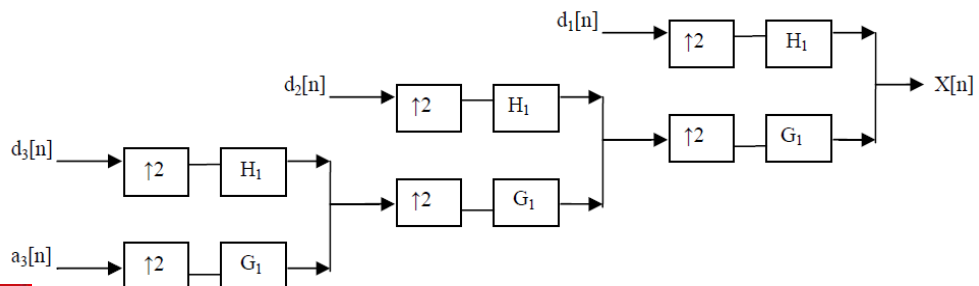


Gambar 2 Dekomposisi wavelet 3 tingkat

$a_i[k]$ merupakan informasi detail dari sinyal sedangkan $d_i[k]$ merupakan taksiran kasar dari sinyal dengan fungsi penskalaan. Kedua koefisien TWD tersebut pada setiap tingkatnya dapat digunakan untuk merekonstruksi sinyal asli. Proses rekonstruksi ini disebut dengan Transformasi Wavelet Diskrit Invers (TWDI) [9].

Prosedur di atas diikuti dengan urutan terbalik untuk rekonstruksi. Sinyal-sinyal pada setiap tingkat di-upsample oleh dua, dilewatkan filter sintesis $H_1[n]$ dan $G_1[n]$ (*highpass* dan *lowpass*, masing-masing) dan akhirnya ditambahkan satu sama lain. Hal yang menarik di sini adalah bahwa filter analisis dan sintesis identik satu sama lain, kecuali untuk pembalikan waktu. Oleh karena itu, formula rekonstruksi yang sempurna menjadi (untuk setiap lapisan) [11]:

$$x[n] = \sum_k (a_i[k]H_0[-n + 2k] + d_i[k]G_0[-n + 2k]) \quad (2.5)$$



Gambar 3 Rekonstruksi wavelet 3 tingkat



Untuk memastikan hubungan TWDI dan TWD di atas, kondisi ortogonalitas berikut untuk filter *highpass* $H(\omega)$ dan *lowpass* $G(\omega)$ harus berlaku:

$$|H(\omega)|^2 + |G(\omega)|^2 = 1 \quad (2.6)$$

dimana

$$H(\omega) = \sum_n h(n)e^{-jn\omega} \quad (2.7)$$

$$G(\omega) = \sum_n g(n)e^{-jn\omega}$$

dengan:

$H(\omega)$ = filter *highpass*

$h(n)$ = filter koefisien untuk filter *highpass*

$G(\omega)$ = filter *lowpass*

$g(n)$ = filter koefisien untuk filter *lowpass*

ω = frekuensi

n = waktu

Contoh sederhana dari $H(\omega)$ dan $G(\omega)$ yang memenuhi kondisi di atas:

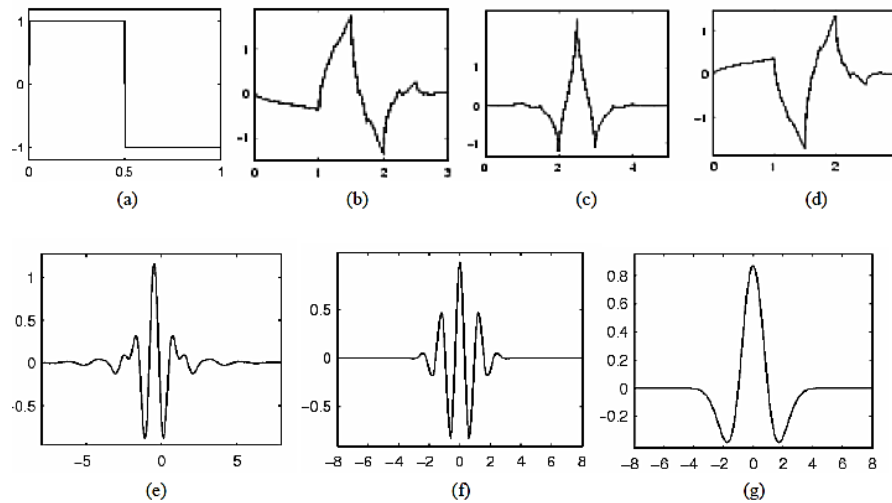
$$H(\omega) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}e^{-j\omega} \quad (2.8)$$

$$G(\omega) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}e^{-j\omega}$$

yang dikenal sebagai filter wavelet Haar [9].

Selain Haar, ada beberapa fungsi dasar lain yang dapat digunakan sebagai ibu *wavelet* untuk Transformasi Wavelet. Ibu wavelet menghasilkan semua fungsi wavelet yang digunakan dalam transformasi wavelet (contohnya TWD) melalui translasi dan penskalaan sehingga ibu wavelet juga akan menentukan karakteristik dari transformasi wavelet yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu diperhatikan secara teliti terhadap penerapan wavelet dan pemilihan yang tepat terhadap ibu wavelet harus dilakukan agar dapat menggunakan transformasi wavelet secara efisien. Fungsi-fungsi yang masuk di dalam keluarga wavelet dipaparkan pada Gambar 3 [11].





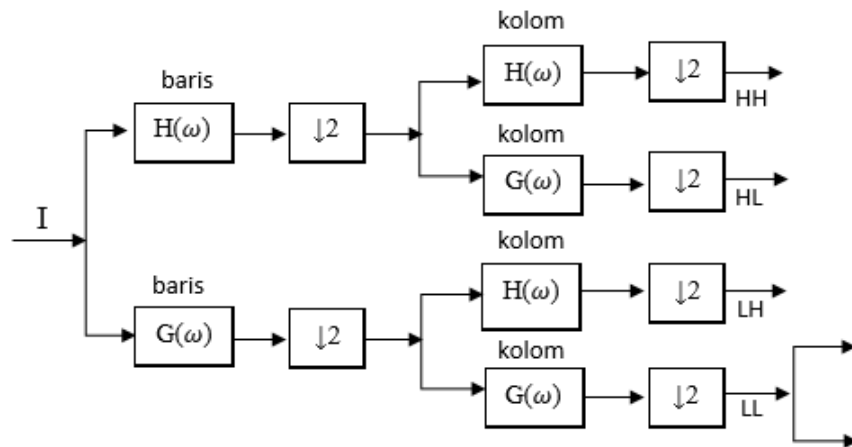
Gambar 4 Grafik dari beberapa wavelet : (a) Haar (b) Daubechies4 (c) Coiflet1 (d) Symlet2 (e) Meyer (f) Morlet (g) Mexican Hat (sumbu x adalah waktu dan sumbu y adalah ibu wavelet[11]).

2.1.6 Penerapan Transformasi Wavelet Diskrit pada Citra

Salah satu contoh sinyal dua dimensi adalah citra. TWD pada citra berhubungan dengan dekomposisi terhadap citra. Citra adalah rangkaian gelombang yang memiliki banyak puncak dan lembah. Transformasi sinyal menyimpan jarak dari titik nol menuju titik sepanjang gelombang, jarak ini disebut dengan koefisien. Koefisien yang berdekatan kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan gelombang yang lebih sederhana dan menghasilkan citra dengan resolusi setengah dari semula. Koefisien yang telah dirata-rata kemudian dibagi lagi seterusnya hingga mendapatkan gelombang yang sangat sederhana. Proses ini dinamakan dekomposisi [12].

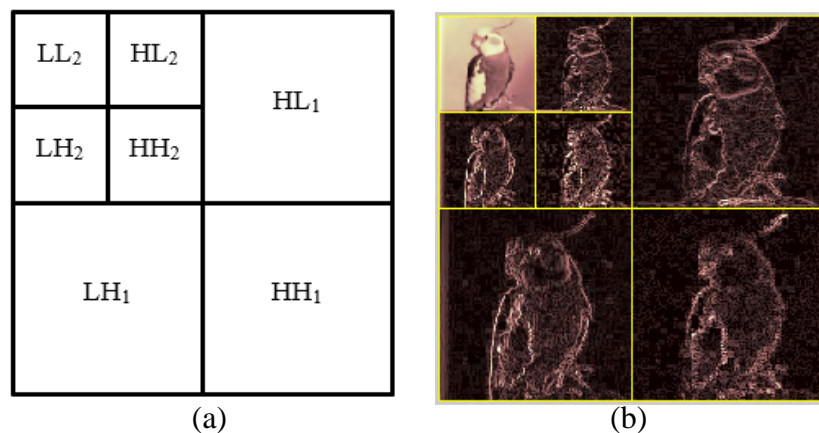
Citra dengan dua dimensi (baris dan kolom) dapat didekomposisi seperti Gambar 2.5. Dengan I adalah citra, $H(\omega)$ adalah filter *highpass*, dan $G(\omega)$ adalah filter *lowpass*.





Gambar 5 TWD pada sinyal 2 dimensi

Proses dekomposisi pada citra seperti pada Gambar 2.6 yaitu pertama, DWT satu dimensi diterapkan pada baris-baris, kemudian DWT satu dimensi diterapkan sepanjang kolom-kolom dari hasil tahap pertama. Sehingga menghasilkan informasi dengan rentang frekuensi yang berbeda yaitu frekuensi rendah rendah LL, rendah tinggi LH, tinggi rendah HL, dan tinggi tinggi HH. Hasil dari TWD biasanya ditampilkan dalam bentuk struktur piramid seperti sebagai berikut



Gambar 6 (a) Struktur piramid dua tingkat (b) Dekomposisi citra dengan haar wavelet 2 tingkat



2.1.7 Peak Signal to Noise Ratio

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas citra. Nilai PSNR diperoleh dengan membandingkan citra asli dan citra rekonstruksi [8].

Istilah *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) menyatakan perbandingan antara kekuatan sinyal maksimum yang mungkin dari suatu sinyal digital dengan kekuatan derau yang mempengaruhi kebenaran sinyal tersebut. Oleh karena banyak sinyal memiliki *dynamic range* yang luas, maka PSNR biasanya diekspresikan dalam skala *logaritmik decibel*. PSNR didefinisikan melalui *signal-to-noise ratio* (SNR). SNR digunakan untuk mengukur tingkat kualitas sinyal. Nilai ini dihitung berdasarkan perbandingan antara sinyal dengan nilai derau. Kualitas sinyal berbanding lurus dengan dengan nilai SNR. Semakin besar nilai SNR semakin baik kualitas sinyal yang dihasilkan. Nilai PSNR biasanya berkisar antara 20 dan 40. PSNR ini dilaporkan dengan ketepatan/presisi sebanyak dua desimal poin [12].

Pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai *mean squared error* (MSE) dari suatu citra hasil rekonstruksi. MSE dihitung untuk seluruh piksel dalam citra.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1, j=1}^N [f(i, j) - F(i, j)]^2}{N^2} \quad (2.9)$$

dengan :

N^2 = hasil perkalian panjang dan lebar citra dalam piksel

$F(i, j)$ = citra hasil rekonstruksi,

$f(i, j)$ = citra asli.

Berdasarkan persamaan MSE tersebut, maka nilai PSNR dapat dihitung dengan persamaan di bawah. Nilai PSNR direpresentasikan dalam skala *desibel* (dB).

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2.10)$$

di 255 dalam rumus di atas merupakan batas atas dari sebuah nilai piksel

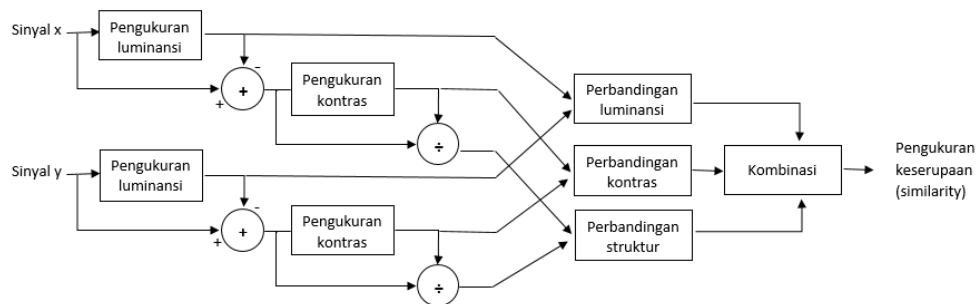


2.1.8 Structural Similarity Index Metric

Structural Similarity Index Metric (SSIM) adalah sebuah metode untuk mengukur kemiripan 2 buah gambar. SSIM mengolah matriks dari 2 gambar yang dibandingkan. SSIM menggunakan informasi struktural dari dari degradasi gambar dimana tiap-tiap piksel gambar memiliki dependensi yang membawa informasi penting tentang struktur gambar secara visual [13].

SSIM dikenal sebagai kualitas metrik yang digunakan untuk mengukur kemiripan diantara 2 buah citra dan dipercaya berkorelasi dengan kualitas persepsi *Human Visual System* (HVS). Model SSIM dibuat dengan memperhatikan 3 buah faktor yaitu *loss of correlation*, *luminance distortion* dan *contrast distortion* [14].

Berikut adalah contoh diagram sistem pengukuran SSIM antara sinyal x dan sinyal y:



Gambar 7 Diagram sistem pengukuran SSIM

Persamaan SSIM antara citra f dan g dapat dilihat sebagai berikut:

$$SSIM(f, g) = l(f, g)c(f, g)s(f, g) \tag{2.11}$$

Dengan faktor-faktor lainnya

$$\begin{cases} l(f, g) = \frac{2\mu_f\mu_g+C_1}{\mu_f^2+\mu_g^2+C_1} \\ c(f, g) = \frac{2\sigma_f\sigma_g+C_2}{\sigma_f^2+\sigma_g^2+C_2} \\ s(f, g) = \frac{2\sigma_{fg}+C_3}{\sigma_f\sigma_g+C_3} \end{cases} \tag{2.12}$$



dimana :

$l(f, g)$ = perbandingan luminansi yang mengukur kemiripan nilai luminansi rerata 2 citra (μ_f dan μ_g).

$c(f, g)$ = perbandingan nilai kontras yang mengukur kemiripan nilai standar deviasi 2 citra yaitu σ_f dan σ_g .

$s(f, g)$ = perbandingan struktur yang mengukur koefisien korelasi di antara 2 citra (f, g).

σ_{fg} = nilai kovarian antara f dan g .

C_1, C_2, C_3 = suatu konstanta agar penyebut tidak sama dengan 0.

Jangkauan nilai SSIM adalah 0 sampai dengan 1. Nilai “0” menunjukkan kedua citra yang dibandingkan tidak berkorelasi sedangkan nilai “1” menunjukkan kedua citra yang dibandingkan sama persis $f = g$ [14].

2.1.9 Serangan terhadap Citra Ber-watermark

Serangan terhadap citra ber-*watermark* secara umum terbagi menjadi dua jenis, yaitu serangan standar dan serangan terencana. Serangan terencana merupakan serangan yang bertujuan untuk menghilangkan *watermark*. Pengujian terhadap citra ber-*watermark* menggunakan serangan hanya dapat dilakukan dengan menggunakan serangan standar saja. Hal ini disebabkan karena dalam *malicious attack* umumnya pihak penyerang mencari algoritma penyisipan dan kunci yang digunakan saat penyisipan *watermark*. Dimana berhasil tidaknya serangan itu tidak bergantung pada *watermark* itu sendiri tapi pada faktor dari luar [12].

1) Serangan Standar

Serangan standar merupakan serangan yang biasanya diakibatkan oleh ketidaksengajaan dan berupa metode-metode sederhana yang dapat merusak atau menghilangkan *watermark* di dalam citra. Contoh dari jenis serangan standar adalah sbb:



a) *Cropping*

Cropping merupakan serangan yang dapat membuat pengguna dapat mengambil bagian tertentu saja dari sebuah citra. Untuk dapat mengatasi serangan ini dapat dilakukan dengan cara menyebarkan *watermark* pada bagian-bagian citra yang mungkin diserang.

b) Serangan geometris

Dalam penggunaannya serangan geometris secara tidak sengaja sering menghilangkan *watermark* pada citra. Serangan geometris ini menyebabkan pendeteksi *watermark* kehilangan sinkronisasinya dengan citra ber-*watermark*. Beberapa yang termasuk dalam serangan geometris adalah rotasi citra, penskalaan ulang citra, perubahan aspek ratio, translasi, dsb.

c) Kompresi

Serangan ini juga merupakan serangan yang sering dilakukan secara tidak sengaja. Kompresi sering dilakukan pada file multimedia seperti audio, video, dan citra. *Watermark* yang disisipkan biasanya lebih tahan terhadap kompresi yang memiliki domain sama dengan domain yang dipakai pada saat *watermarking*. Misalnya citra yang disisipi *watermark* menggunakan Transformasi Kosinus Diskrit lebih tahan terhadap kompresi JPEG daripada citra yang disisipi *watermark* dalam domain spasial. Atau citra yang disisipi *watermark* menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit lebih tahan terhadap kompresi JPEG 2000.

d) Penambahan *noise*

Citra digital sangat rentan mendapatkan berbagai macam jenis serangan *noise*. Ada beberapa cara yang menyebabkan suatu *noise* dapat berada didalam sebuah citra, tergantung bagaimana citra tersebut diciptakan. Sebagai contoh, jika citra merupakan hasil scan foto yang berasal dari negatif film, maka negatif film ini merupakan sumber *noise*. *Noise* juga bisa merupakan akibat dari kerusakan film atau juga bisa berasal dari scanner itu sendiri. Jika citra diperoleh secara langsung



dalam format digitalnya, mekanisme dalam mendapatkan data digital tersebut juga dapat menyebabkan adanya *noise*.

e) Filterisasi

Filterisasi umum digunakan pada citra. Beberapa filter yang sering digunakan yaitu *Gaussian filter*, *sharpening filter*, dan sebagainya. Untuk menangani jenis serangan ini *watermark* dapat disisipkan pada frekuensi yang paling sedikit berubah jika terjadi kompresi, dengan memperkirakan filterisasi apa saja yang umum digunakan [12].

2) **Malicious Attack**

Untuk jenis serangan kedua, yaitu *malicious attack* masih dibagi lagi menjadi tiga jenis serangan yaitu penghilangan *watermark*, deteksi atau perkiraan *watermark*, dan penulisan *watermark*. Penjelasan beserta contoh masing-masing jenis serangan dipaparkan sebagai berikut:

a) Penghilangan *watermark*

Dalam penghilangan *watermark* seorang penyerang tidak perlu mengambil *watermark* yang disisipkan tapi hanya perlu menghilangkan pesan yang dimaksud di dalam *watermark* tersebut dengan cara memodifikasi sinyal *watermark* sehingga pendeteksi tidak berhasil mendeteksi adanya *watermark* yang disisipkan. Contoh jenis serangan ini adalah serangan kolusi.

b) Deteksi atau perkiraan *watermark*

Serangan ini menitik beratkan pada pencarian modifikasi yang telah dilakukan terhadap citra asli sehingga dapat merepresentasikan *watermark* yang disisipkan. Serangan biasanya dilakukan dengan memperkirakan citra asli dan mengambil perbedaan antara citra asli hasil perkiraan tersebut dengan *watermark*.

c) Penulisan *watermark*

Cara yang digunakan dalam jenis serangan ini biasanya adalah *redundansi watermarking* atau memberi *watermark* kembali pada citra yang sudah ber-*watermark* [12].

