



**PERBAIKAN KUALITAS CITRA DENGAN METODE *DISCRETE*
WAVELET TRANSFORM DAN METODE *RETINEX***

SKRIPSI

Oleh

**Saifan Zufar
NIM 131810101018**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PERBAIKAN KUALITAS CITRA DENGAN METODE *DISCRETE*
WAVELET TRANSFORM DAN METODE *RETINEX***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Saifan Zufar
NIM 131810101018

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ayahanda Suryadi dan ibunda Wiwik tercinta, yang telah memberikan cinta dan kasih sayang;
2. Adikku Saifan Shodiq dan Hajar Saifana Ufairah yang selalu menjadi motivasiku;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu dan bimbingan dengan penuh kesabaran;
4. Sahabat Atlas'13 dan Smokers yang selalu menjadi tempat berbagi;
5. Teman-teman komunitas 48 Family Situbondo dan Bekisar48 serta JKT48 Fans Regional IV Jawa Timur yang telah mengisi hari-hariku dalam suka ataupun duka dalam 5 tahun terakhir;
6. Almamater tercinta Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

MOTTO

“Usaha keras itu tak akan mengkhianati”



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Saifan Zufar

NIM : 131810101018

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Perbaikan Kualitas Citra dengan Metode *Discrete Wavelet Transform* dan Metode *Retinex*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Januari 2018
Yang menyatakan,

Saifan Zufar
NIM 131810101018

SKRIPSI

**PERBAIKAN KUALITAS CITRA DENGAN METODE *DISCRETE*
WAVELET TRANSFORM DAN METODE *RETINEX***

Oleh

Saifan Zufar
NIM 131810101018

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ahmad Kamsyakawuni, S. Si., M.Kom.
Dosen Pembimbing Anggota : Abduh Riski, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perbaikan Kualitas Citra dengan Metode *Discrete Wavelet Transform* dan Metode *Retinex*” karya Saifan Zufar telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Ahmad Kamsyakawuni, S.Si., M.Kom.
NIP. 197211291998021001

Abduh Riski, S.Si., M.Si.
NIP. 199004062015041001

Penguji I,

Penguji II,

Kusbudiono, S.Si., M.Si
NIP. 197704302005011001

Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si
NIP. 197006061998031003

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP. 1961020419871111001

RINGKASAN

Perbaikan Kualitas Citra dengan Metode *Discrete Wavelet Transform* dan Metode *Retinex*; Saifan Zufar, 131810101018; 2018; 77 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Perkembangan teknologi di bidang fotografi membuat manusia ingin mengabadikan setiap peristiwa dalam bentuk gambar atau citra. Namun, sering kali didapati kualitas citra yang kurang baik. Citra dengan kualitas yang kurang baik dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah citra memiliki *noise* dan kontras citra terlalu gelap atau terang. Agar citra mudah diinterpretasi, maka citra tersebut harus diperbaiki menggunakan konsep perbaikan citra. Perbaikan kualitas citra merupakan suatu proses memperbaiki citra dengan memanipulasi parameter-parameter citra.

Pada penelitian ini digunakan data berupa citra dengan kedalaman 8 *bit*. Data citra tersebut terdiri atas beberapa citra dengan variasi objek. Data yang digunakan adalah data sekunder. Perbaikan citra pada data tersebut menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT), metode *Retinex* dan metode DWT-*Retinex*.

Jumlah level dekomposisi pada metode *Discrete Wavelet Transform* berpengaruh terhadap nilai PSNR pada setiap citra *output*. Terdapat empat citra yang memiliki nilai PSNR yang baik ketika level dekomposisinya satu, yaitu citra yang gelap, sedang, terang, dan sangat terang. Terdapat satu citra yang memiliki nilai PSNR yang baik ketika level dekomposisinya tiga, yaitu citra yang sangat gelap. Berdasarkan hasil perbaikan tersebut, hasil perbaikan citra yang sangat gelap memiliki nilai PSNR yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa metode *Discrete Wavelet Transform* efektif dalam memperbaiki citra yang sangat gelap.

Nilai Parameter α dan β tidak berpengaruh terhadap nilai PSNR yang dihasilkan. Secara visual, terdapat perbedaan jika nilai $\alpha > \beta$ dan nilai $\alpha < \beta$.

Jika nilai $\alpha > \beta$, menghasilkan citra yang tajam, dan jika nilai $\alpha < \beta$ menghasilkan citra yang sedikit memudar warna aslinya.

Parameter γ pada metode *Gamma Correction* berpengaruh pada nilai PSNR yang dihasilkan. Nilai γ yang kecil atau kurang dari 0,5 menghasilkan citra yang gelap. Sedangkan nilai γ yang lebih besar dari 1 akan menghasilkan citra yang terang. Nilai γ yang baik berada di rentang antara 1,1 dan 1,5 karena mampu menghasilkan citra yang baik secara visual dan menghasilkan nilai PSNR yang maksimal.

Berdasarkan hasil perbaikan tersebut, PSNR dari perbaikan menggunakan DWT lebih tinggi dari PSNR yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa metode DWT sangat baik dalam mereduksi *noise*. PSNR yang dihasilkan pada metode *Retinex* tidak sebaik PSNR yang dihasilkan oleh metode DWT, dikarenakan metode *Retinex* bukanlah metode untuk mereduksi *noise*, melainkan untuk memperbaiki kontras dan warna. Terdapat empat citra yang lebih baik diperbaiki menggunakan DWT-*Retinex* dibandingkan *Retinex*-DWT yaitu pada citra yang sangat gelap, gelap, sedang dan terang. Sedangkan, citra yang sangat terang lebih baik diperbaiki menggunakan *Retinex*-DWT.

Dilihat secara visual, metode DWT-*Retinex* menghasilkan citra yang lebih baik dibandingkan dengan metode *Retinex*-DWT. Metode DWT-*Retinex* menghasilkan citra yang baik warnanya, sedangkan metode *Retinex*-DWT menghasilkan citra yang kurang tajam. Metode DWT-*Retinex* sangat baik memperbaiki citra yang gelap, karena metode tersebut mampu menambah pencahayaan pada citra dan membangkitkan warna asli citra.

Berdasarkan waktu komputasi (*running time*) program, metode DWT membutuhkan waktu yang lebih cepat dibandingkan metode *Retinex*. Rata-rata *running time* metode DWT adalah 0,517 detik. Sedangkan rata-rata *running time* metode *Retinex* adalah 1,323 detik. Metode *Retinex* membutuhkan waktu yang lebih lama karena di dalam prosesnya terdapat banyak iterasi. Metode DWT-*Retinex* membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama dibandingkan metode *Retinex*-DWT. Rata-rata *running time* metode DWT-*Retinex* adalah 1,821 detik. Sedangkan rata-rata *running time* metode *Retinex*-DWT adalah 1,817 detik.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala Kuasa-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perbaikan Kualitas Citra dengan Metode *Discrete Wavelet Transform* dan Metode *Retinex*”. Penulisan tugas akhir ini dilakukan guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains pada Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember.

Pada kesempatan ini, dengan segala hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ahmad Kamsyakawuni, S.Si., M.Kom. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Abduh Riski, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing anggota;
2. Bapak Kusbudiono, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Firdaus Ubaidillah, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun;
3. Dosen dan Karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
4. Sahabat Atlas'13 dan Smokers yang selalu setia memberikan dukungan;
5. serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian tugas ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharap kritik dan saran demi kesempurnaan penelitian selanjutnya. Semoga tugas ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Jember, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN SKRIPSI.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
HALAMAN RINGKASAN	vii
HALAMAN PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Representasi Citra	3
2.2 Jenis-jenis Citra	4
2.2.1 Citra Biner.....	4
2.2.2 Citra Greyscale	4
2.2.3 Citra RGB	5
2.3 Kontras Citra	6
2.4 Noise	7
2.5 Metode <i>Retinex</i>.....	8
2.6 Metode <i>Discrete Wavelet Transform</i>	11

2.6.1 <i>Wavelet</i>	11
2.6.2 Transformasi <i>Wavelet</i>	11
2.6.3 <i>Discrete Wavelet Transform</i>	11
2.6.4 Keluarga <i>Wavelet</i>	15
2.7 <i>Gamma Correction</i>	16
2.8 <i>Mean Square Error</i>	17
2.9 <i>Peak Signal to Noise Ratio</i>	18
BAB 3. METODE PENELITIAN	19
3.1 Data Penelitian	19
3.2 Langkah-langkah Penelitian	19
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Hasil Penelitian	24
4.1.1 Perhitungan Manual.....	24
4.1.2 Hasil Program	38
4.2 Pembahasan	43
4.2.1 Pengaruh Level	43
4.2.2 Pengaruh Parameter	44
4.2.3 Perbandingan Hasil.....	44
BAB 5. PENUTUP	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49

DAFTAR TABEL

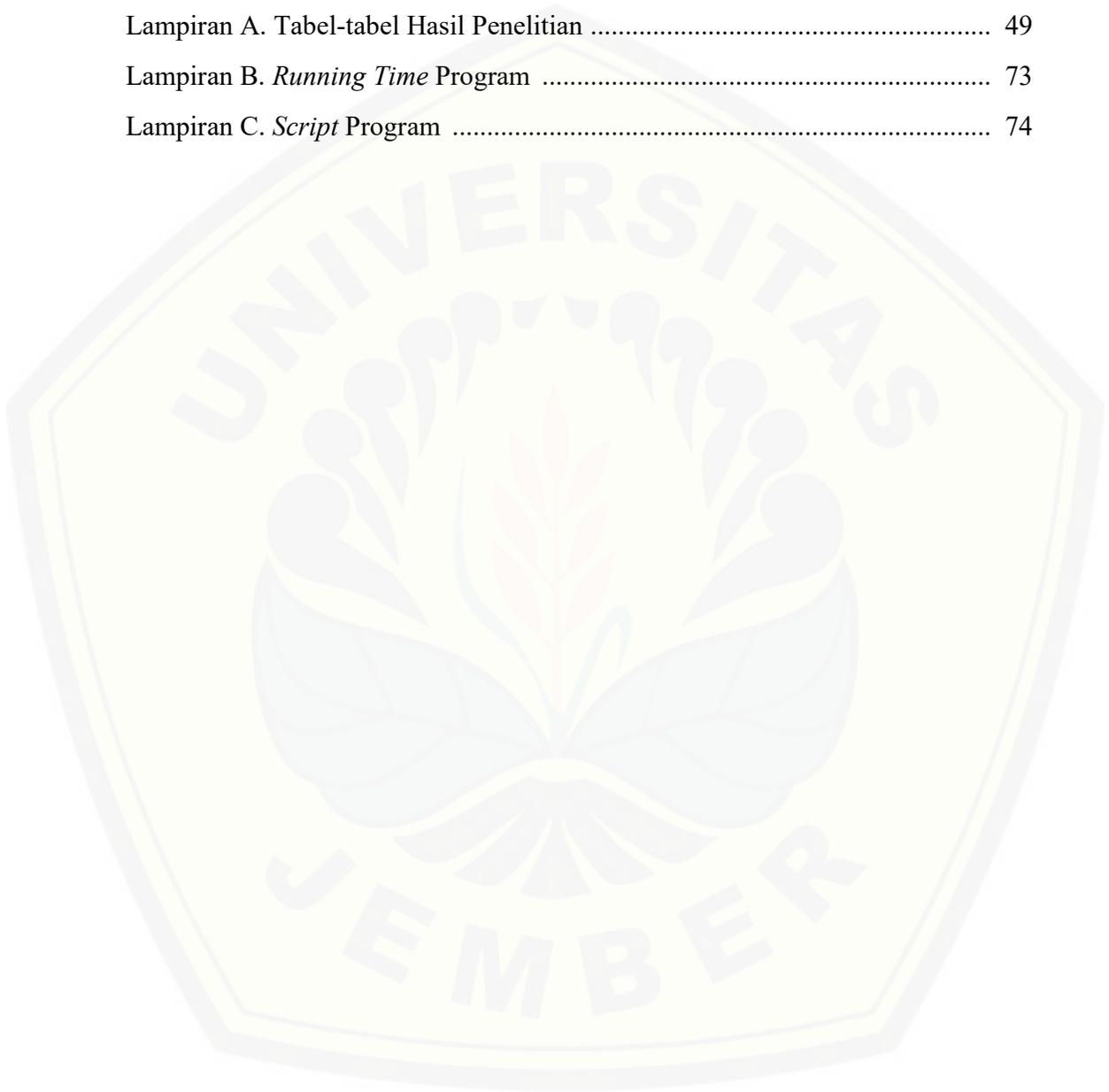
	Halaman
A.1 Hasil DWT pada image1.jpg	49
A.2 Hasil DWT pada image2.jpg	50
A.3 Hasil DWT pada image3.jpg	53
A.4 Hasil DWT pada image4.jpg	54
A.5 Hasil DWT pada image5.jpg	57
A.6 Pengaruh parameter α dengan $\beta = 1$, dan $\gamma = 1,2$	59
A.7 Pengaruh parameter β dengan $\alpha = 1$, dan $\gamma = 1,2$	61
A.8 Pengaruh parameter γ dengan $\alpha = 1$, dan $\beta = 1$	63
A.9 Hasil Program pada citra image1.jpg	66
A.10 Hasil Program pada citra image2.jpg	68
A.11 Hasil Program pada citra image3.jpg	69
A.12 Hasil Program pada citra image4.jpg	76
A.13 Hasil Program pada citra image5.jpg	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Citra dengan ukuran $h \times w$ pixel	3
2.2 Citra biner	4
2.3 Citra <i>greyscale</i>	5
2.4 Citra RGB	6
2.5 Histogram citra kontras rendah	6
2.6 Histogram citra kontras bagus	7
2.7 Histogram citra kontras tinggi	7
2.8 Citra dengan <i>Noise</i>	8
2.9 Gambaran dekomposisi citra	9
2.10 Dekomposisi <i>wavelet</i> 3 tingkat	13
2.11 Rekonstruksi <i>wavelet</i> 3 tingkat	14
2.12 Dekomposisi <i>wavelet</i> 2-D satu tingkat	14
2.13 Keluarga <i>wavelet</i>	15
2.14 Hasil dari dekomposisi 2-D 2 tingkat	16
3.1 <i>Flowchart</i> langkah-langkah penelitian	22
3.2 Desain sistem perbaikan citra	23
4.1 Tampilan <i>opening</i> dari program	38
4.2 Tampilan awal program	38
4.3 Tampilan Open Citra Digital	40
4.4 Tampilan setelah citra diinputkan	40
4.5 Citra output hasil DWT dan PSNR-nya	41
4.6 Citra output hasil <i>Retinex</i> dan PSNR-nya	42
4.7 Citra output hasil DWT- <i>Retinex</i> dan PSNR-nya	42
4.8 Citra output hasil <i>Retinex</i> -DWT dan PSNR-nya	43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Tabel-tabel Hasil Penelitian	49
Lampiran B. <i>Running Time</i> Program	73
Lampiran C. <i>Script</i> Program	74



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi memberikan dampak besar dalam kehidupan sehari-hari umat manusia, khususnya teknologi di bidang fotografi. Perkembangan teknologi di bidang fotografi, membuat manusia selalu ingin mengabadikan setiap peristiwa dalam bentuk gambar atau citra. Namun, sering kali didapati kualitas citra yang kurang baik.

Citra bisa saja memiliki kualitas yang rendah, misalnya citra mengandung *noise*, warna citra terlalu terang atau gelap, citra kurang tajam, dan citra mengalami *blurring*. Tentu saja citra semacam ini menjadi sulit untuk diinterpretasi, karena informasi yang disampaikan oleh citra tersebut menjadi berkurang. Agar citra mudah untuk diinterpretasi (baik oleh manusia ataupun mesin), maka citra tersebut perlu diperbaiki menggunakan konsep perbaikan citra.

Perbaikan citra (*image enhancement*) adalah suatu proses memperbaiki kualitas citra dengan memanipulasi parameter – parameter citra. Proses yang dapat dilakukan dalam memperbaiki kualitas citra antara lain, perbaikan kontras gelap atau terang, perbaikan tepi objek (*edge enhancement*), penajaman (*sharpening*), pemberian warna semu (*pseudocoloring*), dan penapisan derau (*noise filtering*).

Terdapat beberapa penelitian yang membahas tentang perbaikan citra, diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Tena (2012), terdapat kesimpulan bahwa, metode *Discrete Wavelet Transform* memberikan hasil perbaikan kualitas citra yang baik terutama citra dengan kepadatan derau (*noise density*) yang besar. Pada penelitian tersebut, Tena memberikan saran untuk mengembangkan metode *hybrid* antara wavelet dan metode lainnya untuk memberikan hasil perbaikan yang lebih baik. Untuk itu, penulis mencari metode perbaikan citra, yang memperbaiki citra dalam segi yang berbeda dengan metode *Discrete Wavelet Transform*. Pada akhirnya penulis menggunakan metode *Retinex*

dikarenakan metode tersebut dapat memperbaiki kontras dan warna pada citra. Penelitian yang berhubungan dengan metode *Retinex* yaitu penelitian yang dilakukan oleh Adipranata, dkk (2013). Pada penelitian tersebut, terdapat kesimpulan bahwa metode *Retinex* dapat memperbaiki warna citra dan membuat kontras citra menjadi lebih tinggi. Berdasarkan hal-hal tersebut, penulis menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* dan metode *Retinex* dalam perbaikan kualitas citra, sehingga nantinya akan dapat memperbaiki citra dalam segi *noise filtering*, kontras dan warna.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana perbandingan kualitas citra hasil perbaikan metode *Discrete Wavelet Transform* dan metode *Retinex* dengan kualitas citra asli?
- b. Bagaimana *running time* dari metode *Discrete Wavelet Transform* dan metode *Retinex* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membangun sebuah program perbaikan kualitas citra (*image quality application*) dengan menerapkan gabungan dari metode *Discrete Wavelet Transform* dan metode *Retinex* yang diharapkan mampu memperbaiki kualitas citra. Selain itu, menjelaskan kepada para pembaca tentang cara kerja metode *Discrete Wavelet Transform* dan metode *Retinex* untuk perbaikan kualitas citra.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini antara lain adalah :

- a. Dapat menambah pengetahuan para pembaca tentang perbaikan kualitas citra dengan metode *Discrete Wavelet Transform* dan metode *Retinex*;
- b. Dapat menghasilkan kualitas citra yang lebih baik dari aslinya;
- c. Dapat dijadikan referensi dalam penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan perbaikan citra.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Representasi Citra

Citra (*image*) secara harfiah dapat diartikan sebagai gambar yang terletak pada bidang dua dimensi. Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi kontinu dari intensitas cahaya pada bidang dua dimensi. Ada dua macam citra yaitu, citra diam dan citra bergerak. Citra diam adalah citra tunggal yang tidak bergerak, sedangkan citra bergerak adalah sekumpulan citra diam yang ditampilkan secara sekuensial (Saifudin, 2016).

Citra digital adalah citra yang tersusun dalam bentuk grid yang terdiri atas kotak-kotak (*tiles*) yang disebut *pixel* (*picture element*) dan memiliki koordinat (x, y) dimana x adalah baris (*row*) dan y adalah kolom (*column*). Setiap *pixel* memiliki suatu nilai yang menunjukkan intensitas/derajat keabuan pada *pixel* tersebut, dimana kisaran nilai ditentukan oleh *bit* yang digunakan, dan akan menunjukkan resolusi derajat keabuan (*grey level resolution*) (Tena, 2012).

Sebuah citra dapat direpresentasikan sebagai sebuah matriks. Apabila tinggi dan lebar citra masing-masing adalah h dan w *pixel*, maka matriks yang akan terbentuk mempunyai ordo $h \times w$. Misalkan sebuah citra dengan ukuran $h \times w$ *pixel* seperti pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1 Citra dengan ukuran $h \times w$ *pixel*

Matriks yang terbentuk dari Gambar 2.1 adalah:

$$C = \begin{bmatrix} c_{1,1} & \cdots & c_{1,w} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{h,1} & \cdots & c_{h,w} \end{bmatrix}$$

Matriks di atas adalah representasi data digital dari sebuah citra dengan $c_{i,j}$ merupakan intensitas atau tingkat keabuan.

2.2 Jenis-jenis Citra

Berdasarkan warna-warna penyusunnya, menurut Prijono dan Wijaya (2007) citra digital dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu:

2.2.1 Citra Biner

Citra biner yaitu citra yang hanya memiliki dua warna, yaitu hitam dan putih (Gambar 2.2). Oleh karena itu, setiap *pixel* dari citra biner cukup direpresentasikan dengan 1 bit. Citra biner memiliki *pixel* dengan dua kemungkinan nilai, yaitu 0 atau 1 (Dinata, 2014).



Gambar 2.2 Citra biner

2.2.2 Citra Greyscale

Citra *greyscale* yaitu citra yang nilai derajat keabuan atau intensitasnya direpresentasikan atas warna hitam putih. Nilai paling rendah menunjukkan warna hitam dan nilai paling tinggi menunjukkan warna putih. Pada umumnya citra *greyscale* memiliki kedalaman *pixel* 8 bit (256 derajat keabuan) yaitu nilainya

berkisar antara 0 sampai 255. Contoh citra *greyscale* bisa dilihat pada Gambar 2.3.

Citra *greyscale* merupakan citra satu kanal, dimana $f(x,y)$ merupakan fungsi nilai keabuan dari hitam ke putih. Intensitas f dari gambar hitam putih pada titik (x,y) disebut dengan tingkat atau nilai keabuan (*grey level*), yang dalam hal ini nilai keabuannya bergerak dari hitam ke putih. Nilai keabuan citra berada pada selang $[I_{min}, I_{max}]$, dimana selang ini disebut dengan skala keabuan (Saifudin, 2016).



Gambar 2.3 Citra *greyscale*

2.2.3 Citra RGB

Citra RGB (citra warna atau *truecolor*) yaitu citra yang terdiri dari tiga kanal. Setiap kanal memiliki nilai *pixel* yang merepresentasikan warna-warna penyusunnya yaitu merah, hijau dan biru. Sama halnya seperti pada citra *greyscale*, nilai intensitas warna citra RGB juga tergantung pada kedalaman *pixel* yang digunakan. Contoh citra RGB dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Intensitas di setiap titik pada citra berwarna merupakan kombinasi dari tiga intensitas, yaitu:

- Nilai keabuan merah ($f_r(x,y)$);
- Nilai keabuan hijau ($f_g(x,y)$);
- Nilai keabuan biru ($f_b(x,y)$).



Gambar 2.4 Citra RGB

2.3 Kontras Citra

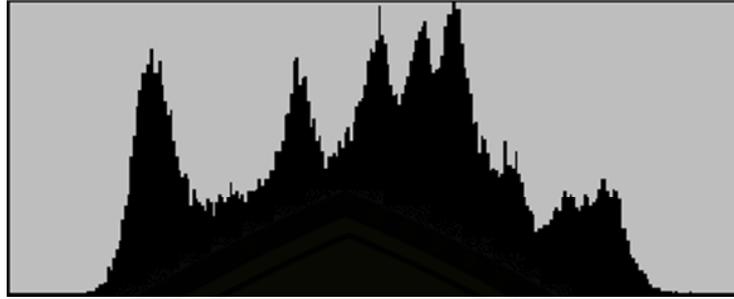
Kontras menyatakan sebaran nilai intensitas keabuan di dalam sebuah citra. Kontras citra dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu: citra kontras rendah (*low contrast*), citra kontras bagus (*good contrast* atau *normal contrast*) dan citra kontras tinggi (*high contrast*).

Citra kontras-rendah dicirikan dengan, sebagian besar komposisi citranya adalah terang atau sebagian besar gelap. Pada histogramnya terlihat sebagian besar dari nilai keabuannya terkelompok (*clustered*) bersama atau hanya menempati sebagian kecil dari skala keabuan yang mungkin. Histogram citra kontras-rendah terlihat seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Histogram citra kontras rendah

Citra kontras-bagus memperlihatkan jangkauan nilai keabuan yang lebar tanpa ada suatu nilai keabuan yang mendominasi. Histogram citranya memperlihatkan sebaran nilai keabuan yang relatif seragam. Histogram citra kontras-bagus terlihat seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Histogram citra kontras-bagus

Citra kontras-tinggi juga memiliki jangkauan nilai keabuan yang lebar, akan tetapi terdapat area yang lebar yang didominasi oleh warna gelap dan area yang lebar yang didominasi oleh warna terang. Pada histogramnya terlihat dua puncak, satu pada area nilai keabuan yang rendah dan satu lagi pada area nilai keabuan yang tinggi. Histogram citra kontras-tinggi terlihat seperti pada Gambar 2.7 (Munir, 2004).

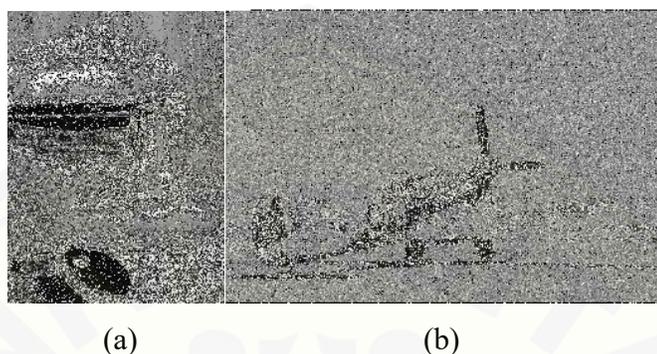


Gambar 2.7 Histogram citra kontras-tinggi

2.4 Noise

Noise adalah gambar atau *pixel* yang mengganggu kualitas citra dan mencemari citra. *Noise* dapat disebabkan oleh gangguan fisis (optik) pada alat akuisisi maupun disengaja akibat proses pengolahan yang tidak sesuai, misalkan pada saat memotret ataupun pada saat proses *scan*. Selain itu, *noise* banyak disebabkan oleh gangguan luar. Jika sebuah citra dikirim secara elektronik dari satu tempat ke tempat lain melalui satelit, transmisi *wireless* atau media kabel, maka akan muncul gangguan, error yang terjadi tergantung pada tipe gangguan pada sinyal. Jika jenis gangguannya dapat diketahui, maka dapat dengan mudah

gangguan tersebut ditangani. Beberapa jenis *noise* yang sering dijumpai adalah *Salt & Pepper Noise* dan *Gaussian Noise*. Contoh *Salt & Pepper Noise* dan *Gaussian Noise* terdapat pada Gambar 2.8 (Iswari, dkk, 2011).



Gambar 2.8 (a) Citra dengan *Salt & Pepper Noise* (b) Citra dengan *Gaussian Noise*

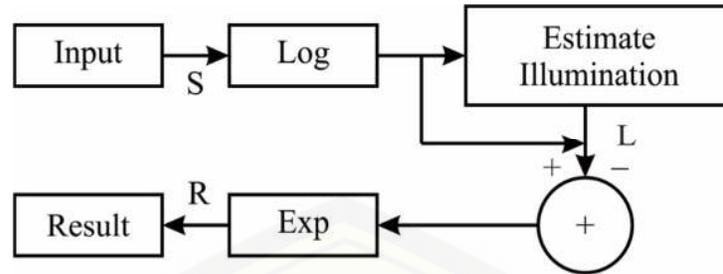
2.5 Metode *Retinex*

Metode *Retinex* digunakan untuk memperbaiki kualitas citra digital yang berhubungan dengan pencahayaan yaitu dengan mempertahankan *color constancy*. *Color constancy* adalah ketetapan subjektif dari fitur persepsi warna yang memastikan bahwa warna yang dirasakan objek tetap relatif konstan dalam berbagai kondisi pencahayaan (Dinata, 2014)

Teori *Retinex* berhubungan dengan kompensasi untuk efek pencahayaan (*illumination*) pada citra. Tujuan utama metode *Retinex* adalah untuk memisahkan citra S ke dalam dua buah citra yang berbeda, yaitu *reflectance image* R dan *illumination image* L pada setiap titik (x, y) dalam *image domain*. Persamaan umum *Retinex* dapat dilihat pada persamaan (2.1).

$$S(x, y) = R(x, y) \cdot L(x, y) \quad (2.1)$$

Keuntungan dari dekomposisi citra ini adalah kemungkinan pembuangan efek cahaya dari pencahayaan depan atau belakang dan memperbaiki warna-warna dalam citra dengan membuang iluminasi yang membuat warna berubah. Pada Gambar 2.8 terdapat gambaran dekomposisi citra S menjadi R dan L .



Gambar 2.9 Gambaran dekomposisi citra

Algoritma yang digunakan dalam metode *Retinex* merupakan algoritma multi-resolusi yang memulai algoritmanya pada citra l (*illumination image*) dengan resolusi terendah dan diperbesar dengan teknik *image scaling*, kemudian menggunakan hasil tersebut sebagai inialisasi untuk *layer* resolusi selanjutnya. Dengan mengubah citra ke dalam domain logaritma, maka didapat $s = \log S$, $l = \log L$, $r = \log R$, sehingga $s = l + r$. Algoritma *Retinex* menerapkan *Gaussian smoothing* pada s dan operasi konvolusi untuk mengeluarkan l (Kimmel,dkk, 2003).

Langkah-langkah algoritma *Retinex* dalam perbaikan kualitas citra adalah sebagai berikut:

- a. *Input*: Sebuah citra S dengan ukuran $[n, m]$ dan dua parameter bebas riil non negatif α, β .
- b. Inialisasi: Hitung sebuah Piramida *Gaussian* pada citra S . Piramida ini dibangun dengan menghaluskan (*smoothing*) citra dengan kernel K_{PYR}

$$K_{PYR} = \begin{bmatrix} \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

dan kemudian dikecilkan dengan rasio 2:1. Proses ini diulang p kali dan menghasilkan sebuah deret dari citra-citra $\{s_k\}_{k=1}^p$. Citra s_1 adalah citra asli dan s_p adalah citra dengan resolusi paling kasar dalam piramid.

Tetapkan *numerical inner product* sebagai,

$$\langle G, F \rangle = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m G(x, y) \cdot F(x, y)$$

dan *numerical laplacian* pada resolusi ke- k sebagai,

$$\Delta_k G = G * K_{LAP} 2^{-2(k-1)}$$

dengan

$$K_{LAP} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Tentukan $k = p$, berarti dimulai pada lapisan resolusi yang paling rendah, tentukan kondisi *initial* $l_0 = \max\{s_p\}$ dan tentukan T_i – jumlah dari langkah-langkah yang sedang berlangsung pada setiap resolusi i .

c. Perulangan utama : Untuk layer resolusi ke- k ,

$$G_B \triangleq \Delta s_k \quad (2.3)$$

Untuk $j = 1, \dots, T_k$ lakukan:

$$G_A \triangleq \Delta l_{j-1} \quad (2.4)$$

$$G \leftarrow G_A + \alpha(l_{j-1} - s_k) - \beta(G_A - G_B) \quad (2.5)$$

$$\mu_A \triangleq \langle G, G \rangle \quad (2.6)$$

$$\mu_B \triangleq -\langle G, \Delta_k G \rangle \quad (2.7)$$

$$\mu_{NSD} \leftarrow \frac{\mu_A}{\alpha\mu_A + (1 + \beta)\mu_B} \quad (2.8)$$

$$l_j \leftarrow l_{j-1} - \mu_{NSD} \cdot G \quad (2.9)$$

$$l_j \leftarrow \max\{l_j, s_k\} \quad (2.10)$$

Akhiri putaran j

d. perbarui *resolution layer* selanjutnya

Jika $k > 1$, hasil l_{T_k} diperbesar dengan rasio 2: 1 menggunakan metode *pixel replication* ke dalam l_0 yang baru, inisialisasi untuk *resolution layer* $k - 1$ selanjutnya. *Resolution layer* diperbarui $k = k - 1$ dan algoritma tetap berlangsung dengan berjalan lagi ke langkah ke-3. Jika $k = 1$, maka hasil l_{T_1} adalah *output* akhir dari algoritma (Adipranata, dkk, 2013).

2.6 Metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT)

2.6.1 *Wavelet*

Gelombang (*wave*) adalah sebuah fungsi yang bergerak naik turun, ruang dan waktu secara periodik. Sedangkan *wavelet* merupakan gelombang yang dibatasi atau dapat dikatakan sebagai gelombang pendek. *Wavelet* pertama kali digunakan dalam analisis dan pemrosesan *digital* dari sinyal gempa bumi.

2.6.2 Transformasi *Wavelet* (*Wavelet Transform*)

Transformasi sinyal merupakan bentuk lain dari penggambaran sinyal yang tidak mengubah isi informasi dalam sinyal tersebut. Transformasi *wavelet* (*wavelet transform*) menyediakan penggambaran frekuensi waktu dari sinyal. Pada awalnya, transformasi *wavelet* digunakan untuk menganalisis sinyal bergerak (*non-stationary signals*). Sinyal bergerak ini dianalisis dalam transformasi *wavelet* dengan menggunakan teknik *multi-resolution analysis*. Secara umum teknik *multi-resolution analysis* adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis frekuensi (Polikar, 1998).

Transformasi *wavelet* memiliki dua seri dalam pengembangannya yaitu *Continuous Wavelet Transform* (CWT) dan *Discrete Wavelet Transform* (DWT). Semua fungsi yang digunakan dalam transformasi CWT dan DWT diturunkan dari *mother wavelet* melalui translasi (pergeseran) dan penskalaan (kompresi).

2.6.3 *Discrete Wavelet Transform*

Dasar dari *discrete wavelet transform* dimulai pada tahun 1976 dimana teknik untuk mendekomposisi sinyal waktu diskrit ditemukan. Di dalam CWT, sinyal dianalisis menggunakan seperangkat fungsi dasar yang saling berhubungan dengan penskalaan dan transisi sederhana. Sedangkan di dalam DWT, penggambaran sebuah sinyal didapatkan dengan menggunakan teknik filterisasi *digital*. Secara garis besar proses dalam teknik ini adalah dengan melewati sinyal yang akan dianalisis pada filter dengan frekuensi dan skala yang berbeda.

Filterisasi sendiri merupakan sebuah fungsi yang digunakan dalam pemrosesan sinyal. *Wavelet* dapat direalisasikan menggunakan iterasi filter dengan

penskalaan. Resolusi dari sinyal, yang merupakan rata-rata dari jumlah detail informasi dalam sinyal, ditentukan melalui filterasi ini dan skalanya didapatkan dengan *upsampling* dan *downsampling* (*subsampling*).

Sebuah sinyal harus dilewatkan dalam dua filterisasi DWT yaitu *highpass filter* dan *lowpass filter* agar frekuensi dari sinyal tersebut dapat dianalisis. Analisis sinyal dilakukan terhadap hasil filterisasi *highpass filter* dan *lowpass filter*, di mana *highpass filter* digunakan untuk menganalisis frekuensi tinggi dan *lowpass filter* digunakan untuk menganalisis frekuensi rendah. Analisis terhadap frekuensi dilakukan dengan cara menggunakan resolusi yang dihasilkan setelah sinyal melewati filterisasi. Analisis frekuensi yang berbeda dengan menggunakan resolusi yang berbeda inilah yang disebut dengan *multi-resolution analysis*, seperti yang telah disinggung pada bagian Transformasi *Wavelet*.

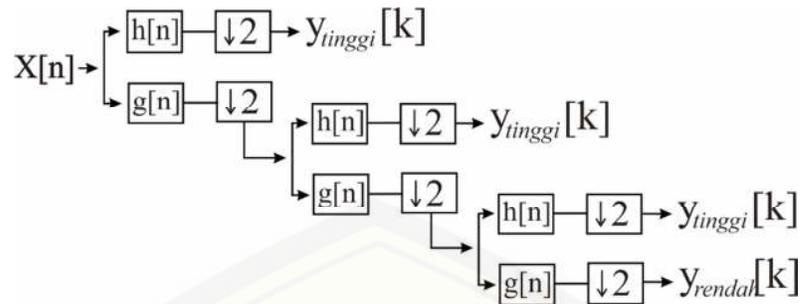
Pembagian sinyal menjadi frekuensi tinggi dan frekuensi rendah dalam proses filterisasi *highpass filter* dan *lowpass filter* disebut sebagai dekomposisi. Proses dekomposisi dimulai dengan melewatkan sinyal melewati *highpass filter* dan *lowpass filter*. Misalkan sinyal asal ini memiliki rentang frekuensi 0 sampai dengan $\pi \text{ rad/s}$. Dalam melewati *highpass filter* dan *lowpass filter* ini, rentang frekuensi di-*subsample* menjadi dua, sehingga rentang frekuensi tertinggi pada masing-masing *subsample* menjadi $\frac{\pi}{2} \text{ rad/s}$ (Sripathi, 2003).

Proses dekomposisi ini dapat melalui satu atau lebih tingkatan. Dekomposisi satu tingkat ditulis dengan ekspresi matematika pada persamaan (2.11) dan (2.12).

$$y_{tinggi}[k] = \sum_n x[n]h[2k - n] \quad (2.11)$$

$$y_{rendah}[k] = \sum_n x[n]g[2k - n] \quad (2.12)$$

dimana $y_{tinggi}[k]$ dan $y_{rendah}[k]$ masing-masing 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 (2.11) dan (2.12) dapat digunakan pada masing-masing tingkatan. Contoh penggambaran dekomposisi dipaparkan pada Gambar 2.10 dengan menggunakan dekomposisi tiga tingkat.

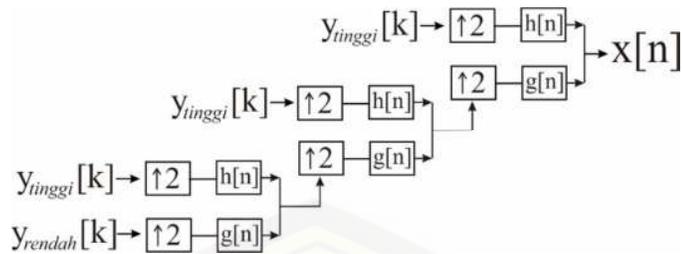
Gambar 2.10 Dekomposisi *Wavelet* 3 tingkat

Pada Gambar 2.10, $y_{tinggi}[k]$ dan $y_{rendah}[k]$ masing-masing merupakan hasil dari *highpass filter* dan *lowpass filter*, $y[k]$ disebut sebagai koefisien DWT. $y_{tinggi}[k]$ merupakan detil dari informasi sinyal, sedangkan $y_{rendah}[k]$ merupakan taksiran kasar dari fungsi penskalaan. Dengan menggunakan koefisien DWT ini maka dapat dilakukan proses *Inverse Discrete Wavelet Transform* (IDWT) untuk merekonstruksi menjadi sinyal asal. DWT menganalisis sinyal pada frekuensi berbeda dengan resolusi yang berbeda melalui dekomposisi sinyal sehingga menjadi detil informasi dan taksiran kasar. DWT bekerja pada dua kumpulan fungsi yang disebut fungsi penskalaan dan fungsi *wavelet* yang masing-masing berhubungan *highpass filter* dan *lowpass filter*. Dekomposisi ini didasarkan pada aturan Nyquist, yang salah satunya mengatakan bahwa frekuensi komponen *sample* harus kurang atau sama dengan setengah dari frekuensi sampling. Jadi diambil frekuensi *sample* $\pi/2$ dari frekuensi sampling π dalam *subsample* oleh 2 pada dekomposisi *wavelet*.

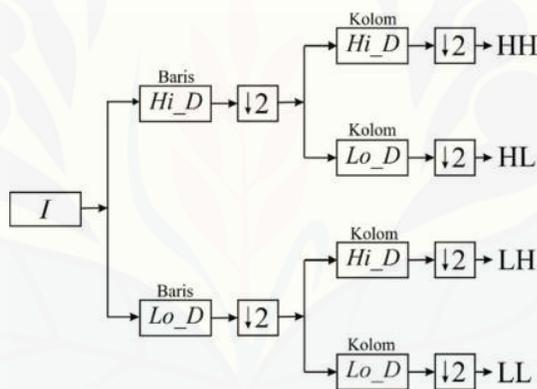
Proses rekonstruksi diawali dengan menggabungkan koefisien DWT yang berada pada akhir dekomposisi dengan koefisien sebelum di-*upsample* oleh 2 ($\uparrow 2$) melalui *highpass filter* dan *lowpass filter*. Proses rekonstruksi ini sepenuhnya merupakan kebalikan dari proses dekomposisi sesuai dengan tingkatan pada proses dekomposisi. Persamaan rekonstruksi pada masing-masing tingkatan dapat ditulis sebagai berikut:

$$x[n] = \sum_k (y_{tinggi}[k]h[-n + 2k] + y_{rendah}[k]g[-n + 2k]) \quad (2.13)$$

Proses rekonstruksi *wavelet* untuk mendapatkan sinyal asal dengan tiga tingkatan digambarkan pada Gambar 2.11.

Gambar 2.11 Rekonstruksi *wavelet* 3 tingkat

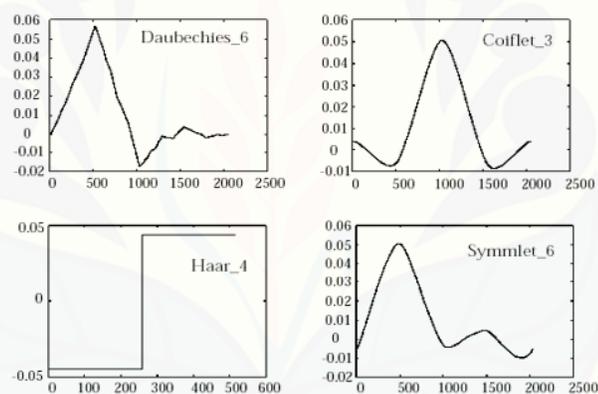
Secara teknis, dekomposisi citra yang merupakan sinyal bergerak dapat digambarkan seperti dekomposisi sinyal menggunakan transformasi *wavelet*. Citra dengan dua dimensi (baris dan kolom) dapat didekomposisi seperti Gambar 2.11. dengan I adalah citra, Hi_D adalah *highpass filter*, dan Lo_D adalah *lowpass filter*.

Gambar 2.12 Dekomposisi *wavelet* 2-D satu tingkat

Dekomposisi pada citra seperti pada Gambar 2.12 menghasilkan informasi rentang frekuensi yang berbeda yaitu LL, frekuensi rendah-rendah (*low-low frequency*), LH, frekuensi rendah-tinggi (*low-high frequency*), HL, frekuensi tinggi-rendah (*high-low frequency*), dan HH, frekuensi tinggi-tinggi (*high-high frequency*). Kesemuanya ini membentuk struktur piramid dari sebuah citra. LL merupakan koefisien aproksimasi, sedangkan LH, HL, dan HH merupakan koefisien detail (Terzija, 2006).

2.6.4 Keluarga *Wavelet*

Wavelet merupakan keluarga fungsi yang dihasilkan oleh *wavelet* basis yang disebut *mother wavelet*. *Mother wavelet* merupakan fungsi dasar yang digunakan dalam transformasi *wavelet*. Karena *mother wavelet* menghasilkan semua fungsi *wavelet* yang digunakan dalam transformasi melalui translasi dan penskalaan, maka *mother wavelet* juga akan menentukan karakteristik dari transformasi *wavelet* yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu pencatatan secara teliti terhadap penerapan *wavelet* dan pemilihan yang tepat terhadap *mother wavelet* harus dilakukan agar dapat menggunakan transformasi *wavelet* secara efisien. Beberapa contoh keluarga *wavelet* adalah *Haar*, *Daubechies*, *Symlets*, dan *Coiflets*. seperti pada Gambar 2.13 (Sutarno, 2010).



Gambar 2.13 Keluarga *wavelet*

Langkah-langkah *noise filtering* pada citra dengan metode *Discrete Wavelet Transform* adalah:

- Input*: Sebuah citra dengan ukuran $[n, m]$.
- Proses Dekomposisi. Penerapan *filter* (*highpass* dan *lowpass*) terhadap seluruh baris sinyal seperti pada Gambar 2.12 akan menghasilkan empat bagian sinyal atau *subband* (LL, LH, HL, HH). Gambaran hasil dari proses dekomposisi terlihat seperti pada Gambar 2.14.

LL-2	HL-2	HL-1
LH-2	HH-2	
LH-1		HH-1

Gambar 2.14 Hasil dari dekomposisi 2-D 2 tingkat

- c. Proses *Thresholding*. Terdapat dua jenis *thresholding* yaitu *hard thresholding* dan *soft thresholding*. Persamaan *hard thresholding* seperti pada persamaan (2.14).

$$(\tau_{\lambda}p)(y) = \begin{cases} p(y), & \text{jika } |p(y)| > \lambda \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases} \quad (2.14)$$

Sedangkan, persamaan *soft thresholding* seperti pada Persamaan (2.15).

$$(\tau_{\lambda}p)(y) = \begin{cases} p(y) - \lambda, & \text{jika } |p(y)| > \lambda \\ p(y) + \lambda, & \text{jika } |p(y)| < -\lambda \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases} \quad (2.15)$$

dimana λ adalah nilai ambang.

- d. Proses Rekonstruksi. Koefisien-koefisien yang didapatkan dari proses dekomposisi dan proses *thresholding* akan melalui proses invers dari proses dekomposisi, sehingga diperoleh citra rekonstruksi yang telah tereduksi *noisanya* (Tena, 2012).

2.7 Gamma Correction

Citra *reflectance* yang dihasilkan dengan proses *Retinex* terkadang mengalami *over enhance*. Hal ini dapat dijelaskan dengan fakta-fakta berikut:

- Sistem visual manusia biasanya lebih suka beberapa pencahayaan di dalam citra;
- Penghilangan seluruh pencahayaan menampakkan noise yang mungkin ada pada bagian gelap dari citra asli.

Dalam hal ini *reconstructed illumination* ditambahkan kembali ke citra *reconstructed reflectance* dengan menghitung citra *illumination* $L = \exp(l)$ dari intensitas citra $S = \exp(s)$ dan *citra reflectance* $R = S/L$. Kemudian citra

illumination L dinaikkan dengan operasi *Gamma Correction* dengan parameter bebas γ yang menghasilkan citra *illumination* baru L' dan mengalikannya dengan R yang memberikan citra *output* $S' = L' \cdot R$. *Gamma Correction* ditulis seperti pada persamaan (2.16).

$$L' = W \cdot \left[\frac{L}{W} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (2.16)$$

dimana W adalah nilai putih (*white*) = 255 untuk citra 8 bit. Hasil akhir S' seperti pada persamaan (2.17).

$$S' = L' \cdot R = W \frac{\left[\frac{L}{W} \right]^{\frac{1}{\gamma}}}{L} S = \frac{S}{\left[\frac{L}{W} \right]^{1-\frac{1}{\gamma}}} \quad (2.17)$$

untuk $\gamma = 1$, semua pencahayaan ditambahkan kembali, karena $S' = S$. Untuk $\gamma = \infty$, tidak ada pencahayaan yang dikembalikan dan didapatkan $S' = R \cdot W$ yang merupakan citra *reflectance* yang sama R , seperti yang dihasilkan dari *Retinex* asli, diregangkan pada interval $[0, W]$. Kasus selanjutnya dapat juga dianggap sebagai penambahan konstanta maksimum *illumination* W ke citra *reflectance* R (Kimmel, dkk, 2003).

2.8 Mean Square Error

Mean square error (MSE) adalah nilai *error* kuadrat rata-rata antara citra asli dengan citra hasil manipulasi. MSE merupakan tolakukur analisis kuantitatif yang digunakan untuk mengukur kualitas sebuah citra hasil dari sebuah metode yang digunakan. MSE dituliskan seperti pada persamaan (2.18).

$$MSE = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (I'(x,y) - I(x,y))^2}{m \cdot n} \quad (2.18)$$

dimana x dan y adalah koordinat dari gambar, m dan n adalah dimensi dari gambar, I' adalah citra hasil manipulasi dan I adalah citra asli.

2.9 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Tingkat keberhasilan suatu metode perbaikan kualitas citra dapat dihitung menggunakan persamaan PSNR (dinyatakan dalam satuan dB). PSNR berfungsi untuk mengukur kualitas sinyal antara sinyal asli dan sinyal hasil *denoising*. PSNR sangat berkaitan dengan *Mean Square Error* (MSE), dan didefinisikan seperti pada persamaan (2.19).

$$PSNR = 10 \cdot 10 \log \frac{(L-1)^2}{MSE} \quad (2.19)$$

dimana L adalah derajat keabuan citra. Nilai PSNR yang rendah mengindikasikan kualitas yang rendah. Sedangkan nilai PSNR yang tinggi mengindikasikan kualitas yang tinggi atau dapat dikatakan perbaikan citra berhasil (Cheddad, dkk, 2010).

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini, akan dibahas mengenai data penelitian yang digunakan dan langkah-langkah penelitian yang dilakukan.

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data citra berwarna dengan kedalaman 8 *bit*. Sampel citra tersebut terdiri atas berbagai macam citra dengan variasi objek. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diambil dari:

<http://favim.com/image/4391105/>

<http://favim.com/image/5135022/>

<http://favim.com/image/5125249/>

<http://favim.com/image/5130761/>

<http://favim.com/image/5174427/>

3.2 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini, secara sistematis sebagai berikut:

a. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan dan mempelajari berbagai teori penunjang penelitian. Teori yang dipelajari meliputi algoritma *Discrete Wavelet Transform*, *Retinex* dan teori penunjang lainnya. Studi literatur dilakukan sebagai pedoman penelitian baik pengaplikasian dan analisis yang akan dilakukan. Selain itu, studi literatur juga bertujuan agar lebih memahami teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini.

b. Pengambilan sampel

Pengambilan sampel merupakan langkah untuk pengumpulan beberapa contoh citra yang akan digunakan dalam penelitian. Citra yang diambil harus memenuhi lima kriteria, yaitu: sangat gelap, gelap, sedang, terang dan sangat terang.

c. Penerapan metode untuk perbaikan citra

1) Langkah-langkah metode *Discrete Wavelet Transform* untuk memperbaiki kualitas citra sebagai berikut:

- a) Memasukkan citra yang akan diperbaiki.
- b) Mendekomposisi citra, menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform*. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan keluarga *wavelet Haar*. Koefisien *highpass filter* pada proses ini adalah $[-0,7 \ 0,7]$. Sedangkan, koefisien *lowpass filter* pada proses ini adalah $[0,7 \ 0,7]$.
- c) Lakukan *thresholding* pada empat bagian sinyal menggunakan persamaan (2.15) atau persamaan (2.16). Selanjutnya, dibandingkan empat bagian sinyal tersebut dan dicari nilai maksimum di setiap *pixel*-nya.
- d) Lakukan rekonstruksi dengan menggunakan invers dari metode *Discrete Wavelet Transform*.

2) Langkah-langkah metode *Retinex* dan *Gamma Corection* untuk memperbaiki kualitas citra sebagai berikut:

- a) Masukkan citra yang akan diperbaiki dan parameter α, β, γ yang digunakan.
- b) Tentukan p batas iterasi, kemudian lakukan *Gaussian Smoothing* dan pengecilan dengan rasio 2 : 1 untuk membangun *Gaussian Pyramid*.
- c) Lakukan iterasi utama untuk layer resolusi ke- k dimulai dari $k = p$ sampai $k = 1$.
- d) Lakukan iterasi j dimulai dari $j = 1$ sampai $j = k$ berdasarkan persamaan (2.4) sampai persamaan (2.10).
- e) Perbarui *resolution layer* selanjutnya dengan memperbesar $l_{j=k}$ menggunakan rasio 2 : 1 menjadi l_0 untuk iterasi selanjutnya.
- f) Setelah didapatkan $l_{k=1}$, selanjutnya dilakukan proses *Gamma Correction*, berdasarkan persamaan (2.15) dengan parameter γ yang telah ditentukan.
- g)

d. Pembuatan program

Tahap pembuatan program ini meliputi pendesainan sistem perbaikan citra dan pembuatan aplikasi. Gambaran desain sistem perbaikan citra dapat dilihat pada Gambar 3.2, dimana citra yang dimasukkan akan diproses dengan metode *Discrete Wavelet Transform* dan dilanjutkan dengan pemrosesan oleh metode *Retinex*. Kemudian, hasil dari proses tersebut akan diproses lagi menggunakan *Gamma Correction*. Penulis juga akan memproses citra dengan metode *Discrete Wavelet Transform* dan *Retinex* secara terpisah. Dua buah citra yang dihasilkan akan dibandingkan dengan citra hasil pada proses yang pertama. Setelah pendesainan sistem perbaikan citra selesai, dilanjutkan dengan pembuatan program yang dikerjakan menggunakan GUIDE (*Graphic User Interface Designer*) yang disediakan pada MATLAB. Desain program yang sudah jadi kemudian di-*compile* ke bentuk *standalone application*.

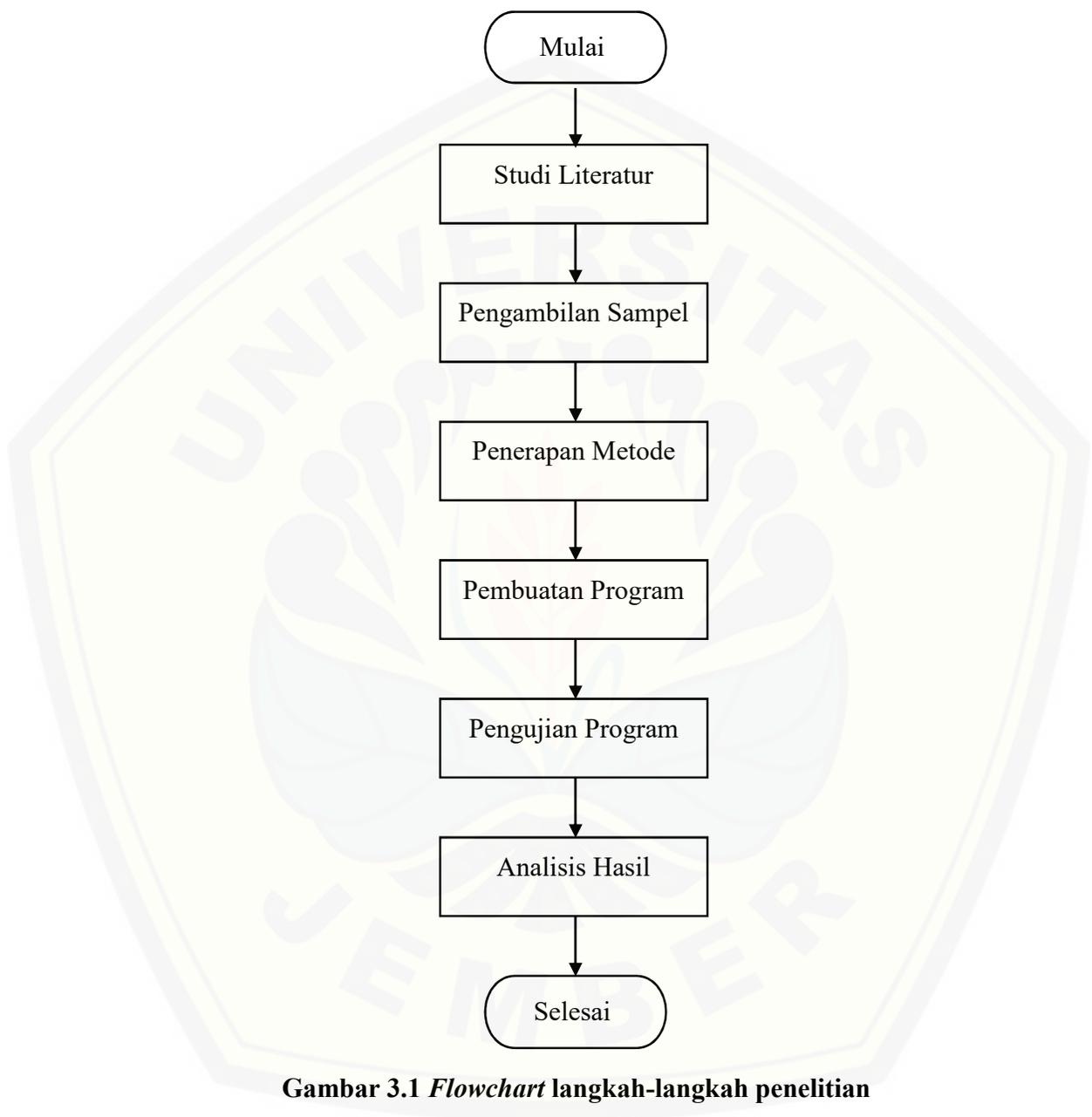
e. Pengujian Program

Pada tahap ini, program yang telah dibuat akan diujikan pada sampel-sampel citra yang telah dikumpulkan.

f. Analisis Hasil

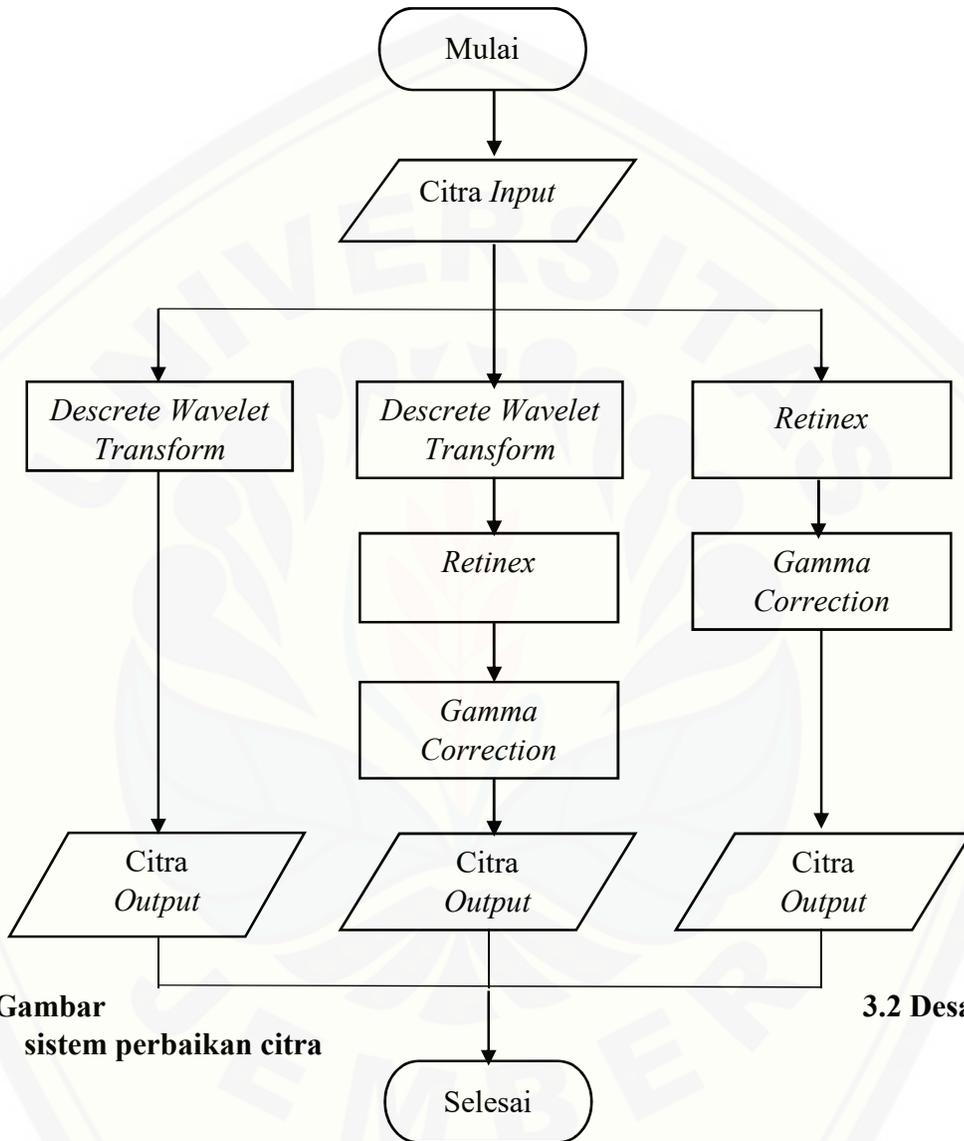
Pada tahap ini, citra hasil perbaikan dari sistem *Discrete Wavelet Transform* dengan *Retinex* akan dibandingkan dengan citra hasil perbaikan dari sistem *Retinex* dan sistem *Discrete Wavelet Transform* menggunakan metode *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), dimana dalam menghitung PSNR masing-masing citra hasil perbaikan dibandingkan dengan citra asli.

Langkah-langkah penelitian dalam diagram alur dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* langkah-langkah penelitian

Desain sistem perbaikan citra yang akan digunakan dalam program seperti pada Gambar 3.2.



Gambar sistem perbaikan citra

3.2 Desain

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal di bawah ini:

- a. Level dekomposisi pada metode *Discrete Wavelet Transform* berpengaruh pada nilai PSNR. Semakin tinggi nilai PSNR, semakin baik perbaikan citranya dan *noise* tereduksi dengan maksimal. Metode *Discrete Wavelete Transform* sangat baik dalam memperbaiki citra yang sangat gelap.
- b. Parameter α dan β pada metode *Retinex* tidak berpengaruh pada nilai PSNR. Secara visual, jika nilai $\alpha > \beta$, menghasilkan citra yang tajam, dan jika nilai $\alpha < \beta$ menghasilkan citra yang sedikit memudar warna aslinya. Parameter γ pada metode *Gamma Correction* berpengaruh pada pencahayaan yang ada di dalam citra. Nilai γ yang baik berkisar antara 1,1 sampai dengan 1,5, karena menghasilkan citra yang baik secara visual dan menghasilkan nilai PSNR yang maksimal.
- c. Berdasarkan PSNR metode DWT-*Retinex* lebih baik dibandingkan dengan metode *Retinex*-DWT. *Running time* dari keduanya hampir sama, akan tetapi masih lebih baik metode *Retinex*-DWT dibandingkan dengan DWT-*Retinex*. Dilihat secara visual, metode DWT-*Retinex* menghasilkam citra yang baik warnanya, sedangkan metode *Retinex*-DWT menghasilkan citra yang kurang tajam.

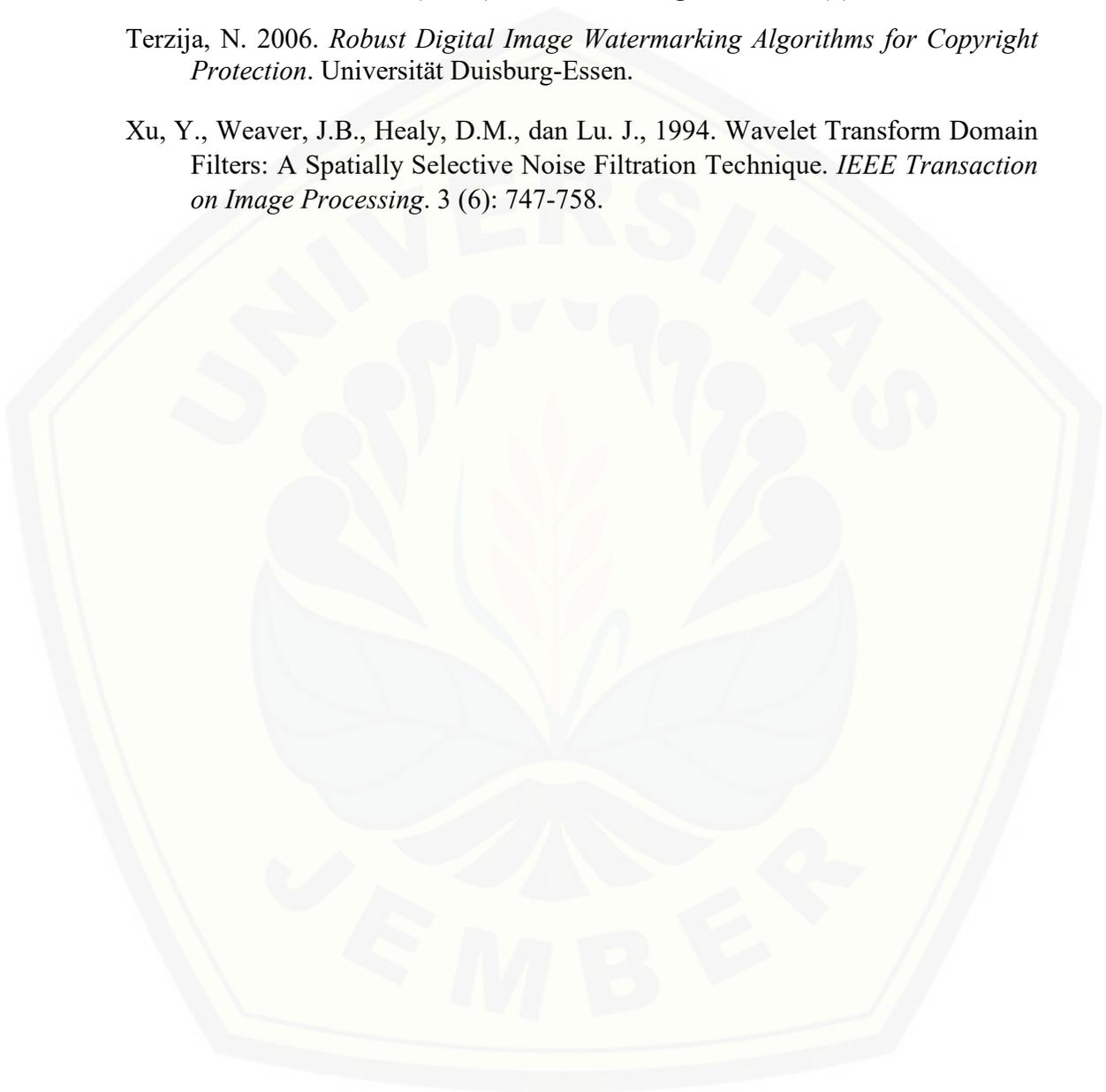
5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, penulis menyarankan kepada peneliti lain untuk meneliti lebih lanjut tentang metode DWT-*Retinex* dalam perbaikan citra dengan menggunakan keluarga *Wavelet* lainnya, misalkan *Daubechies*, *Symlets*, *Coiflets*, *Biorthogonal*, *Reverse Biorthogonal* dan *Discrete Meyer*. Selain itu penulis juga menyarankan untuk meng-*hybrid* metode DWT-*Retinex* dengan metode perbaikan citra yang lain untuk memberikan hasil perbaikan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adipranata, R., Balangan, C.G. dan Epatha, L. 2013. *Perbaikan Citra Digital dengan Menggunakan Metode Retinex*. Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- Cheddad, A., Condell, J., Curran, K. Dan Mc Keviit, P. 2010. Digital Image Steganography : Survey and Analysis of Current Methods. *Signal Processing*. 90 (3): 727-752
- Dinata, S. 2014. *Implementasi Metode Multiscale Retinex untuk Image Enhancement*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Medan: Jurusan Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara.
- Iswari, A.T., Utami, P.R., Rachmansyah, dan Widodo, S., 2011. Implementasi Algoritma Wavelet Haar Untuk Menghilangkan Noise Pada Citra Digital. *Proceeding Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 1*. 24 Oktober 2011. *Jurusan Teknik Elektro UNSYIAH dan Politeknik Aceh*: 31-36.
- Kimmel, R., Elad, M., Shaked, D., Keshet, R. dan Sobel, I. 2003. A Variational Framework for Retinex. *International Journal of Computer Vision*. 52 (1): 7-23.
- Munir, R., 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung: Informatika.
- Polikar, R. 1998. *Multi Resolution Analysis: The Discrete Wavelet Transform*. Dirham Computation Center Iowa State University.
- Prijono, A. dan Wijaya, M.C. 2007. *Pengolahan Citra Digital Menggunakan MATLAB*. Bandung: Informatika.
- Putra, D. 2010. *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Saifudin, A. 2016. *Perbaikan Citra dengan Metode Retinex dan Fuzzy If-Then Rules*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember.
- Sripathi, D. 2003. *Efficient Implementations of Discrete Wavelet Transform using FPGAs*. Florida State University.

- Sutarno, S. 2010. Analisis Perbandingan Transformasi Wavelet pada Pengenalan Citra Wajah. *Jurnal Generic*. 5 (2): 15-21.
- Tena, S. 2012. Perbaikan Kualitas Citra Berwarna dengan Metode Discrete Wavelet Transform (DWT). *Jurnal Teknologi Elektro*. 1 (1): 230-236.
- Terzija, N. 2006. *Robust Digital Image Watermarking Algorithms for Copyright Protection*. Universität Duisburg-Essen.
- Xu, Y., Weaver, J.B., Healy, D.M., dan Lu. J., 1994. Wavelet Transform Domain Filters: A Spatially Selective Noise Filtration Technique. *IEEE Transaction on Image Processing*. 3 (6): 747-758.



LAMPIRAN

Lampiran A. Tabel-tabel Hasil Penelitian

Tabel A.1 Hasil DWT pada image1.jpg

Level	Citra Hasil DWT	PSNR
1		43,3554 dB
2		43,8776 dB
3		43,9236 dB
4		43,8706 dB
5		43,863 dB
6		43,8548 dB

7		43,8563 dB
8		43,8542 dB

Tabel A.2 Hasil DWT pada image2.jpg

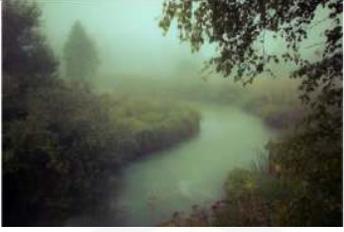
Level	Citra Hasil DWT	PSNR
1		42,5604 dB
2		41,0535 dB

3		40,9791 dB
4		40,8815 dB
5		40,9012 dB

6		40,8995 dB
7		40,8991 dB
8		40,8986 dB

Tabel A.3 Hasil DWT pada image3.jpg

Level	Citra Hasil DWT	PSNR
1		42,9889 dB
2		42,2408 dB
3		42,1486 dB
4		42,0508 dB
5		42,0639 dB
6		42,0535 dB

7		42,0516 dB
8		42,0511 dB

Tabel A.4 Hasil DWT pada image4.jpg

Level	Citra Hasil DWT	PSNR
1		42,5377 dB
2		41,0235 dB

3		40,9326 dB
4		40,8324 dB
5		40,8467 dB

6		40,8431 dB
7		40,8457 dB
8		40,8454 dB

Tabel A.5 Hasil DWT pada image5.jpg

Level	Citra Hasil DWT	PSNR
1		42,4889 dB
2		40,9638 dB
3		40,8268 dB

4		40,6735 dB
5		40,7081 dB
6		40,7080 dB

7		40,6968 dB
8		40,6942 dB

Tabel A.6 Pengaruh parameter α dengan $\beta = 1$, dan $\gamma = 1,2$

Nilai α	Citra Hasil Retinex	PSNR
0,0001		

0,01		24,4159 dB
1		
10		

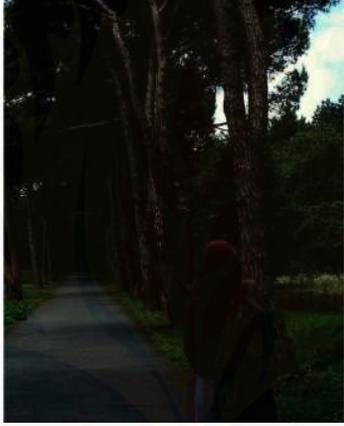
20		24,4159 dB
----	---	------------

Tabel A.7 Pengaruh parameter β dengan $\alpha = 1$, dan $\gamma = 1,2$

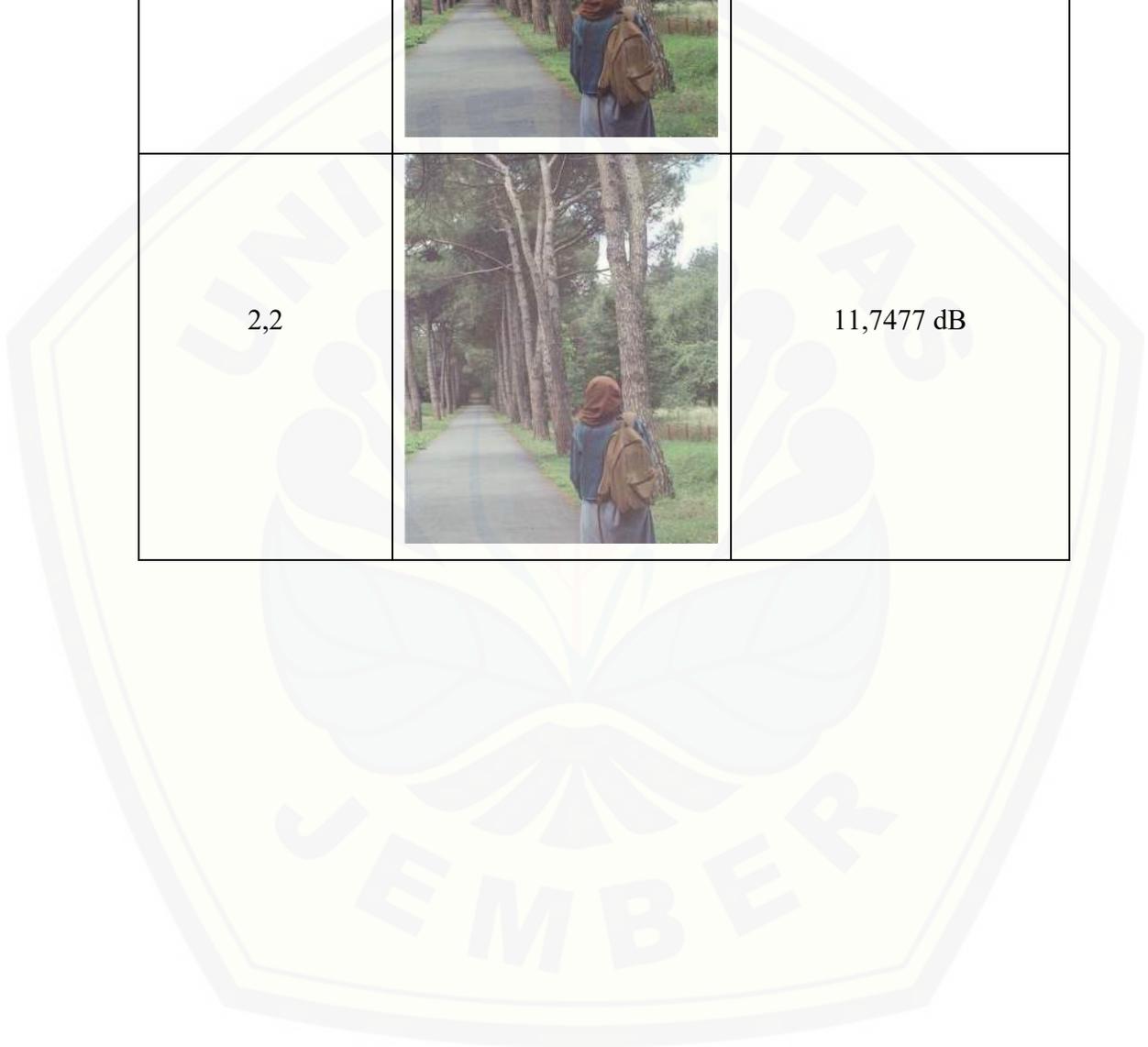
Nilai β	Citra Hasil Retinex	PSNR
0,0001		24,4159 dB
0,01		

1		24,4159 dB
10		
20		

Tabel A.8 Pengaruh parameter γ dengan $\alpha = 1$, dan $\beta = 1$

Nilai γ	Citra Hasil Retinex	PSNR
0		8,55467 dB
0,3		11,1836 dB
1,1		30,0621 dB

1,5		17,3956 dB
2,2		11,7477 dB



Tabel A.9 Hasil Program pada citra image1.jpg

Jenis Citra	Citra
Citra Asli	
Citra Hasil <i>Discrete Wavelet Transform</i> (Lv 1)	 <p data-bbox="805 1241 1081 1278" style="text-align: center;"><i>PSNR = 43,3554 dB</i></p>
Citra Hasil <i>Retinex</i> $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,0001$; $\gamma = 1,5$	 <p data-bbox="805 1639 1081 1677" style="text-align: center;"><i>PSNR = 18,5237 dB</i></p>
Citra Hasil DWT- <i>Retinex</i>	 <p data-bbox="805 2038 1081 2075" style="text-align: center;"><i>PSNR = 18,8932 dB</i></p>

<p>Citra Hasil <i>Retinex-</i> DWT</p>	 <p><i>PSNR</i> = 18,8714 dB</p>
--	--

Tabel A.10 Hasil Program pada citra image2.jpg

Jenis Citra	Citra
<p>Citra Asli</p>	
<p>Citra Hasil <i>Discrete</i> <i>Wavelet</i> <i>Transform</i> (Lv 1)</p>	 <p><i>PSNR</i> = 42,5604 dB</p>

<p>Citra Hasil <i>Retinex</i> $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,0001$; $\gamma = 1,5$</p>	 <p><i>PSNR = 17,212 dB</i></p>
<p>Citra Hasil <i>DWT-Retinex</i></p>	 <p><i>PSNR = 17,5365 dB</i></p>
<p>Citra Hasil <i>Retinex-DWT</i></p>	 <p><i>PSNR = 17,5319 dB</i></p>

Tabel A.11 Hasil Program pada citra image3.jpg

Jenis Citra	Citra
Citra Asli	
Citra Hasil <i>Discrete Wavelet Transform</i> (Lv 1)	 <p data-bbox="821 1255 1097 1290"><i>PSNR = 42,9889 dB</i></p>
Citra Hasil <i>Retinex</i> $\alpha = 0,1 ;$ $\beta = 0,0001 ;$ $\gamma = 1,5$	 <p data-bbox="821 1649 1097 1684"><i>PSNR = 18,1994 dB</i></p>
Citra Hasil <i>DWT-Retinex</i>	 <p data-bbox="821 2048 1097 2083"><i>PSNR = 18,4822 dB</i></p>

<p>Citra Hasil <i>Retinex-DWT</i></p>	 <p><i>PSNR = 18,4596 dB</i></p>
---	--

Tabel A.12 Hasil Program pada citra image4.jpg

Jenis Citra	Citra
<p>Citra Asli</p>	
<p>Citra Hasil <i>Discrete Wavelet Transform (Lv 1)</i></p>	 <p><i>PSNR = 42,5377 dB</i></p>

<p>Citra Hasil <i>Retinex</i> $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,0001$; $\gamma = 1,5$</p>	 <p><i>PSNR = 17,3956 dB</i></p>
<p>Citra Hasil <i>DWT-Retinex</i></p>	 <p><i>PSNR = 17,7354 dB</i></p>
<p>Citra Hasil <i>Retinex-DWT</i></p>	 <p><i>PSNR = 17,7178 dB</i></p>

Tabel A.13 Hasil Program pada citra image5.jpg

Jenis Citra	Citra
Citra Asli	
Citra Hasil <i>Discrete Wavelet Transform</i> (Lv 1)	 <p data-bbox="808 1422 1084 1460"><i>PSNR = 42,4889 dB</i></p>
Citra Hasil <i>Retinex</i> $\alpha = 0,1 ;$ $\beta = 0,0001 ;$ $\gamma = 1,5$	 <p data-bbox="808 1913 1084 1951"><i>PSNR = 19,5378 dB</i></p>

<p>Citra Hasil <i>DWT-Retinex</i></p>	 <p><i>PSNR = 19,9035 dB</i></p>
<p>Citra Hasil <i>Retinex-DWT</i></p>	 <p><i>PSNR = 19,9444 dB</i></p>

Lampiran B. *Running Time* Program

Citra	Ukuran Citra (<i>pixel</i>)	<i>Running time</i> (detik) DWT
image1	610 × 356	0,442
Image2	610 × 732	0,616
Image3	610 × 406	0,400
Image4	500 × 621	0,505
Image5	610 × 761	0,621

Citra	Ukuran Citra (<i>pixel</i>)	<i>Running time</i> (detik) <i>Retinex</i>
image1	610 × 356	1,260
Image2	610 × 732	1,513
Image3	610 × 406	1,083
Image4	500 × 621	1,223
Image5	610 × 761	1,534

Citra	Ukuran Citra (<i>pixel</i>)	<i>Running time</i> (detik)	
		DWT- <i>Retinex</i>	<i>Retinex</i> -DWT
image1	610 × 356	1,478	1,477
Image2	610 × 732	2,124	2,137
Image3	610 × 406	1,547	1,551
Image4	500 × 621	1,750	1,739
Image5	610 × 761	2,206	2,182

Lampiran C. *Script Program**Script Program metode Discrete Wavelet Transform*

```

% X: matrix of data
% XDEN: matrix of denoised data
% cfsDEN: decomposition vector (see WAVEDEC2)
% dimCFS: corresponding bookkeeping matrix

% Analysis parameters.
e2=get(handles.radiobutton14,'Value');
if e2==1
    data=getimage(handles.axes1);
elseif e2==0
    data=getimage(handles.axes3);
end
X = data;
wname = 'haar';
a1 = get(handles.edit3,'String');
level = str2num(a1);

% Denoising parameters.
sorth = 's'; % Specified soft or hard thresholding
if level==1 , thrSettings = [...
    4.648155078417101 ; ...
    4.648155078417101 ; ...
    4.648155078417101 ...
];
elseif level==2 , thrSettings = [...
    4.648155078417101    4.339672442797371 ; ...
    4.648155078417101    4.339672442797371 ; ...
    4.648155078417101    4.339672442797371 ...
];
elseif level==3 , thrSettings = [...
    4.648155078417101    4.339672442797371
    4.007513966106060 ; ...
    4.648155078417101    4.339672442797371
    4.007513966106060 ; ...
    4.648155078417101    4.339672442797371
    4.007513966106060 ...
];
elseif level==4 , thrSettings = [...
    4.648155078417101    4.339672442797371
    4.007513966106060    3.645213226451279 ; ...
    4.648155078417101    4.339672442797371
    4.007513966106060    3.645213226451279 ; ...
    4.648155078417101    4.339672442797371
    4.007513966106060    3.645213226451279 ...

```

```
];
elseif level==5 , thrSettings = [...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712 ; ...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712 ; ...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      ...
];
elseif level==6 , thrSettings = [...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181 ; ...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181 ; ...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181      ...
];
elseif level==7 , thrSettings = [...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181
2.229307807274715 ; ...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181
2.229307807274715 ; ...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181
2.229307807274715      ...
];
elseif level==8 , thrSettings = [...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181
2.229307807274715      1.482303807367511 ; ...
4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181
2.229307807274715      1.482303807367511 ; ...
```

```

4.648155078417101      4.339672442797371
4.007513966106060      3.645213226451279
3.242682646213712      2.782517209617181
2.229307807274715      1.482303807367511    ...
];
end
roundFLAG = true;

% Denoise using WDENCMP.
%-----
[coefs,sizes] = wavedec2(X,level,wname);
[XDEN,cfsDEN,dimCFS] = wdencmp('lvd',coefs,sizes, ...
    wname,level,thrSettings,sorh);
if roundFLAG , XDEN = round(XDEN); end
if isequal(class(X),'uint8') , XDEN = uint8(XDEN); end

```

Script Program Metode Retinex

```

%Gaussian Pyramid
s1{1}=double(data);
kPYR=[1/16 1/8 1/16;1/8 1/4 1/8;1/16 1/8 1/16];
k=16;
for h=2:k;
    s1{h}=imresize(imfilter(s1{h-1},kPYR,'conv'),0.5);
end
%Retinex
l{1}=s1{k};
aa=1;
for i=k:-1:1
    ker=[0 1 0;1 -4 0;0 1 0]*2^(-2*(k-1));
    GB{i}=imfilter(s1{i},ker,'conv');
    for j=1:i
        GA{i,j}=imfilter(l{aa},ker,'conv');
        G{i,j}=GA{i,j}+alp*(l{aa}-s1{i})-bet*(GA{i,j}-
            GB{i});
        dG{i,j}=imfilter(G{i,j},ker,'conv');
        muA(1)=sum(sum(G{i,j}(:, :, 1).^2));
        muA(2)=sum(sum(G{i,j}(:, :, 2).^2));
        muA(3)=sum(sum(G{i,j}(:, :, 3).^2));
        muB(1)=sum(sum(G{i,j}(:, :, 1).*dG{i,j}(:, :, 1)));
        muB(2)=sum(sum(G{i,j}(:, :, 2).*dG{i,j}(:, :, 2)));
        muB(3)=sum(sum(G{i,j}(:, :, 3).*dG{i,j}(:, :, 3)));
        muNSD(1)=muA(1)/(alp*muA(1)+(1+bet)*muB(1));
        muNSD(2)=muA(2)/(alp*muA(2)+(1+bet)*muB(2));
        muNSD(3)=muA(3)/(alp*muA(3)+(1+bet)*muB(3));
        l{aa}(:, :, 1)=max(l{aa}(:, :, 1)-
            muNSD(1)*G{i,j}(:, :, 1),s1{i}(:, :, 1));
    end
end

```

```

        l{aa}(:, :, 2) = max(l{aa}(:, :, 2) -
            muNSD(2) * G{i, j}(:, :, 2), s1{i}(:, :, 2));
        l{aa}(:, :, 3) = max(l{aa}(:, :, 3) -
            muNSD(3) * G{i, j}(:, :, 3), s1{i}(:, :, 3));
    end
    if i > 1
        aa = aa + 1;
        l{aa} = imresize(l{aa-1}, size(s1{i-1}(:, :, 1)));
    end
end
%Gamma Correction
ss = uint8(double(data) ./ ((l{aa}/255) .^(1-1/gam)));
%show image
guidata(hObject, handles);
axes(handles.axes3);
imshow(ss);
set(handles.axes3, 'UserData', ss);
axes(handles.axes2);
imshow(XDEN);

```

Script Perhitungan PSNR

```

XDEN = getimage(handles.axes2);
I1 = double(handles.data);
I2 = double(XDEN);
[psnr, mse] = measerr(I1, I2);
set(handles.edit1, 'String', psnr);

I1 = double(handles.data);
I2 = double(getimage(handles.axes3));
[psnr, mse] = measerr(I1, I2);
set(handles.edit2, 'String', psnr);

```