

**PENAJAMAN CITRA MEDIS TUMOR TULANG
MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET
DAUBECHIES 4**

SKRIPSI

oleh :
RATNA MUFIDAH
0510960050-96



**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
2012**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**PENAJAMAN CITRA MEDIS TUMOR TULANG
MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET
DAUBECHIES 4**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
dalam bidang Ilmu Komputer

oleh :

RATNA MUFIDAH

0510960050-96



**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

2012

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENAJAMAN CITRA MEDIS TUMOR TULANG
MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET
DAUBECHIES 4**

oleh:
RATNA MUFIDAH
0510960050 – 96

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 5 Juli 2012
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana dalam bidang Ilmu Komputer**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Candra Dewi, S.Kom., M.Sc.
NIP. 197711142003122001

Edy Santoso, S.Si., M.Kom.
NIP. 197404142003121004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc.
NIP. 196709071992031001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ratna Mufidah
NIM : 0510960050-96
Program Studi : Ilmu Komputer
Penulis Skripsi berjudul : Penajaman Citra Medis Tumor Tulang Menggunakan Transformasi Wavelet Daubechies 4

Dengan ini menyatakan bahwa:

- 1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di Daftar Pustaka dalam Skripsi ini.**
- 2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung resiko yang akan saya terima.**

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 5 Juli 2012
Yang Menyatakan,

Ratna Mufidah
NIM. 0510960050-96

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENAJAMAN CITRA MEDIS TUMOR TULANG MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET DAUBECHIES 4

ABSTRAK

Citra medis merupakan citra yang digunakan dalam bidang kedokteran. Citra medis dapat dihasilkan dengan memanfaatkan pencitraan menggunakan sinar X. Kasus tumor tulang merupakan salah satu kasus yang dapat diketahui dari proses pencitraan menggunakan sinar X. Namun, citra medis yang dihasilkan dari penyinaran sinar X akan menyebabkan terjadinya pengaburan kelabu secara menyeluruh pada film yang diakibatkan oleh sifat dari sinar X itu sendiri. Sehingga akan terjadi kesulitan pada proses pengambilan informasi. Untuk itu perlu dilakukan proses perbaikan, dimana proses perbaikan citra yang bisa diterapkan adalah penajaman.

Pada penelitian ini dilakukan proses penajaman citra medis tumor tulang menggunakan transformasi Wavelet Daubechies 4. Bentuk matriks transformasi Wavelet Daubechies 4 dapat diterapkan pada matriks citra yang akan diolah. Proses Wavelet Daubechies 4 meliputi dekomposisi terhadap baris dan kolom citra. Kemudian sebagai usaha penajaman, diterapkan pula fungsi *piecewise linear* pada ranah frekuensi. Hasil operasi penajaman tersebut kemudian direkonstruksi menggunakan Invers Wavelet Daubechies 4. Metode ini diterapkan dengan menggunakan variasi level dekomposisi dan nilai parameter penajaman.

Hasil uji coba menunjukkan bahwa berdasarkan hasil pengamatan visual, hasil penajaman terbaik terdapat pada citra medis tumor tulang yang dikenai nilai parameter penajaman sebesar 0,5. Sedangkan berdasarkan nilai RMSE dan PSNR, dapat diketahui bahwa nilai parameter penajaman 0,5 memiliki probabilitas paling tinggi untuk melakukan proses penajaman. Dan nilai parameter penajaman 25 memiliki probabilitas paling rendah untuk melakukan proses penajaman. Sedangkan untuk citra dengan hasil penajaman terbaik adalah citra uji OO3lit.bmp yang dikenai nilai parameter penajaman sebesar 0,5 pada dekomposisi level 1 dan 2.

Kata kunci: Wavelet Daubechies 4, citra medis, tumor tulang, *piecewise linear*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



THE SHARPENING OF BONE TUMOR MEDICAL IMAGE USING DAUBECHIES WAVELET 4 TRANSFORMATION

ABSTRACT

Medical image is an image used in medical field. Medical image can be generated by X-ray imaging. Bone tumor is one of the cases that can be identified by X-ray imaging. However, medical image produced from X-ray radiation will have gray blur in all parts of the film which is caused by the X-ray itself. Therefore, the information retrieval process from the generated medical image will be difficult. That is why image enhancement is needed. Image enhancement process that can be applied on bone tumor medical image is image sharpening.

This research uses Daubechies Wavelet 4 transformation for sharpening the bone tumor medical image. Daubechies Wavelet 4 transformation matrix can be applied on the processed image matrix. Daubechies Wavelet 4 process includes decomposition on image rows and columns. Then, as the part of image sharpening effort, piecewise linear function on frequency domain also applied. The result of this sharpening operation then is reconstructed using inverse of Daubechies Wavelet 4. The method is applied on varied decomposition levels and sharpening parameter values.

The testing result shows that based on visual observations, the best sharpening result occur on bone tumor medical image with sharpening parameter value of 0.5. Whereas based on RMSE and PSNR values, sharpening parameter value of 0.5 has the highest probability on sharpening process. On the other hand, the sharpening parameter value of 25 has the lowest probability. The best sharpening result occur on test image OO3lit.bmp with sharpening parameter value 0.5 on decomposition level 1 and 2.

Keywords: Daubechies Wavelet 4, medical image, bone tumor, piecewise linear.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “PENAJAMAN CITRA MEDIS TUMOR TULANG MENGGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET DAUBECHIES 4”. Skripsi ini disusun dan diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program studi Ilmu Komputer, jurusan Matematika, fakultas MIPA, universitas Brawijaya

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak bantuan yang diterima penulis dari berbagai pihak, baik berupa bimbingan, saran, maupun bantuan lainnya. Oleh karena itu, penulis dalam kesempatan ini menyampaikan terima kasih kepada:

1. Candra Dewi, S.Kom., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I atas waktu, bimbingan dan masukan yang telah diberikan
2. Edy Santoso, S.Si., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing II atas waktu, bimbingan dan masukan yang telah diberikan
3. Drs. Marji, MT., selaku Ketua Program Studi Ilmu Komputer, Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya Malang
4. Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya
5. Segenap bapak dan ibu dosen yang telah mendidik dan mengajarkan ilmunya kepada penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Ilmu Komputer, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya
6. Dokter Erna Furaidah, Sp.Rad., atas dukungan, masukan dan bantuan yang telah diberikan
7. Staf Tata Usaha Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya yang telah membantu dalam hal perijinan
8. Orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan bagi keberhasilan penulis
9. Adik penulis (Yuski Sudana) atas doa, dukungan dan bantuannya
10. Teman-teman dari tim Kilimanjaro (Dina, Fifin, Lusi, Pipit, Rini) atas doa dan bantuannya selama ini
11. Teman-teman dari tim Khansa dan MYLIFE atas doa dan dukungannya selama ini

12. Teman-teman mahasiswa Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu
13. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa masih terdapat ketidaksempurnaan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan selanjutnya. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik penulis sendiri maupun seluruh pembaca.

Malang, Juli 2012

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR PERSAMAAN	xxi
DAFTAR SOURCE CODE	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metodologi Penulisan.....	4
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi.....	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Citra	7
2.1.1 Citra Digital	8
2.2 Pencitraan Medis	9
2.2.1 Sinar X (X-Rays)	9
2.3 Tumor Tulang	12
2.3.1 <i>Osteosarcoma</i>	13
2.3.2 Pemeriksaan Radiologik Tumor Tulang	13
2.4 Transformasi Citra	14
2.4.1 Transformasi Wavelet	15
2.4.2 Transformasi Wavelet Daubechies 4	17
2.4.3 Dekomposisi dan Rekonstruksi	20
2.5 Operator Penajaman	21
2.6 Pengujian	22
2.4.3 <i>Peak Signal to Noise Ratio</i>	22

BAB III METODOLOGI DAN PERANCANGAN	25
3.1 Analisis Sistem	26
3.1.1 Deskripsi Umum Sistem	26
3.1.2 Batasan Sistem	27
3.2 Perancangan Sistem	27
3.2.1 Input Sistem	27
3.2.2 Transformasi Wavelet Daubechies 4 (db4)	29
3.2.3 Operasi Penajaman	34
3.2.4 Transformasi Balikan Wavelet Daubechies 4.....	36
3.3 Rancangan Uji Coba dan Evaluasi Hasil	43
3.4 Studi Kasus Implementasi Transformasi Wavelet Daubechies 4 (db4) dalam Data Sampel Citra Medis Tumor Tulang	44
3.4.1 Proses Input	44
3.4.2 Dekomposisi	44
3.4.3 Operasi Penajaman dan Rekonstruksi	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Lingkungan Sistem	51
4.1.1 Lingkungan Perangkat Keras	51
4.1.2 Lingkungan Perangkat Lunak	51
4.2 Implementasi Program	51
4.2.1 Struktur Data	51
4.2.2 Proses Input	52
4.2.3 Proses Pendefinisian <i>Filter</i> Wavelet Daubechies 4	57
4.2.4 Proses Dekomposisi	58
4.2.5 Proses Perkalian Matriks	59
4.2.6 Proses Pertukaran Baris dan Kolom	60
4.2.7 Proses Menggabungkan Matriks Parsial	62
4.2.8 Proses Penajaman (<i>Piecewise Linear Function</i>)	62
4.2.9 Proses Memisahkan Kembali Matriks Citra Menjadi Blok - Blok Matriks	64
4.2.10 Proses Rekonstruksi	65
4.2.11 Proses Pembalik Pertukaran Baris dan Kolom ...	67
4.2.12 Proses Lengkap	68
4.2.13 Proses Pembatasan	69
4.3 Implementasi Pengujian	69
4.4 Implementasi Antarmuka	70
4.5 Hasil Uji Coba	72
4.5.1 Hasil Pengolahan Citra secara Visual	73
4.5.2 Hasil Pengujian RMSE dan PSNR	79

4.5.2.1	Hasil Pengujian RMSE dan PSNR pada Dekomposisi Level 1.....	79
4.5.2.2	Hasil Pengujian RMSE dan PSNR pada Dekomposisi Level 2.....	80
4.5.2.3	Hasil Pengujian RMSE dan PSNR pada Dekomposisi Level 4.....	82
4.5.2.4	Hasil Pengujian RMSE dan PSNR pada Dekomposisi Level 8.....	83
4.5.2.5	Grafik Hasil Pengujian RMSE dan PSNR	84
4.6	Analisis Hasil Pengujian	89

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran	95

DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	99



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Rancangan Tabel Uji Coba	44
Tabel 3.2 Blok Citra Asli	44
Tabel 3.3 Matriks Transformasi Wavelet Daubechies 4	45
Tabel 3.4 Matriks Hasil Dekomposisi Baris Level 1	45
Tabel 3.5 Matriks Hasil Pertukaran Baris	46
Tabel 3.6 Matriks Hasil Dekomposisi Kolom Level 1	46
Tabel 3.7 Matriks Hasil Pertukaran Kolom	47
Tabel 3.8 Matriks Hasil Dekomposisi Level 2	47
Tabel 3.9 Matriks Hasil Operasi Penajaman pada Ranah Frekuensi dengan nilai $T = 38,700$, $K = 2$	48
Tabel 3.10 Matriks Transformasi Balikan Wavelet Daubechies 4	48
Tabel 3.11 Matriks Level Terdalam	49
Tabel 3.12 Matriks Rekonstruksi pada Level Terdalam (level 2)	49
Tabel 3.13 Matriks Transformasi Balikan Wavelet Daubechies Wavelet 4 Level Terluar	50
Tabel 3.14 Matriks Rekonstruksi Akhir	50
Tabel 4.1 Sampel Citra Hasil Uji Coba	74
Tabel 4.2 Hasil Uji RMSE dan PSNR Menggunakan Dekomposisi Level 1	79
Tabel 4.3 Hasil Uji RMSE dan PSNR Menggunakan Dekomposisi Level 2	81
Tabel 4.4 Hasil Uji RMSE dan PSNR Menggunakan Dekomposisi Level 4	82
Tabel 4.5 Hasil Uji RMSE dan PSNR Menggunakan Dekomposisi Level 8	83

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Citra Medis Tulang Hasil Radiologi dengan Sinar X	11
Gambar 2.2 Citra Medis Tumor Tulang Jenis <i>Osteosarcoma</i> ..	13
Gambar 2.3 Keluarga Wavelet (a)Haar, (b)Daubechies, (c)Coiflet, (d)Symlet, (e)Meyer, (f)Morlet, (g)Mexican Hat ..	16
Gambar 2.4 Bentuk Matriks Transformasi	18
Gambar 2.5 Bentuk Matriks Transformasi Balikn	19
Gambar 2.6 Bagan Dekomposisi	20
Gambar 2.7 Bagan Rekonstruksi	21
Gambar 3.1 Langkah – Langkah Penelitian	25
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Alur Sistem	26
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Pengecekan Ukuran Matriks Citra	28
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Proses Transformasi Wavelet Daubechies 4	29
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Proses Dekomposisi terhadap Baris ..	30
Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> Proses Pertukaran Baris	31
Gambar 3.7 <i>Flowchart</i> Proses Dekomposisi terhadap Kolom ..	32
Gambar 3.8 <i>Flowchart</i> Proses Pertukaran Kolom	33
Gambar 3.9 <i>Flowchart</i> Proses Operasi Penajaman	34
Gambar 3.10 <i>Flowchart</i> Penentuan Nilai <i>Threshold</i>	35
Gambar 3.11 <i>Flowchart</i> Proses Transformasi Balikn Wavelet Daubechies 4	37
Gambar 3.12 <i>Flowchart</i> Proses Rekonstruksi terhadap Kolom ..	38
Gambar 3.13 <i>Flowchart</i> Proses Pertukaran Kolom Balikn	39
Gambar 3.14 <i>Flowchart</i> Proses Rekonstruksi terhadap Baris ..	40
Gambar 3.15 <i>Flowchart</i> Proses Pertukaran Baris Balikn	41
Gambar 3.16 <i>Flowchart</i> Proses Pembatasan	42
Gambar 3.17 (a) <i>Flowchart</i> Proses RMSE dan (b) <i>Flowchart</i> Proses PSNR	43
Gambar 4.1 Tampilan <i>Form</i> Utama Aplikasi Penajaman	71
Gambar 4.2 Tampilan <i>Form Sharpening Process</i>	71
Gambar 4.3 Tampilan <i>Form Histogram</i>	72
Gambar 4.4 Tampilan <i>Form Analysis Report</i>	72
Gambar 4.5 (a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji TOLit.bmp dan (b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji TOLit.bmp ..	85

Gambar 4.6	(a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji OO3lit.bmp dan (b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji OO3lit.bmp	86
Gambar 4.7	(a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji OO2lit.bmp dan (b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji OO2lit.bmp	87
Gambar 4.8	(a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji OO1lit.bmp dan (b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji OO1lit.bmp	88
Gambar 4.9	(a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji MOLit.bmp dan (b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji MOLit.bmp	89



DAFTAR PERSAMAAN

	Halaman
Persamaan 2.1 <i>Mother Wavelet</i>	16
Persamaan 2.2 Fungsi Penskalaan (<i>Scaling Function</i>)	16
Persamaan 2.3 Nilai Fungsi Penskalaan Wavelet Daubechies 4	17
Persamaan 2.4 Koefisien Fungsi Wavelet Daubechies 4	18
Persamaan 2.5 Fungsi Penskalaan Wavelet Daubechies 4 ...	18
Persamaan 2.6 Fungsi Wavelet Daubechies 4	18
Persamaan 2.7 Fungsi <i>Peicewise Linear</i>	21
Persamaan 2.8 Rumus Memperoleh Nilai <i>Threshold</i>	22
Persamaan 2.9 Persamaan Varian	22
Persamaan 2.10 Persamaan <i>MSE</i>	23
Persamaan 2.11 Persamaan <i>PSNR</i>	23



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR SOURCE CODE

	Halaman
<i>Source code 4.1</i>	Potongan Prosedur OpenPicture 53
<i>Source code 4.2</i>	Prosedur RGBTripleToY 55
<i>Source code 4.3</i>	Prosedur ArrImgInit 55
<i>Source code 4.4</i>	Pendeklarasian Nilai Awal Koefisien Wavelet Daubechies 4 57
<i>Source code 4.5</i>	Fungsi CoefCreate 57
<i>Source code 4.6</i>	Fungsi Decomposition 58
<i>Source code 4.7</i>	Fungsi ArrMultiple 60
<i>Source code 4.8</i>	Fungsi RowSwap 60
<i>Source code 4.9</i>	Fungsi ColSwap 61
<i>Source code 4.10</i>	Fungsi PartialToNormal 62
<i>Source code 4.11</i>	Fungsi ThresSelect 63
<i>Source code 4.12</i>	Fungsi ThresCalc 63
<i>Source code 4.13</i>	Fungsi NormalToPartial 64
<i>Source code 4.14</i>	Fungsi Reconstruction 65
<i>Source code 4.15</i>	Fungsi RowRevSwap 67
<i>Source code 4.16</i>	Fungsi ColRevSwap 67
<i>Source code 4.17</i>	Prosedur SharpProc 68
<i>Source code 4.18</i>	Prosedur ByteRange 69
<i>Source code 4.19</i>	Prosedur getRMSE 69
<i>Source code 4.20</i>	Prosedur getPSNR 70

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Citra adalah gambar pada bidang dua dimensi dimana merupakan salah satu komponen multimedia yang memegang peranan sangat penting sebagai bentuk informasi visual (Munir, 2004).

Sebagai bentuk informasi visual, citra cukup diandalkan dalam bidang kedokteran untuk mempelajari hubungan struktur anatomi fungsi biologis dan mendeteksi serta menangani (merawat, mengobati) penyakit dan trauma yang mengganggu atau mengancam proses hidup normal makhluk hidup. Citra yang digunakan dalam bidang kedokteran dikenal dengan citra medis (*medical image*).

Citra medis utamanya banyak digunakan untuk membantu proses pendeteksian penyakit dan trauma yang terdapat pada organ dalam manusia. Salah satu organ yang seringkali menggunakan citra medis untuk membantu dalam mendeteksi penyakit dan trauma yang terjadi adalah tulang.

Tulang sebagai penopang tubuh manusia termasuk salah satu bagian tubuh yang sulit divisualisasikan jika diduga bermasalah. Hal tersebut dikarenakan keberadaan tulang dalam tubuh manusia (di balik kulit dan daging) sulit dilihat. Untuk mengetahui kondisi tulang, secara tradisional, minimal harus dilakukan pembedahan (Wulandari, 2006).

Salah satu gangguan yang mungkin didapati di daerah tulang adalah tumor. Kasus tumor tulang merupakan kasus yang sulit untuk diidentifikasi, namun demikian memiliki urgensi tinggi dalam penanganannya. Dokter tidak dapat langsung memvonis pasiennya menderita tumor tulang hanya karena menerima keluhan nyeri tulang (konstan di satu tempat) atau menemukan benjolan yang kemudian dapat dengan mudah diduga sebagai pertumbuhan tulang abnormal.

Salah satu cara yang dapat membantu pendeteksian tumor tulang tanpa harus dilakukan pembedahan adalah dengan melakukan pemeriksaan radiologi yang merupakan proses diagnosis penyakit melalui citra medis dari organ yang diduga bermasalah. Pengambilan citra medis pada pemeriksaan radiologi salah satunya dilakukan dengan cara penyinaran menggunakan sinar X (*X-ray*) pada organ atau bagian tubuh yang diduga bermasalah (Wulandari, 2006).

Dalam kenyataannya, proses pengambilan informasi dari citra medis tidaklah mudah karena kualitas citra yang dihasilkan tidak selalu baik. Hal tersebut dikarenakan sifat dari sinar X itu sendiri yang apabila berkasnya melalui suatu bahan atau suatu zat, maka berkas tersebut akan bertebaran ke segala jurusan, menimbulkan radiasi sekunder (radiasi hambur) pada bahan atau zat yang dilaluinya. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya gambar radiograf dan pada film akan tampak pengaburan kelabu secara menyeluruh. Untuk mengurangi akibat dari radiasi hambur ini, antara subyek dan film rontgen diletakkan *grid*. *Grid* terdiri atas potongan – potongan timah tipis yang letaknya sejajar, masing – masing dipisahkan oleh bahan tembus sinar (Ekayuda, 2005). Meskipun demikian, masih besar kemungkinan terjadinya pengaburan kelabu pada film walaupun sedikit.

Pada kasus tumor tulang misalnya, terkadang sulit dibedakan antara bagian tulang yang terkena tumor dengan bagian tulang yang tidak terkena tumor. Untuk itu diperlukan perbaikan kualitas citra (*image enhancement*) sehingga mempermudah dokter dalam mengambil informasi serta mendeteksi penyakit.

Salah satu bagian dari proses perbaikan citra yang bisa diterapkan pada citra medis tumor tulang adalah penajaman citra (*image sharpening*). Penajaman citra bertujuan memperjelas tepi obyek di dalam citra. Operasi penajaman dilakukan dengan melewati citra pada penapis lolos-tinggi (*high-pass filter*). Penapis lolos-tinggi akan meloloskan (atau memperkuat) komponen berfrekuensi tinggi (misalnya tepi atau pinggiran objek) dan akan menurunkan komponen berfrekuensi rendah. Akibatnya, pinggiran obyek terlihat lebih tajam dibandingkan sekitarnya. Istilah penajaman citra (*image sharpening*) sering disebut juga penajaman tepi (*edge sharpening*) atau peningkatan kualitas tepi (*edge enhancement*) (Munir, 2004).

Perbaikan kualitas citra termasuk di dalamnya penajaman citra bisa dilakukan dalam dua ranah (*domain*), yaitu dalam ranah spasial dan ranah frekuensi. Pada ranah spasial pengolahan citra dilakukan dengan operasi konvolusi yaitu mengalikan sebuah citra dengan *mask* atau *kernel* yang dinyatakan dalam bentuk matriks dimana ukuran matriks tersebut biasanya lebih kecil dari ukuran citra. Sedangkan untuk melakukan pengolahan citra pada ranah frekuensi, citra harus melalui proses transformasi terlebih dahulu dari ranah spasial menjadi ranah frekuensi.

Karena operasi konvolusi dilakukan per piksel, maka untuk citra berukuran besar, seperti citra medis memerlukan waktu komputasi yang cukup lama. Salah satu cara untuk mengurangi waktu komputasi adalah dengan cara mentransformasi citra dan *kernel* ke dalam ranah frekuensi. Keuntungan utama dari penggunaan ranah frekuensi adalah proses konvolusi dapat diterapkan dalam perkalian langsung (Munir, 2004).

Salah satu transformasi yang bisa digunakan adalah transformasi wavelet daubechies yang merupakan seri pengembangan dari transformasi wavelet. Wavelet daubechies ditemukan oleh Ingrid Daubechies. J.M. Lina dalam penelitiannya yang berjudul *Image Processing with Complex Daubechies Wavelets* menyatakan bahwa transformasi wavelet merupakan perpaduan antara representasi *zero-crossing* dan *locale extrema* yang berpengaruh pada proses penajaman dan deteksi tepi dari sebuah citra.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh J.-M.Lina dan L.Gagnon, seri Wavelet Daubechies telah diterapkan pada proses penajaman citra mammografi dalam rangka mempermudah pendeteksian kanker payudara menggunakan *Symmetric Daubechies Wavelets*.

Untuk itu, penulis merasa perlu melakukan penelitian mengenai penajaman citra menggunakan transformasi wavelet daubechies pada citra medis lain (selain citra mammografi) yang memiliki karakteristik berbeda yaitu citra medis hasil radiologi sinar X pada kasus tumor tulang. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan transformasi Wavelet Daubechies 4. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka judul skripsi ini adalah "Penajaman Citra Medis Tumor Tulang Menggunakan Transformasi Wavelet Daubechies 4".

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah yang diambil adalah :

1. Bagaimana menerapkan transformasi Wavelet Daubechies 4 dalam sistem penajaman citra medis tumor tulang
2. Bagaimana kinerja transformasi Wavelet Daubechies 4 dalam proses penajaman citra medis tumor tulang

1.3. Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan, penulis membatasi pada hal berikut :

1. Citra yang digunakan merupakan citra digital hasil pencitraan medis dengan sinar X pada kasus tumor tulang jenis *Osteosarcoma* dengan nilai kontras rendah (*low contrast*)
2. Citra yang digunakan sebagai data uji diambil dari *Medical Image Database, Radiologi Teaching Files and Cases, Medpex®*
3. Citra masukan bertipe bitmap (.bmp)
4. Pengujian yang dilakukan adalah dengan melakukan pengamatan visual citra hasil oleh spesialis radiologi, dr. Erna Furaidah, Sp.Rad serta menghitung nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dan PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) antara citra hasil dan citra pembandingan

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menerapkan algoritma transformasi Wavelet Daubechies 4 pada sistem penajaman citra medis tumor tulang
2. Melakukan pengujian kinerja transformasi Wavelet Daubechies 4 pada proses penajaman citra medis tumor tulang

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapatkan melalui penelitian ini adalah:

1. Sebagai media penajaman citra medis tumor tulang untuk kebutuhan interpretasinya di bidang kedokteran
2. Sebagai referensi mengenai teknik penajaman citra medis menggunakan transformasi Wavelet Daubechies 4 untuk penelitian lebih lanjut, maupun untuk penelitian interpretasi citra medis

1.6. Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini maka metodologi yang penulis gunakan adalah:

1. Studi Literatur

Mempelajari teori – teori mengenai transformasi Wavelet Daubechies 4, serta konsep mengenai citra medis (*medical image*), radiologi diagnostik, dan tumor tulang.

2. Pendefinisian dan Analisis Masalah

Mendefinisikan dan menganalisis masalah untuk mencari solusi yang tepat.

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

Membuat perancangan perangkat lunak dengan analisis terstruktur dan mengimplementasikan hasil rancangan tersebut dengan membuat alat penajaman citra.

4. Ujicoba dan Analisis Hasil Implementasi

Menguji coba perangkat lunak tersebut untuk menganalisa hasil dari implementasi tersebut apakah sesuai dengan tujuan yang dirumuskan sebelumnya, untuk kemudian dievaluasi.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran mengenai skripsi, berikut disajikan garis besar pembahasan dari keseluruhan isi skripsi untuk setiap bab.

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penulisan, permasalahan yang ada, batasan masalah, tujuan dan manfaat serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan singkat tentang teori yang melandasi proses perancangan sistem penajaman citra.

BAB III : METODOLOGI DAN PERANCANGAN

Bab ini berisi metode – metode yang digunakan dalam menyelesaikan masalah penajaman citra.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang penjelasan implementasi sistem dan hasil evaluasi yang dilakukan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran – saran untuk pengembangan lebih lanjut.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Citra

Secara harfiah citra merupakan gambar pada bidang dwimatra (dua dimensi). Namun secara matematis, citra merupakan fungsi menerus (*continue*) dan intensitas cahaya pada bidang dwimatra (dua dimensi). Dimana sumber cahaya menerangi obyek, obyek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya inilah yang ditanggapi oleh alat – alat optik, sehingga bayangan obyek yang disebut dengan citra tersebut terekam.

Citra dibedakan menjadi 2 macam, yaitu: citra kontinu dan citra diskrit. Citra kontinu dihasilkan dari sistem optik yang menerima sinyal analog, misalnya mata manusia dan kamera analog. Citra diskrit dihasilkan melalui proses digitalisasi terhadap citra kontinu. Citra diskrit disebut juga citra digital.

Karena citra merupakan fungsi kontinu dari intensitas cahaya pada bidang dwimatra maka secara matematis fungsi intensitas cahaya pada bidang dwimatra disimbolkan dengan $f(x, y)$, yang dalam hal ini:

(x, y) : koordinat pada bidang dwimatra

$f(x, y)$: intensitas cahaya (*brightness*) pada titik (x, y)

Karena cahaya merupakan bentuk energi, maka intensitas cahaya bernilai antara 0 sampai tak terhingga,

$$0 \leq f(x, y) \leq \infty$$

Nilai $f(x, y)$ sebenarnya adalah hasil kali dari:

1. $i(x, y)$ = jumlah cahaya yang berasal dari sumbernya (*illumination*), nilainya antara 0 sampai tak terhingga, dan
2. $r(x, y)$ = derajat kemampuan obyek memantulkan cahaya (*reflection*), nilainya antara 0 dan 1.

Intensitas dari f dari gambar pada titik (x, y) disebut sebagai derajat keabuan (*grey level*), yang dalam hal ini derajat keabuannya bergerak dari hitam ke putih, sedangkan citranya disebut citra hitam-putih (*greyscale image*) atau citra monokrom (*monochrome image*).

Derajat keabuan memiliki rentang nilai dari l_{min} sampai l_{max} , atau

$$l_{min} < f < l_{max}$$

Selang (l_{min}, l_{max}) disebut skala keabuan.

Biasanya selang (l_{min} , l_{max}) sering digeser untuk alasan – alasan praktis menjadi $[0, L]$, yang dalam hal ini nilai intensitas 0 menyatakan hitam, nilai intensitas L menyatakan putih, sedangkan nilai intensitas antara 0 sampai L bergeser dari hitam ke putih.

Citra hitam putih disebut juga citra satu kanal, karena warnanya hanya ditentukan oleh satu fungsi intensitas saja. Citra berwarna (*color image*) dikenal dengan nama citra spektral, karena warna pada citra disusun oleh tiga komponen warna yang disebut komponen *RGB*, yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*). Intensitas suatu titik pada citra berwarna merupakan kombinasi dari tiga intensitas: derajat keabuan merah ($f_{merah}(x,y)$), hijau ($f_{hijau}(x,y)$), dan biru ($f_{biru}(x,y)$) (Munir, 2004).

2.1.1. Citra Digital

Agar dapat diolah dengan komputer digital, maka suatu citra harus direpresentasikan secara numerik dengan nilai – nilai diskrit. Representasi citra dari fungsi kontinu menjadi nilai – nilai diskrit disebut digitalisasi. Citra yang dihasilkan inilah yang disebut citra digital (*digital image*). Pada umumnya citra digital berbentuk persegi panjang, dan dimensi ukurannya dinyatakan sebagai tinggi x lebar atau lebar x panjang.

Citra digital yang tingginya N , lebarnya M , dan memiliki L derajat keabuan dapat dinyatakan dalam fungsi berikut:

$$f(x,y) \begin{cases} 0 \leq x \leq M \\ 0 \leq y \leq N \\ 0 \leq f \leq L \end{cases}$$

Citra digital berukuran $N \times M$ secara umum dinyatakan dengan matriks yang berukuran N baris dan M kolom seperti terlihat pada fungsi berikut:

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

Indeks baris (i) dan indeks kolom (j) menyatakan suatu koordinat titik pada citra, sedangkan $f(i, j)$ merupakan intensitas (derajat keabuan) pada titik (i, j).

Masing – masing elemen pada citra digital (berarti elemen matriks) disebut *image element*, *picture element* atau *pixel* atau *pel*. Jadi citra yang berukuran $N \times M$ mempunyai NM buah *pixel* (Munir, 2004).

2.2. Pencitraan Medis

Pemeriksaan radiologis sesudah perang dunia kedua maju dengan pesat sekali sejalan dengan kemajuan ilmu kedokteran dan ilmu – ilmu lain pada umumnya. Kemajuan ini dipengaruhi oleh perkembangan teknologi fisika, kimia, biologi, elektronik, komputer dan sebagainya.

Cara – cara pemeriksaan yang menghasilkan gambar tubuh manusia untuk tujuan diagnostik dinamakan pencitraan diagnostik (*diagnostik imaging*) (Ekayuda, 2006).

Dan pengolahan citra dalam bidang medis dikenal sebagai pencitraan medis (*medical imaging*). Pencitraan medis merupakan proses dimana dokter melakukan evaluasi atas tubuh subyek yang tak terlihat (bagian dalam tubuh). Proses ini melibatkan berbagai disiplin ilmu medis.

Spesialis medis yang secara langsung berinteraksi dan bekerja dengan *medical imaging* ini adalah radiolog, dari aspek radiologi. Aspek teknis dari *medical imaging* dikenal juga sebagai radiograf, dan yang bertanggung jawab adalah radiografer atau teknisi radiologi.

Pencitraan medis secara anatomis atau struktural yang melibatkan kemampuan untuk membedakan unsur pokok bagian tubuh bisa dilakukan dengan memanfaatkan pencitraan dengan sinar X (Wulandari, 2006).

2.2.1. Sinar X (X-Rays)

Sejak ditemukannya sinar-X oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895, penggunaan sinar-X dalam bidang kedokteran telah mengalami kemajuan pesat. Pemeriksaan radiologik hanyalah bagian bidang diagnostik sebagai satu integritas, dan dalam banyak hal hasilnya hanya dapat dianggap sebagai penunjang, tidak dapat berdiri sendiri sebelum digabung dengan hasil-hasil pemeriksaan lainnya.

Sinar dengan daya tembus yang pertama kali dimanfaatkan adalah sinar-X. Dampak sinar-X adalah menghitamkan film negatif dan berbanding lurus dengan intensitasnya. Oleh karena itu, benda yang menyerap sinar lebih banyak (lebih rapat) akan ditampilkan dalam film negatif dengan warna yang lebih terang daripada benda yang menyerap sinar lebih sedikit. Sebagai contoh, warna tulang akan ditampilkan lebih terang dibandingkan dengan warna kulit (Isnanto, 2003).

Secara umum, sifat fisik yang dimiliki sinar X antara lain:

a. Daya tembus

Sinar X dapat menembus bahan, dengan daya tembus sangat besar dan digunakan dalam radiografi. Makin tinggi tegangan tabung (besarnya Kilovolt) yang digunakan, makin besar daya tembusnya. Makin rendah berat atom atau kepadatan suatu benda, makin besar daya tembus sinarnya.

Daya tembus sinar X berbeda – beda sesuai dengan benda yang dilaluinya. Benda – benda yang mudah ditembus sinar X akan memberi bayangan hitam (radiolusen). Benda – benda yang sukar ditembus sinar X akan memberikan bayangan putih (radioopak). Diantaranya terdapat bayangan perantara yaitu tidak terlalu hitam atau radiolusen sedang (*moderately radiolucent*) dan tidak terlalu putih atau radioopak sedang (*moderately radio-opaque*). Di antara radiolusen sedang dan radioopak sedang terdapat bayangan keputih – putihan (*intermediate*). Berdasarkan mudah tidaknya ditembus sinar X, maka bagian tubuh dibedakan atas:

- 1) Radiolusen (hitam):
 - a) gas
 - b) udara
- 2) Radiolusen sedang:
 - a) jaringan lemak
- 3) Keputih – putihan:
 - a) jaringan ikat
 - b) otot
 - c) darah
 - d) kartilago
 - e) epitel
 - f) batu kolesterol
 - g) batu asam urat
- 4) Radioopak sedang:

- a) tulang
 - b) garam kalsium
- 5) Radioopak (putih):
- a) logam - logam berat

Untuk lebih jelas, pada gambar 2.1 dapat dilihat citra tulang hasil radiologi dengan sinar X.



Gambar 2.1 Citra Medis Tulang Hasil Radiologi Dengan Sinar X
(http://rad.usuhs.edu/medpix/medpix_image)

b. Pertebaran

Apabila berkas sinar X melalui suatu bahan atau zat, maka berkas tersebut akan bertebaran ke segala jurusan, menimbulkan radiasi sekunder (radiasi hambur) pada bahan/ zat yang dilauinya. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya gambar radiograf dan pada film akan tampak pengaburan kelabu secara menyeluruh. Untuk mengurangi akibat radiasi hambur ini, maka diantara subjek dengan film rontgen diletakkan *grid*.

Grid terdiri atas potongan – potongan timah tipis yang letaknya sejajar, masing – masing dipisahkan oleh bahan tembus sinar.

c. Penyerapan

Sinar X dalam radiografi diserap oleh bahan atau zat sesuai dengan berat atom atau kepadatan bahan/zat tersebut. Makin tinggi kepadatannya atau berat atomnya, makin besar penyerapannya.

d. Efek Fotografik

Sinar X dapat menghitamkan emulsi film (emulsi perak-bromida) setelah diproses secara kimiawi (dibandingkan) di kamar gelap.

e. Pendar Fluor (fluoresensi)

Sinar X menyebabkan bahan – bahan tertentu seperti kalsium-tungstat atau zink-sulfid memancarkan cahaya (luminisensi), bila bahan tersebut dikenai radiasi sinar X. Luminisensi ada 2 jenis yaitu:

- 1) Fluoresensi, yaitu akan memancarkan cahaya sewaktu ada radiasi sinar X saja.
- 2) Fosforesensi, yaitu pemancaran cahaya akan berlangsung beberapa saat walaupun radiasi sinar X sudah dimatikan (*after-glow*).

f. Ionisasi

Efek primer sinar X apabila mengenai suatu bahan atau zat akan menimbulkan ionisasi partikel – partikel bahan atau zat tersebut.

g. Efek Biologik

Sinar X akan menimbulkan perubahan – perubahan biologik pada jaringan. Efek biologik ini dipergunakan dalam pengobatan radioterapi (Ekayuda, 2005).

2.3. Tumor Tulang

Berdasarkan penelitian, ditemukan bahwa pemicu terbesar terjadinya tumor tulang adalah faktor genetika. Gejala awal yang umum berupa nyeri berkepanjangan pada tulang. Nyeri ini bisa jadi muncul sebagai akibat trauma benturan, tetapi juga bisa tidak. Tidak jarang ditemukan penderita pada awalnya justru tidak merasakan nyeri, namun terjadi pembengkakan pada tulang.

2.3.1. *Osteosarcoma*

Osteosarcoma (*Sarcoma Osteogenic*) merupakan jenis tumor tulang primer (tumor yang berasal dari tulang bukan dari organ lain) yang ganas dan kasusnya paling umum didapati. Jenis tumor ini berhubungan dengan periode kecepatan pertumbuhan pada remaja. Paling sering ditemukan pada anak – anak, dan rata – rata terdiagnosis pada umur 15 tahun. Rasio kejadian pada anak laki – laki dan anak perempuan adalah sama, tetapi pada akhir masa remaja penyakit ini lebih banyak ditemukan pada anak laki – laki. *Osteosarcoma* cenderung tumbuh di tulang paha (ujung bawah), tulang lengan atas (ujung atas) dan tulang kering (ujung atas). Ujung tulang – tulang tersebut merupakan daerah dimana terjadi perubahan dan kecepatan pertumbuhan yang terbesar. Meskipun demikian, *Osteosarcoma* juga bisa tumbuh di tulang lainnya. Gejala yang paling sering ditemukan adalah nyeri dan sejalan dengan pertumbuhan tumor, juga bisa terjadi pembengkakan dan pergerakan yang terbatas.

Mengenai gambaran radiologi dari *Osteosarcoma*, dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Citra Medis Tumor Tulang Jenis *Osteosarcoma*
(http://rad.usuhs.edu/medpix/medpix_image)

2.3.2. Pemeriksaan Radiologik Tumor Tulang

Untuk kasus tumor tulang, pemeriksaan radiologik merupakan pemeriksaan yang penting dalam usaha menegakkan diagnosis tumor tulang. Namun demikian, diagnosis pasti didasarkan pada hasil pemeriksaan patologi-anatomik. Pada beberapa tumor,

diagnosis pasti dapat juga ditegakkan dengan pemeriksaan radiologik, misalnya *osteochondroma*.

Terkadang hasil pemeriksaan patologi-anatomik tidak sesuai dengan gambaran radiologiknya dan hal ini mungkin disebabkan karena pengambilan jaringan pada biopsi tidak tepat. Untuk penentuan diagnosis tumor tulang diperlukan kerjasama yang baik antara ahli klinis, ahli patologi anatomis dan ahli radiologi.

Pada pemeriksaan tulang yang harus diperhatikan antara lain:

- a. Besar tulang
- b. Bentuk tulang
- c. Kontur tulang
- d. Densitas tulang, apakah densitas meninggi ataukah merendah
- e. Korteks, apakah utuh atau tidak utuh yaitu menipis atau destruksi
- f. Spongiosa, adakah bayang – bayang radiolusen
- g. Ada/ tidaknya reaksi periosteal
- h. Jaringan lunak sekitar tulang
 - 1) pembengkakan
 - 2) perkapuran
 - 3) penulangan

Pemeriksaan radiologi pada tumor tulang selalu diawali dengan foto konvensional yang sampai saat ini masih merupakan cara pemeriksaan terbaik untuk diagnostik tumor tulang. Untuk menentukan luasnya tumor atau keterlibatan jaringan sekitar dapat dilakukan pemeriksaan CT (*Computerized Tomography*) scan atau MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) (Ekayuda, 2005).

2.4. Transformasi Citra

Bentuk mentah dari penggambaran waktu dan amplitudo disebut dengan sinyal. Penggambaran dengan waktu dan amplitudo yang dikategorikan dalam ranah waktu seringkali perlu ditransformasikan dalam ranah lain untuk analisis dan pemrosesan sinyal. Ranah lain selain ranah waktu misalnya ranah frekuensi, ranah waktu-frekuensi, dsb.

Dengan adanya transformasi sinyal ini maka informasi yang kemungkinan masih tersimpan di dalam sinyal asal dapat diidentifikasi. Informasi di dalam sinyal ini dapat ditampilkan melalui transformasi dengan cara mendapatkan spektrumnya. Spektrum yang bisa diperoleh dari sebuah sinyal dapat berupa

frekuensi atau waktu tergantung dari jenis transformasi yang digunakan.

Sinyal sendiri dibagi menjadi dua jenis, yaitu sinyal tidak bergerak (*stationary signals*) dan sinyal bergerak (*non-stationary signals*). Citra dan suara merupakan salah satu contoh dari sinyal yang dapat bergerak. Contoh lain dari jenis sinyal bergerak adalah sinyal dalam bidang biologi seperti *electrocardiogram*, *electromyography*, dsb.

Untuk mendapatkan informasi dari sinyal tidak bergerak, khususnya sinyal dengan representasi frekuensi, dapat digunakan transformasi Fourier. Karena sinyal ini tidak bergerak, maka hanya perlu untuk mendapatkan spektrum frekuensi sebuah sinyal saja agar informasi dari sinyal tersebut bisa ditampilkan.

Berbeda dengan sinyal tidak bergerak, untuk menampilkan informasi dari sinyal bergerak perlu sebuah transformasi yang bisa mendapatkan spektrum frekuensi dengan keterangan waktunya. Dalam transformasi Fourier, spektrum frekuensi dari sebuah sinyal bisa didapatkan, namun, transformasi ini tidak dapat memberi tahu kapan terjadinya frekuensi sinyal tersebut. Sehingga transformasi Fourier hanya cocok untuk jenis sinyal tidak bergerak.

Untuk itulah diperlukan transformasi lain untuk menampilkan informasi dari jenis sinyal bergerak ini, transformasi Wavelet adalah salah satunya. Transformasi ini bisa mendapatkan spektrum frekuensi dan waktu secara bersamaan. Sehingga sinyal bergerak khususnya sinyal dengan representasi waktu -frekuensi bisa diproses menggunakan transformasi ini (Alfatwa, 2005).

2.4.1. Transformasi Wavelet

Transformasi Wavelet adalah sebuah transformasi matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal bergerak yang mampu menyediakan informasi mengenai waktu dan frekuensi secara bersamaan (Polikar, 1996).

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 dengan cara frekuensi yang berbeda dianalisis menggunakan resolusi yang berbeda. Resolusi dari sinyal

merupakan ukuran jumlah informasi di dalam sinyal yang dapat berubah melalui operasi filterisasi (Alfatwa,2005).

Fungsi dasar dari transformasi Wavelet adalah *mother 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 (Alfatwa, 2005).

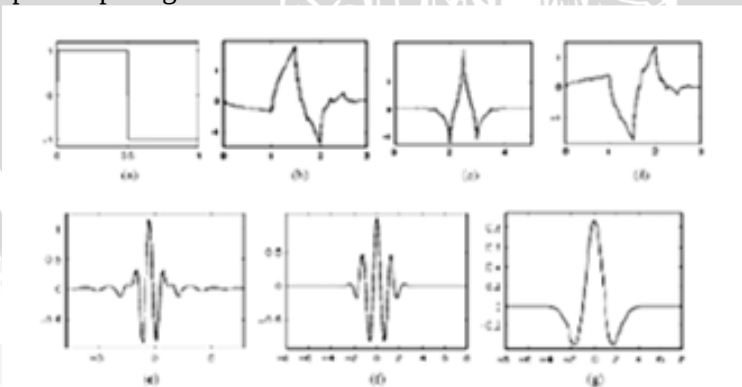
Adapun persamaan dari *mother wavelet* dipaparkan pada persamaan 2.1.

$$\psi(x) = 2 \sum_k b_k \varphi(2x - k) \quad (2.1)$$

Persamaan *mother wavelet* pada persamaan 2.1 diperoleh dari fungsi penskalaan (*scaling function*) yang dipaparkan pada persamaan 2.2 (Lina dan Gagnon, 1995).

$$\varphi(x) = 2 \sum_k a_k \varphi(2x - k) \quad (2.2)$$

Fungsi - fungsi yang termasuk di dalam keluarga Wavelet dipaparkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Keluarga Wavelet (a)Haar, (b)Daubechies, (c)Coiflet, (d)Symlet, (e)Meyer, (f)Morlet, (g)Mexican Hat (Alfatwa, 2005).

2.4.2. Transformasi Wavelet Daubechies 4

Wavelet Daubechies merupakan keluarga dari transformasi Wavelet yang ditemukan oleh Ingrid Daubechies. Wavelet Daubechies memiliki ordo dimana ordo pada Daubechies menggambarkan jumlah koefisien filternya. Sebagaimana diketahui proses *filtering* oleh *lowpass filter* (*scaling function*) akan menghasilkan koefisien subband dengan frekuensi rendah. Sebaliknya *filtering* dengan *highpass filter* (*wavelet function*) akan menghasilkan subband dengan frekuensi tinggi.

Wavelet daubechies memiliki properti yang dinamakan *vanishing moment*. *Vanishing moment* menunjukkan kemampuan wavelet dalam merepresentasikan sifat polinomial. Suatu wavelet Daubechies dengan ordo wavelet N, memiliki nilai *vanishing moment* sama dengan N. Sifat polinomial yang dimiliki oleh Wavelet akan berpengaruh dalam penentuan jumlah koefisien *filter* Wavelet. Semakin besar jumlah *filter* yang dimiliki oleh suatu *Wavelet Filter Daubechies*, maka semakin baik *filter* tersebut dalam melakukan pemilihan frekuensi. Untuk Daubechies dengan ordo N (db-N), maka Daubechies tersebut memiliki ukuran koefisien filter 2N.

Wavelet Daubechies 4 memiliki empat koefisien Wavelet dan fungsi penskalaan (*scaling function*). Untuk fungsi penskalaan dari Wavelet Daubechies 4 dipaparkan pada persamaan 2.3.

$$\begin{aligned} h_0 &= (1+\sqrt{3})/4\sqrt{2} \\ h_1 &= (3+\sqrt{3})/4\sqrt{2} \\ h_2 &= (3-\sqrt{3})/4\sqrt{2} \\ h_3 &= (1-\sqrt{3})/4\sqrt{2} \end{aligned} \tag{2.3}$$

Setiap langkah dari transformasi Wavelet menerapkan fungsi penskalaan pada setiap data masukan. Jika data asli memiliki nilai N, maka fungsi penskalaan akan diaplikasikan pada langkah transformasi Wavelet untuk menghitung nilai penghalusan N/2. Pada transformasi Wavelet beraturan, nilai penghalusan disimpan pada setengah bagian akhir dari vektor input elemen N.

Untuk nilai koefisien fungsi Wavelet dipaparkan pada persamaan 2.4.

$$\begin{aligned}
g_0 &= h_3 \\
g_1 &= -h_2 \\
g_2 &= h_1 \\
g_3 &= -h_0
\end{aligned} \tag{2.4}$$

Pada setiap langkah transformasi Wavelet, maka akan diterapkan fungsi Wavelet pada data masukan. Jika data asli memiliki nilai N, maka fungsi Wavelet akan diterapkan untuk menghitung perbedaan N/2 (mencerminkan perubahan data). Pada transformasi Wavelet beraturan, nilai Wavelet disimpan pada setengah bagian awal vektor input elemen N.

Fungsi penskalaan dan fungsi Wavelet dihitung dengan mengambil nilai hasil transformasi dari koefisien dan empat nilai data. Hal tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.5 dan 2.6.

Fungsi penskalaan Wavelet Daubechies (db4):

$$\begin{aligned}
a_1 &= h_0 s_{2i} + h_1 s_{2i+1} + h_2 s_{2i+2} + h_3 s_{2i+3} \\
a[i] &= h_0 s[2i] + h_1 s[2i+1] + h_2 s[2i+2] + h_3 s[2i+3] \tag{2.5}
\end{aligned}$$

Fungsi wavelet Wavelet Daubechies (db4):

$$\begin{aligned}
c_1 &= g_0 s_{2i} + g_1 s_{2i+1} + g_2 s_{2i+2} + g_3 s_{2i+3} \\
c[i] &= g_0 s[2i] + g_1 s[2i+1] + g_2 s[2i+2] + g_3 s[2i+3] \tag{2.6}
\end{aligned}$$

Pada transformasi *forward*, dengan satu set data berhingga (lawan dari set data tak berhingga) *i* akan mengalami kenaikan sampai dengan N-2. Dan pada iterasi terakhir, nilai akhir hasil transformasi akan dihitung dari $s[N-2]$, $s[N-1]$, $s[N]$, dan $s[N+1]$. Sejak $s[N]$ dan $s[N+1]$ tidak ada (mereka melewati batas akhir *array*), hal tersebut dapat menghasilkan masalah tersendiri. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.4.

h_0	h_1	h_2	h_3	0	0	0	0	•	s_0		
g_0	g_1	g_2	g_3	0	0	0	0		s_1		
0	0	h_0	h_1	h_2	h_3	0	0		s_2		
0	0	g_0	g_1	g_2	g_3	0	0		s_3		
0	0	0	0	h_0	h_1	h_2	h_3		s_4		
0	0	0	0	g_0	g_1	g_2	g_3		s_5		
0	0	0	0	0	0	h_0	h_1		h_2	h_3	s_6
0	0	0	0	0	0	g_0	g_1		g_2	g_3	s_7

Gambar 2.4 Bentuk Matriks Transformasi

Sebagai catatan bahwa masalah tersebut di atas tidak terjadi pada transformasi Haar wavelet, selama perhitungan hanya dilakukan pada dua elemen $s[i]$ dan $s[i+1]$

Masalah yang sama juga terjadi pada saat dilakukan transformasi balikan. Disini koefisien transformasi balikan (invers) meluas dari data awal, dimana dua nilai balikan (invers) pertama dihitung dari $s[-2]$, $s[-1]$, $s[0]$, dan $s[1]$. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 2.5.

$$\begin{bmatrix} h_2 & g_2 & h_0 & g_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_3 & g_3 & h_1 & g_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & h_2 & g_2 & h_0 & g_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & h_3 & g_3 & h_1 & g_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & h_2 & g_2 & h_0 & g_0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & h_3 & g_3 & h_1 & g_1 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 0 & h_2 & g_2 & h_0 & g_0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 0 & h_3 & g_3 & h_1 & g_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_i \\ c_i \\ a_{i+1} \\ c_{i+1} \\ a_{i+2} \\ c_{i+2} \\ a_{i+3} \\ c_{i+3} \end{bmatrix}$$

Gambar 2.5 Bentuk Matriks Transformasi Balikan

Ada tiga metode untuk menyelesaikan permasalahan di atas, yaitu:

1. Memperlakukan data seolah-olah periodik. Rangkaian data awal diulang sampai dengan akhir rangkaian (pada saat transformasi *forward*) dan data terakhir diputar balik ke awal (pada saat transformasi balikan)
2. Memperlakukan data seolah-olah tercermin pada bagian akhir. Hal ini berarti bahwa data direfleksikan dari setiap bagian akhir, seolah-olah cermin terjadi pada setiap bagian akhir dari rangkaian data
3. Melakukan ortogonalisasi Gram-Schmidt. Ortogonalisasi Gram-Schmidt menghitung fungsi penskalaan dan fungsi wavelet khusus yang dipakai pada awal dan akhir dari rangkaian data

Angka nol juga dapat digunakan untuk mengisi elemen yang hilang, tetapi hal ini dapat menimbulkan kesalahan yang signifikan.

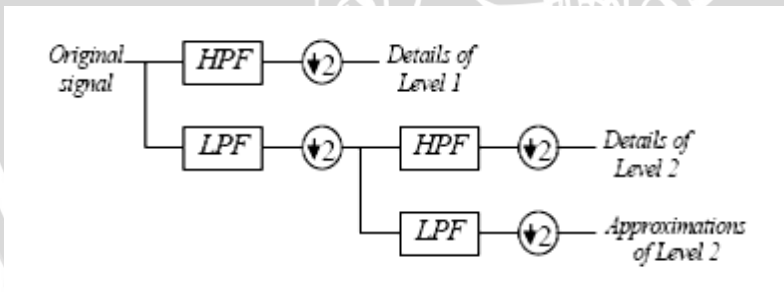
Algoritma *Daubechies D4* memperlakukan data seolah-olah periodik. Sebagai catatan bahwa perhitungan dari dua nilai terakhir, data awal diputar balik ke bagian akhir dan elemen $a[0]$ dan $a[1]$ digunakan pada nilai hasil transformasi.

Transformasi balikan bekerja pada data elemen N , dimana $N/2$ elemen pertama adalah nilai penghalusan dan $N/2$ kedua adalah nilai fungsi wavelet. Nilai hasil transformasi yang dihitung untuk merekonstruksi sebuah nilai sinyal dihitung melalui dua nilai penghalusan dan dua nilai wavelet. Logisnya, data akhir dipindah menjadi awal (Kaplan, 2001).

2.4.3. Dekomposisi dan Rekonstruksi

Dekomposisi merupakan proses pembagian sinyal menjadi frekuensi tinggi dan frekuensi rendah dalam proses filterisasi *highpass filter* dan *lowpass filter*. Proses dekomposisi dimulai dengan melewati sinyal asal melewati *highpass filter* dan *lowpass filter*. Misalkan sinyal asal ini memiliki rentang frekuensi dari 0 sampai dengan π 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 $\frac{\pi}{2}$ rad/s. Setelah filterisasi, setengah dari *sample* atau salah satu *subsample* dapat dieliminasi berdasarkan aturan Nyquist. Sehingga sinyal dapat selalu di-*subsample* oleh 2 ($\downarrow 2$) dengan cara mengabaikan setiap *sample* yang kedua.

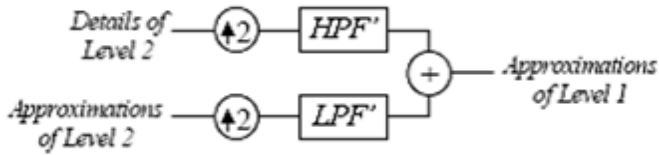
Contoh penggambaran dekomposisi dipaparkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Bagan Dekomposisi

Sumber: Lemmeti, 2000

Sedangkan rekonstruksi merupakan kebalikan dari proses dekomposisi sesuai dengan tingkatan pada proses dekomposisi. Proses rekonstruksi ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bagan Rekontruksi

Sumber: Lemmeti, 2000

Proses rekontruksi dilakukan untuk memperoleh kembali sinyal asal. Proses rekontruksi diawali dengan menggabungkan koefisien wavelet yang berada pada akhir dekomposisi dengan sebelumnya meng-*upsample* oleh 2 ($\uparrow 2$) melalui *highpass filter* dan *lowpass filter*.

2.5. Operator Penajaman

Untuk memperbaiki tepi yang lemah (*weak edges*) atau obyek yang halus pada *background*, fungsi perbaikan akan didesain sedemikian hingga dalam besaran jarak tertentu.

Panduan umum untuk mendesain fungsi perbaikan non-linear $E(x)$ adalah:

1. Area dengan kontras rendah akan diperbaiki lebih dari area dengan kontras tinggi
2. Tepi yang tajam tidak akan mengalami pengaburan

Disamping itu, fungsi perbaikan selanjutnya memungkinkan untuk diperlakukan mengikuti aturan berikut:

1. Peningkatan yang bersifat monoton: kemonotonan menjamin pemeliharaan kekuatan relatif dari variasi sinyal dan menghindari perubahan lokasi dari *locale extrema*, atau penciptaan *extrema* baru
2. Anti-simetri: ($E(-x) = -E(x)$), properti tersebut memelihara fase polaritas untuk “*edge crispening* (tepi yang pendek)”

Fungsi *piecewise linear* yang memenuhi kondisi di atas dipaparkan pada persamaan 2.7

$$E(x) = \begin{cases} x - (K - 1)T, & \text{if } x < -T \\ Kx, & \text{if } |x| \leq T \\ x + (K - 1), & \text{if } x > T \end{cases} \quad (2.7)$$

dimana K merupakan parameter perbaikan/ penajaman dan T merupakan *threshold*. Nilai *threshold* T didapatkan dengan rumus yang dipaparkan oleh persamaan 2.8

$$T = \frac{\sigma \sqrt{2 \log(N)}}{\sqrt{N}} \quad (2.8)$$

dimana:

N = Ukuran dari *array* koefisien

σ^2 = Variansi data

Sedangkan persamaan varian tersaji dalam persamaan 2.9.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)} \quad (2.9)$$

Perbaikan citra tersebut mudah untuk diimplementasikan dan berhasil pula untuk perbaikan kontras pada citra mammogram (Jin dkk, 2004).

2.6. Pengujian

2.6.1. *Peak Signal to Noise Ratio*

Istilah *peak signal-to-noise ratio* (PSNR) adalah sebuah istilah dalam bidang teknik yang 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 *logarithmic 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.

Pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai *mean squared error* (MSE) dari suatu citra hasil rekonstruksi. MSE

dihitung untuk seluruh pixel dalam citra. *Root mean squared error (RMSE)* adalah akar dari *MSE*. Adapun perhitungan *MSE* ditunjukkan pada persamaan 2.10.

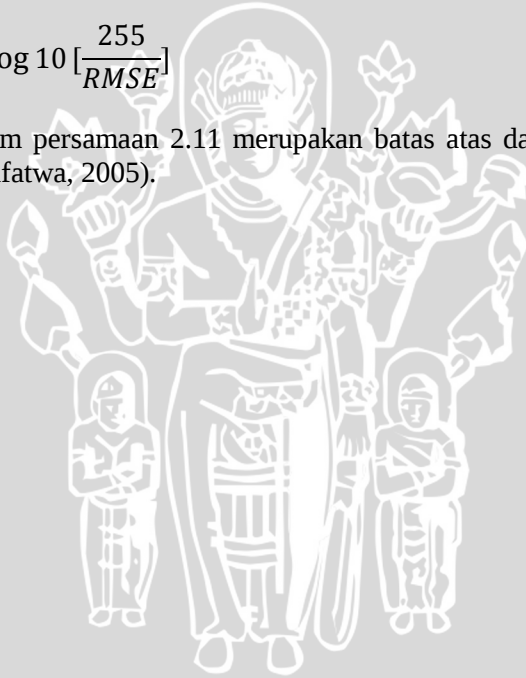
$$MSE = \frac{\sum [f(i,j) - F(i,j)]^2}{N^2} \quad (2.10)$$

N^2 menyatakan hasil perkalian panjang dan lebar citra dalam piksel. $F(i,j)$ merupakan citra hasil rekonstruksi, sedangkan $f(i,j)$ adalah citra asal.

Berdasarkan persamaan *MSE* tersebut, maka nilai *PSNR* dapat dihitung dengan persamaan 2.11.

$$PSNR = 20 \log_{10} \left[\frac{255}{RMSE} \right] \quad (2.11)$$

Nilai 255 dalam persamaan 2.11 merupakan batas atas dari sebuah nilai piksel (Alfatwa, 2005).



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

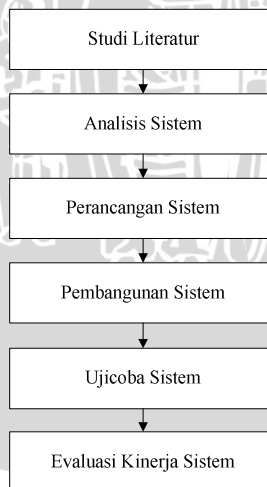
METODOLOGI DAN PERANCANGAN

Pada bab ini akan dibahas metode, rancangan yang digunakan dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian penajaman citra medis tumor tulang menggunakan transformasi Wavelet Daubechies 4.

Penelitian dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur mengenai transformasi Wavelet Daubechies 4 dan melakukan pemahaman terhadap proses penajaman citra
2. Melakukan analisis terhadap transformasi Wavelet Daubechies 4
3. Membuat rancangan sistem berdasar analisis yang dilakukan sebelumnya
4. Membangun sistem berdasarkan analisis dan perancangan yang telah dilakukan
5. Menguji sistem yang telah dibuat dengan citra masukan
6. Mengevaluasi hasil uji coba dengan cara melihat secara visual serta menghitung nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) untuk mengetahui kualitas citra hasil penajaman

Langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Langkah – Langkah Penelitian

3.1. Analisis Sistem

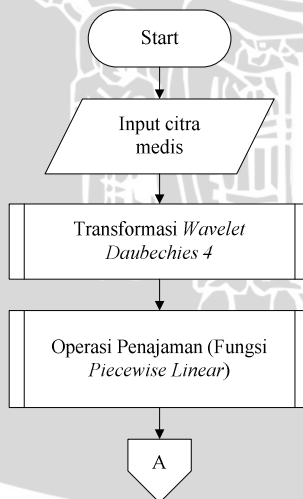
Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil analisis sistem dan kebutuhan sistem yang akan dibangun.

3.1.1. Deskripsi Umum Sistem

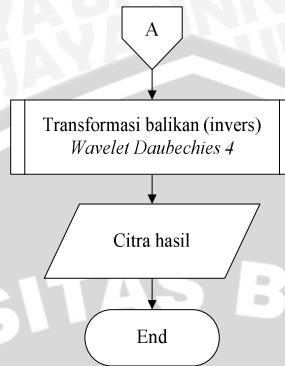
Sistem yang dirancang adalah sistem yang mampu melakukan proses penajaman citra pada suatu citra digital tumor tulang hasil pencitraan medis dengan sinar X. Perangkat lunak ini dibangun pada satu lingkungan pengembangan saja yaitu pada *PC (Personal Computer)*.

Alur sistem dapat dilihat pada gambar 3.2. Sistem penajaman citra bermula dengan memasukkan citra digital tumor tulang *Osteosarcoma* hasil pencitraan medis dengan sinar X yang memiliki kontras rendah ke dalam sistem. Kemudian dilakukan proses transformasi Wavelet Daubechies 4. Setelah dilakukan transformasi Wavelet Daubechies 4, dilanjutkan dengan operasi penajaman citra multiresolusi pada ranah frekuensi menggunakan fungsi *Piecewise Linear*.

Karena proses penajaman citra masih dalam ranah frekuensi, maka citra hasil penajaman dikembalikan lagi dalam ranah spasial yaitu dengan melakukan transformasi balikan (invers) Wavelets Daubechies 4.



Gambar 3.2 Flowchart Alur Sistem (bersambung)



Gambar 3.2 *Flowchart* Alur Sistem (lanjutan)

3.1.2. Batasan Sistem

Dalam sistem yang akan dibangun ini, diberikan batasan tertentu, antara lain:

1. Citra masukan bertipe bitmap (.bmp)
2. Citra masukan berupa citra digital tumor tulang jenis *Osteosarcoma* hasil pencitraan medis dengan sinar X yang memiliki nilai kontras rendah
3. Sistem menggunakan metode Wavelets Daubechies 4 (db4)
4. Pengujian yang dilakukan adalah dengan melakukan pengamatan visual citra hasil oleh spesialis radiologi, dr. Erna Furaidah, Sp.Rad serta menghitung nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dan PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) antara citra hasil dan citra pembandingan

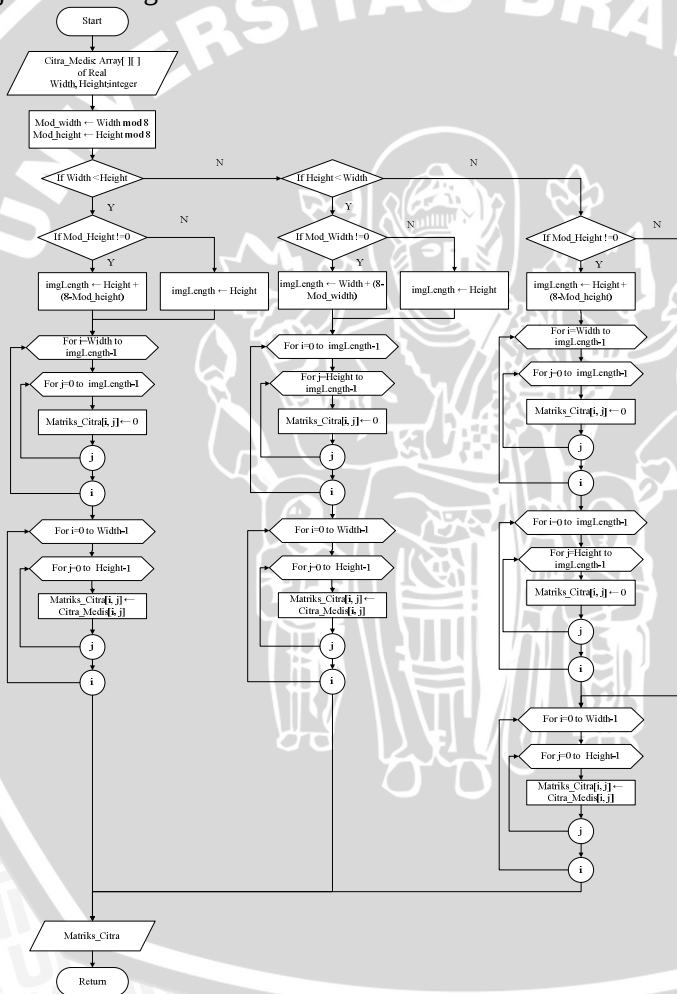
3.2. Perancangan Sistem

3.2.1. Input Sistem

Citra uji merupakan citra digital yang diambil dari *Medical Image Database, Radiologi Teaching Files and Cases, Medpix®*. Citra digital yang dipergunakan merupakan citra medis tumor tulang jenis *Osteosarcoma* hasil pencitraan dengan sinar X. Citra masukan yang digunakan dalam sistem penajaman ini bertipe bitmap (.bmp) dengan berbagai resolusi.

Mengingat bahwa ukuran matriks citra yang dapat dikenai proses transformasi dan transformasi balikan adalah matriks citra berukuran $n \times n$ (persegi), maka dibutuhkan sebuah proses

pengecekan ukuran citra dan apabila citra masukan berukuran $m \times n$ atau $n \times m$ (matriks persegi panjang), maka akan dilakukan penambahan piksel hitam (0) hingga citra tersebut berukuran $n \times n$. Selain itu, untuk mengoptimalkan proses transformasi, citra yang digunakan harus berukuran kelipatan 8, mengingat matriks koefisien Wavelet Daubechies 4 berukuran 2×4 . Sehingga perlu dilakukan penambahan piksel hitam (0) hingga citra tersebut berukuran kelipatan 8. Proses dari pengecekan ukuran citra masukan ditunjukkan oleh gambar 3.3.

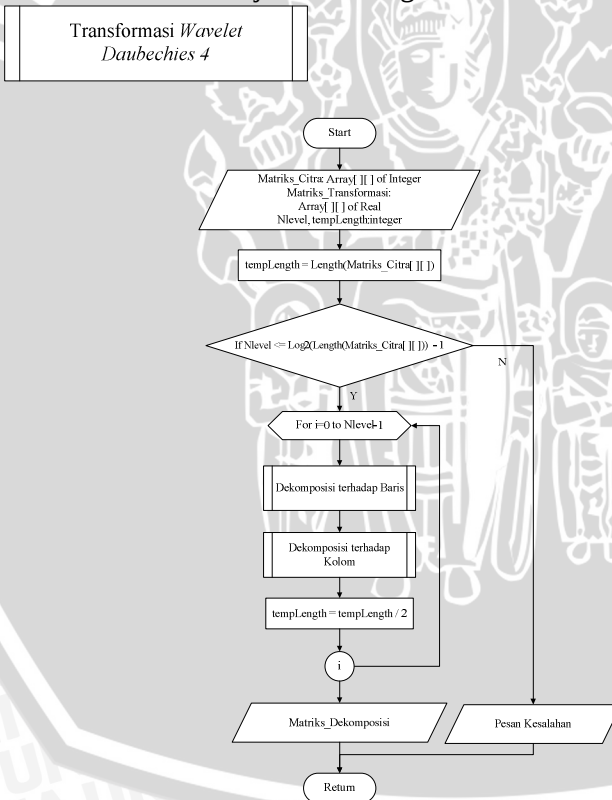


Gambar 3.3 Flowchart Proses Pengecekan Ukuran Matriks Citra

3.2.2. Transformasi Wavelets Daubechies 4 (db4)

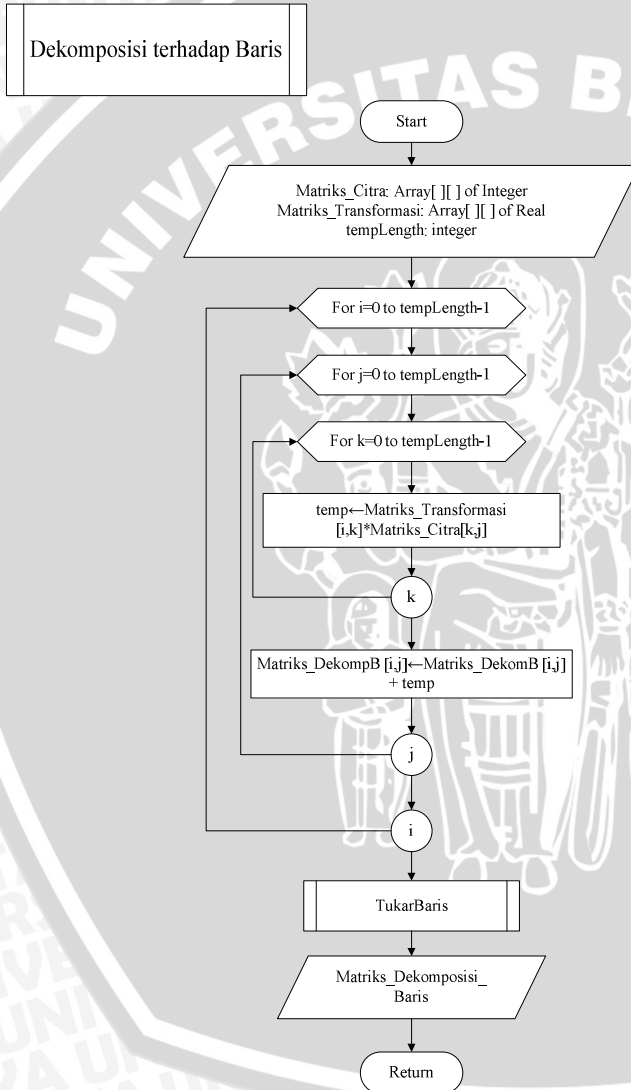
Pada proses ini, citra masukan akan ditransformasikan ke ranah frekuensi dimana citra terlebih dahulu didefinisikan dalam bentuk matriks 2 dimensi. Kemudian matriks tersebut akan ditransformasikan ke ranah frekuensi dengan cara melakukan proses dekomposisi terhadap baris dari matriks masukan terlebih dahulu, dilanjutkan dengan proses dekomposisi terhadap kolom.

Proses transformasi dilakukan hingga kedalaman N level, dimana nilai N diinputkan di awal proses dengan ketentuan N harus lebih kecil dari $\log_2 a$, dimana a adalah panjang citra. Dan dalam setiap perpindahan level dekomposisi akan selalu terjadi proses *subsample* oleh 2 ($\downarrow 2$). Setelah proses transformasi selesai, maka akan didapat matrik transformasi dalam ranah frekuensi. Proses dari transformasi ini ditunjukkan oleh gambar 3.4.



Gambar 3.4 Flowchart Proses Transformasi Wavelet Daubechies 4

Dalam proses transformasi Wavelet Daubechies 4 terdapat sub-proses dekomposisi terhadap baris dan dekomposisi terhadap kolom. *Flowchart* proses dekomposisi terhadap baris ditunjukkan oleh gambar 3.5. Sedangkan *flowchart* proses dekomposisi terhadap kolom ditunjukkan oleh gambar 3.7.

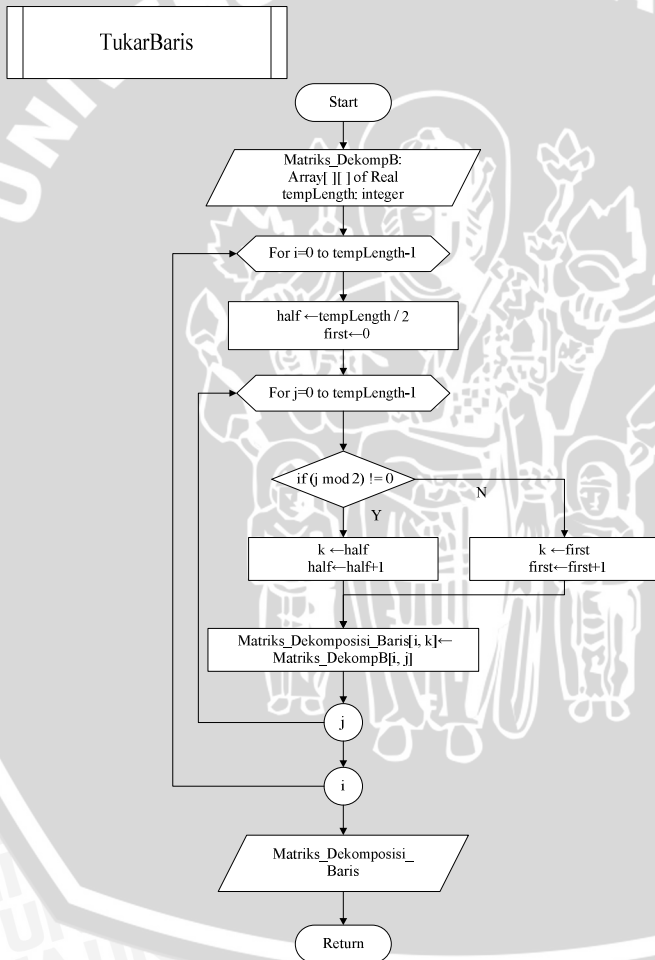


Gambar 3.5 *Flowchart* Proses Dekomposisi terhadap Baris

Langkah-langkah pada gambar 3.5 dapat dijelaskan sebagai berikut:

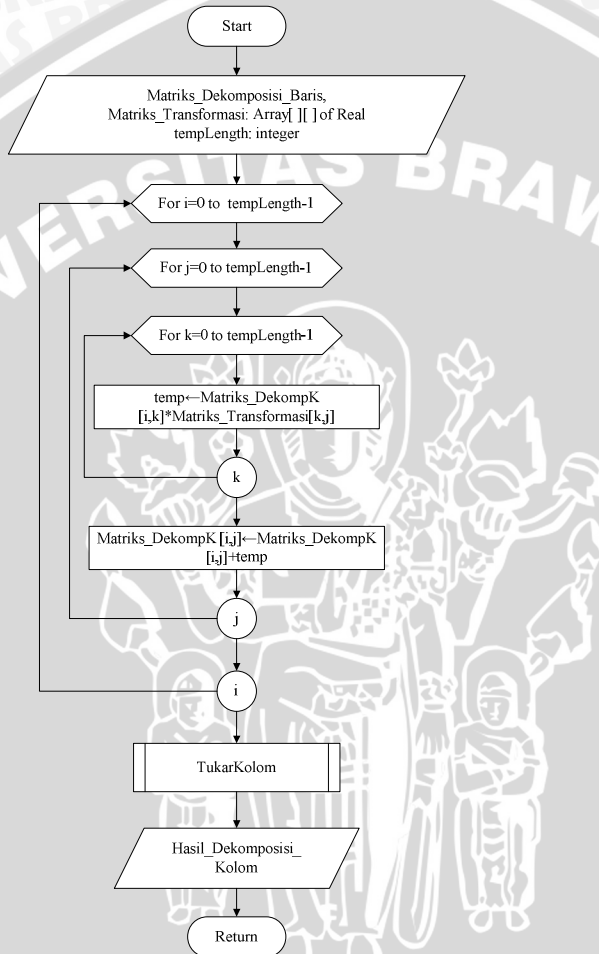
1. Memasukkan matriks citra asli
2. Melakukan perulangan hingga mencapai ukuran matriks citra yang akan didekomposisi
3. Mengalikan matriks transformasi dengan matriks citra
4. Kembali ke langkah no 2 dan seterusnya
5. Melakukan proses pertukaran baris

Adapun sub-proses pertukaran baris ditunjukkan oleh gambar 3.6.



Gambar 3.6 Flowchart Proses Pertukaran Baris

Dekomposisi terhadap Kolom

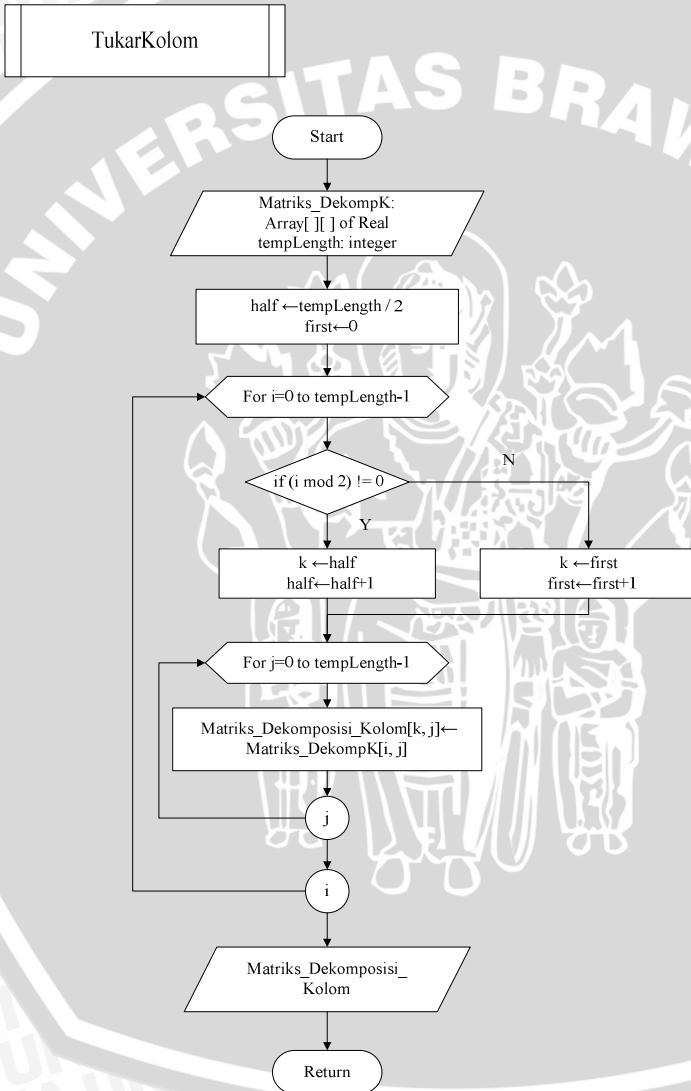


Gambar 3.7 Flowchart Proses Dekomposisi terhadap Kolom

Langkah-langkah pada gambar 3.7 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memasukkan matriks citra hasil dekomposisi baris
2. Melakukan perulangan hingga mencapai ukuran matriks yang akan didekomposisi

3. Mengalikan matriks dekomposisi baris dengan matriks transformasi
 4. Kembali ke langkah no 2 dan seterusnya
 5. Melakukan pertukaran kolom
- Untuk sub-proses pertukaran kolom ditunjukkan oleh gambar 3.8.



Gambar 3.8 Flowchart Proses Pertukaran Kolom

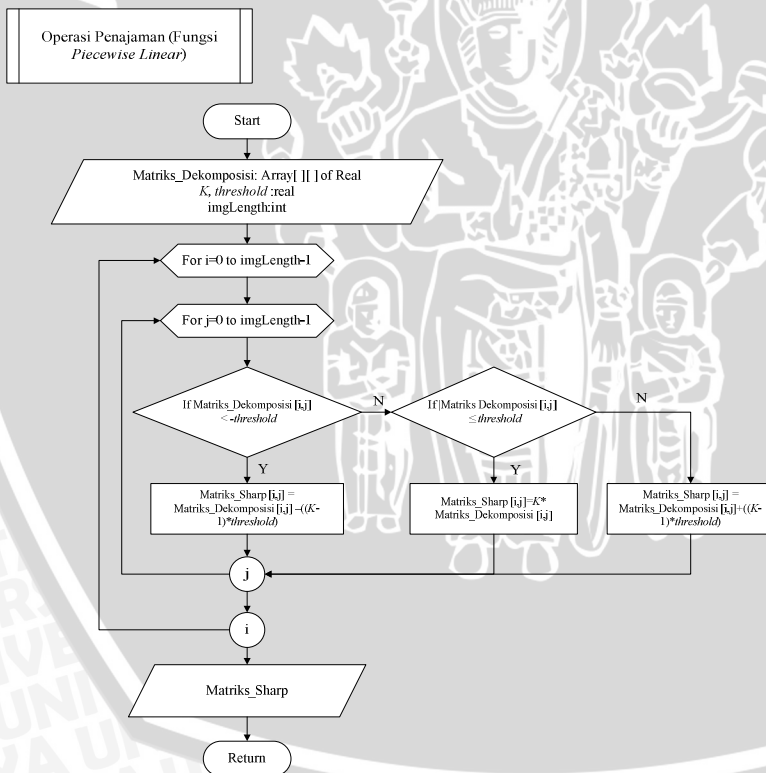
3.2.3. Operasi Penajaman

Setelah dilakukan proses dekomposisi, selanjutnya dilakukan operasi penajaman dengan menggunakan fungsi *Piecewise Linear*. Adapun langkah – langkah dari proses ini adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan matriks dekomposisi, nilai parameter penajaman (K) dan nilai *threshold*.
2. Melakukan iterasi sepanjang dimensi matriks dekomposisi
3. Membandingkan nilai koefisien matriks dengan nilai *threshold*
4. Mengubah nilai koefisien matriks sesuai dengan ketentuan *threshold*

Flowchart dari operasi penajaman dipaparkan pada gambar

3.9.

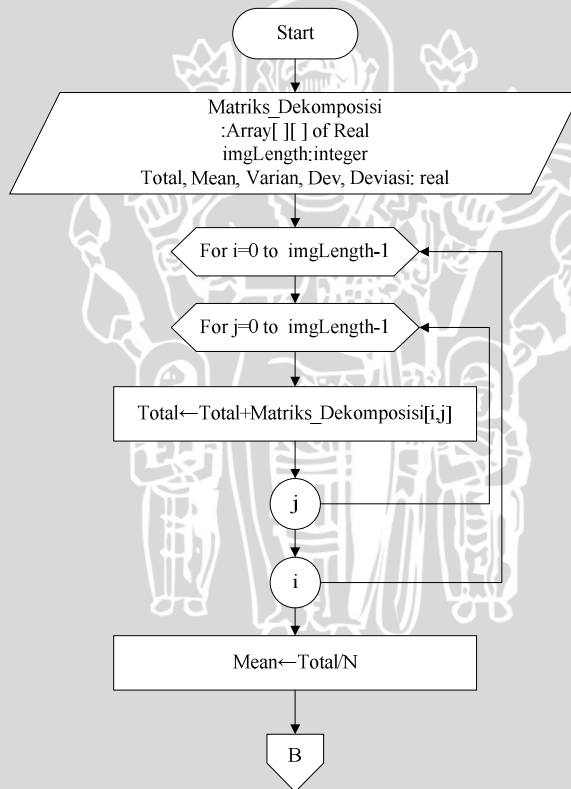


Gambar 3.9 *Flowchart* Proses Operasi Penajaman

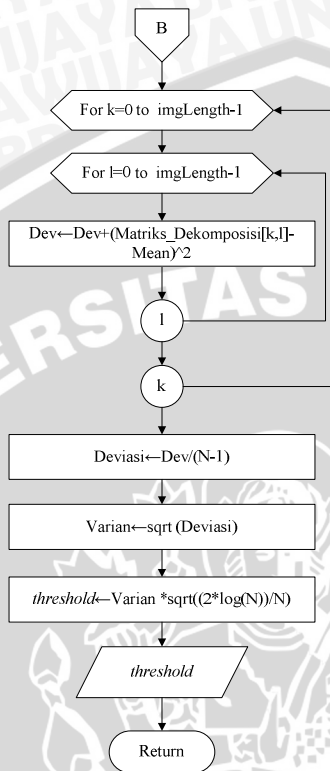
Untuk melakukan proses penajaman dibutuhkan nilai masukan berupa nilai *threshold*. Langkah – langkah untuk menghitung nilai *threshold* (ambang) adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan inputan berupa data matriks citra hasil dekomposisi
2. Menghitung *mean* atau rata-rata keseluruhan data
3. Menghitung nilai standar deviasi
4. Menghitung varian data yang diperoleh dari proses pengakaran standar deviasi
5. Menghitung nilai *threshold*
6. Diperoleh nilai *threshold*

Flowchart dari penentuan nilai *threshold* dipaparkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Flowchart* Penentuan Nilai *Threshold* (bersambung)



Gambar 3.10 Flowchart Penentuan Nilai *Threshold* (lanjutan)

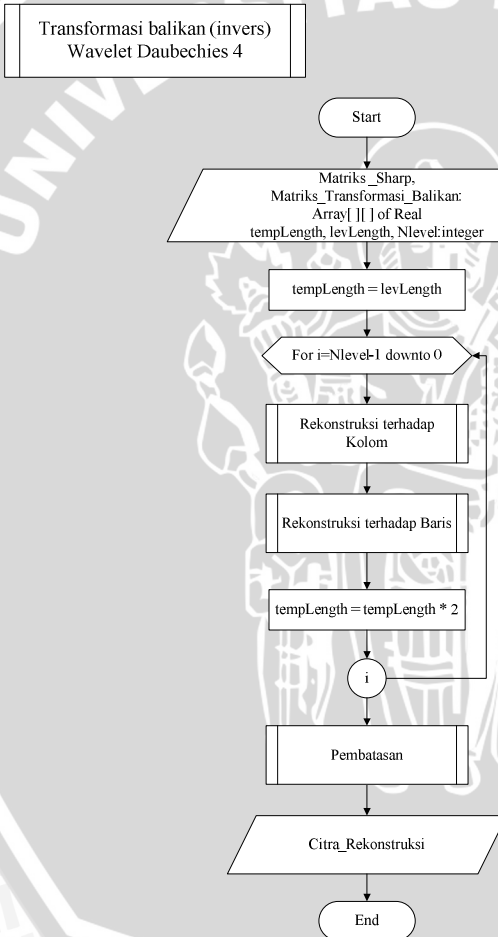
3.2.4. Transformasi Balikan Wavelet Daubechies 4

Proses transformasi balikan Wavelet Daubechies 4 merupakan proses pengembalian citra dari ranah frekuensi ke ranah spasial. Adapun langkah – langkah yang dilakukan pada proses ini adalah:

1. Memasukkan matriks hasil penajaman
2. Mendefinisikan ukuran array (n) pada level terdalam.
3. Melakukan perulangan sepanjang level rekontruksi
4. Melakukan operasi rekontruksi terhadap kolom
5. Melakukan operasi rekontruksi terhadap baris
6. Melakukan proses *upsample* oleh 2 ($\uparrow 2$)
7. Kembali ke langkah no 3
8. Melakukan proses pembatasan
9. Diperoleh citra hasil rekontruksi

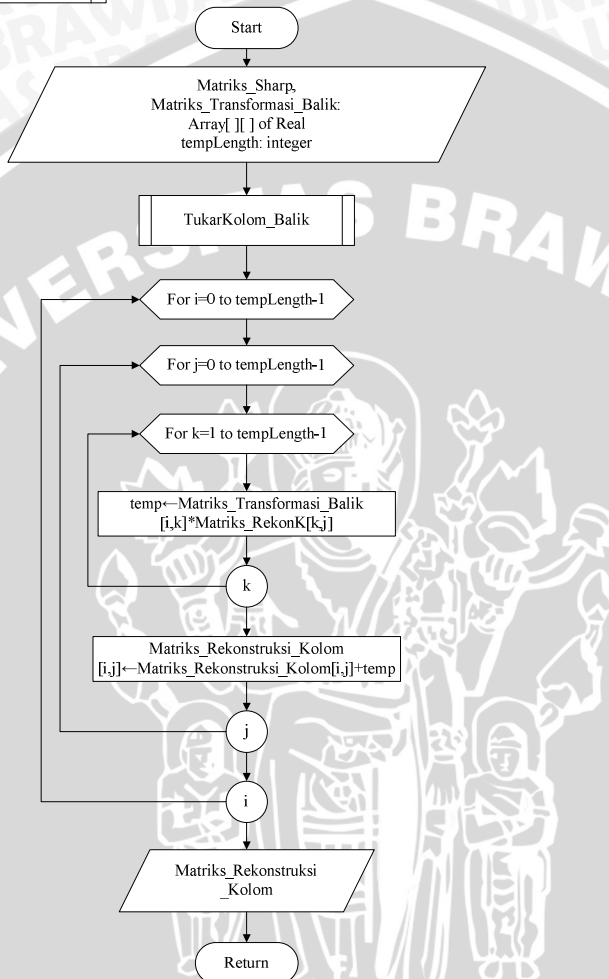
Flowchart dari proses transformasi balikan Wavelet Daubechies 4 dipaparkan pada gambar 3.11.

Dalam proses transformasi balikan Wavelet Daubechies 4 terdapat sub-proses, yaitu rekontruksi terhadap baris, rekontruksi terhadap kolom, dan pembatasan. *Flowchart* proses rekontruksi terhadap kolom ditunjukkan oleh gambar 3.12. Sedangkan *flowchart* proses rekontruksi terhadap baris ditunjukkan oleh gambar 3.14. Dan *flowchart* pembatasan ditunjukkan oleh gambar 3.16.



Gambar 3.11 *Flowchart* Proses Transformasi Balikan Wavelet Daubechies 4

Rekontruksi terhadap Kolom

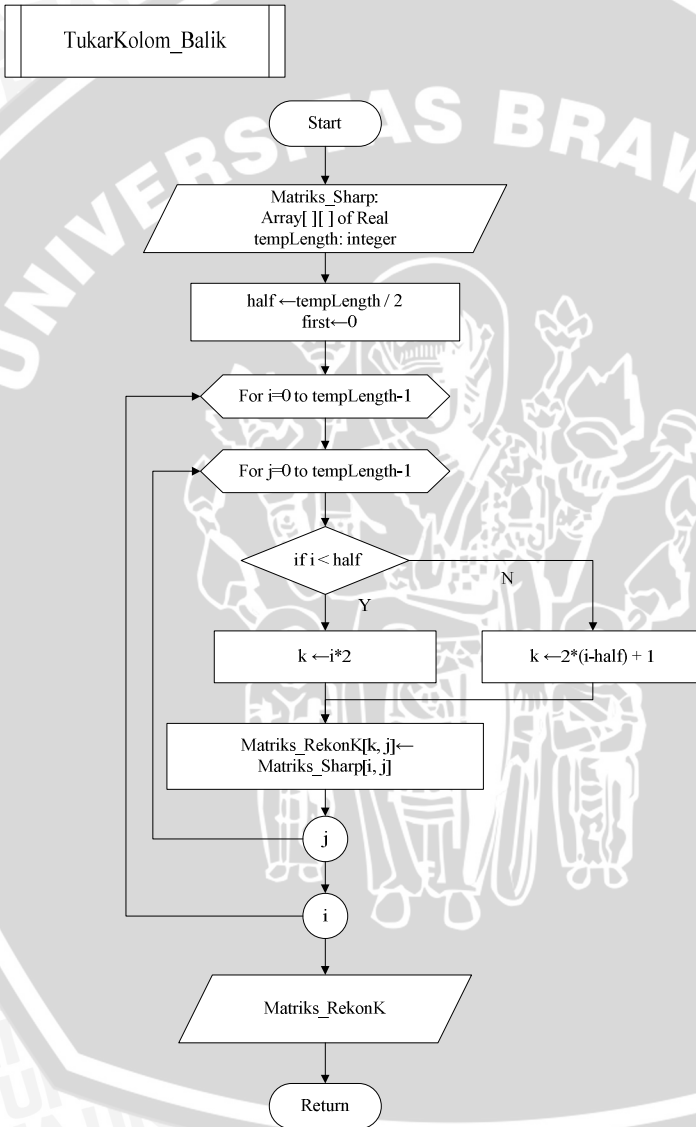


Gambar 3.12 *Flowchart* Proses Rekonstruksi terhadap Kolom

Langkah-langkah pada gambar 3.12 dapat dijelaskan sebagai berikut:

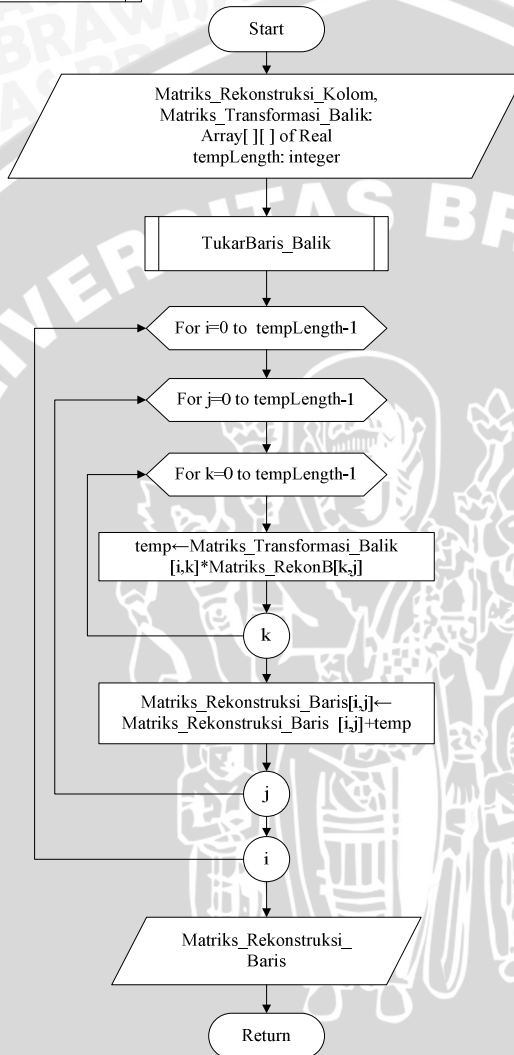
1. Memasukkan matriks hasil operasi penajaman
2. Melakukan pertukaran kolom balikan
3. Melakukan perulangan hingga mencapai ukuran citra yang akan direkonstruksi

4. Mengalikan matriks dekomposisi dengan matriks transformasi balikan
 5. Kembali ke langkah no 3 dan seterusnya
- Sub-proses pertukaran kolom balikan ditunjukkan oleh gambar 3.13.



Gambar 3.13 Flowchart Proses Pertukaran Kolom Balikan

Rekontruksi terhadap Baris

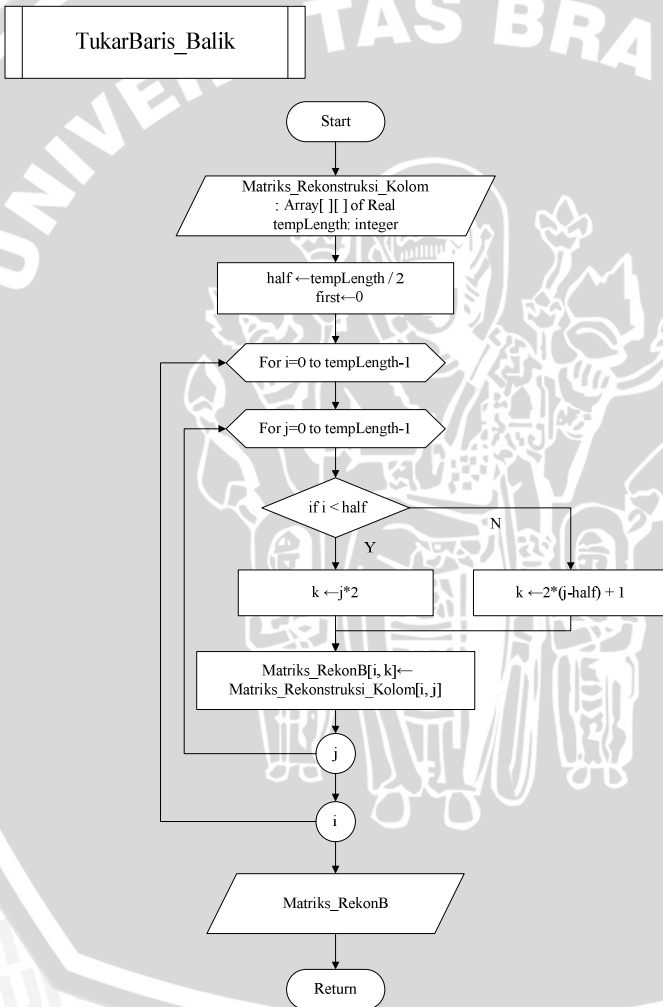


Gambar 3.14 Flowchart Proses Rekonstruksi terhadap Baris

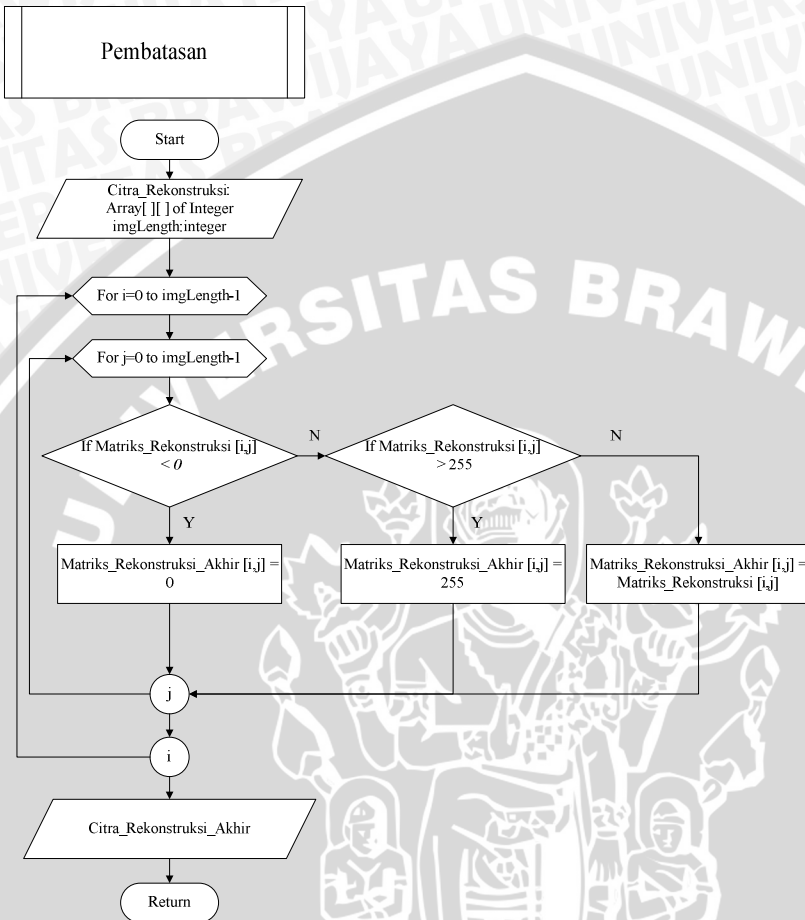
Langkah-langkah pada gambar 3.14 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memasukkan matriks hasil rekonstruksi terhadap kolom
2. Melakukan pertukaran baris balikan

3. Melakukan perulangan hingga mencapai ukuran matriks yang akan direkonstruksi
 4. Mengalikan matriks transformasi balikan dengan matriks hasil rekonstruksi terhadap kolom
 5. Kembali ke langkah no 2 dan seterusnya
- Adapun sub-proses pertukaran baris balikan ditunjukkan oleh gambar 3.15.



Gambar 3.15 Flowchart Proses Pertukaran Baris Balikan



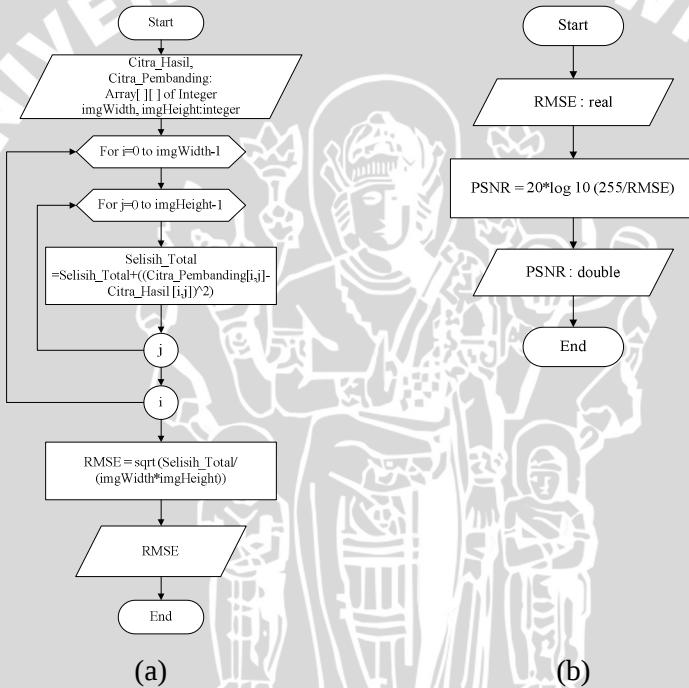
Gambar 3.16 *Flowchart* Proses Pembatasan

Langkah – langkah pada gambar 3.16 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memasukkan matriks citra hasil rekonstruksi akhir.
2. Melakukan iterasi sepanjang dimensi matriks citra hasil rekonstruksi
3. Melakukan proses pembatasan, yaitu jika nilai piksel citra hasil rekonstruksi melebihi 255, maka nilai piksel akan diset 255, sebaliknya jika nilai piksel citra hasil rekonstruksi kurang dari 0, maka nilai piksel akan di set 0.

3.3. Rancangan Uji Coba dan Evaluasi Hasil

Setelah proses pembangunan sistem berhasil diselesaikan, selanjutnya dilakukan uji coba terhadap kualitas citra yang telah ditajamkan dengan menghitung nilai PSNR (*peak signal-to-noise ratio*) antara citra pembanding yang memiliki nilai kontras normal (baik) dengan citra hasil penajaman. Proses menghitung PSNR ditunjukkan oleh gambar 3.17 (b). PSNR sendiri diperoleh setelah dilakukan perhitungan RMSE (*root mean square error*) yang ditunjukkan oleh gambar 3.17(a).



Gambar 3.17 (a) Flowchart Proses RMSE dan (b) Flowchart Proses PSNR

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai RMSE dan PSNR berdasarkan level dekomposisi dan nilai parameter penajaman. Tabel perancangan ujicoba yang menampilkan nilai RMSE dan PSNR pada setiap level dekomposisi dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Tabel Uji Coba

No	Citra Pembanding	Citra Hasil	Nilai Parameter Penajaman (K)	Nilai RMSE	Nilai PSNR

3.4. Studi Kasus Implementasi Transformasi Wavelet Daubechies 4 (db4) dalam Data Sampel Citra Medis Tumor Tulang

3.4.1. Proses Input

Misalkan ada sebuah blok piksel citra medis tumor tulang berukuran 8×8 seperti yang ditunjukkan oleh tabel 3.2.

Tabel 3.2 Blok Citra Asli

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	57	56	68	79	76	80	74	55
1	84	89	130	166	154	155	155	140
2	118	150	183	193	201	206	205	194
3	172	195	198	200	215	222	222	220
4	167	191	196	196	205	209	207	209
5	148	156	163	168	178	177	178	181
6	158	144	134	146	156	159	162	158
7	128	116	112	118	129	138	143	139

3.4.2. Dekomposisi

Langkah – langkah untuk melakukan dekomposisi adalah:

1. Mengalikan matriks transformasi yang ditunjukkan oleh tabel 3.3 dengan matriks blok citra asli. Dimana kedalaman level (N_{level}) dari dekomposisi adalah 2.

Tabel 3.3 Matriks Transformasi Wavelet Daubechies 4

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0	0	0
1	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0	0	0
2	0	0	$\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0
3	0	0	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0
4	0	0	0	0	$\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
5	0	0	0	0	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
6	$\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0	0	0	$\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
7	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0	0	0	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$

Hasil perkalian antara matriks transformasi dengan matriks blok citra asli ditunjukkan oleh tabel 3.4. Dimana bagian yang berwarna hitam merupakan bagian aproksimasi dan bagian yang berwarna merah adalah bagian detail.

Tabel 3.4 Matriks Hasil Dekomposisi Baris Level 1

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	101,987	109,883	156,984	194,394	182,759	185,742	182,620	158,689
1	-10,565	4,104	19,517	17,424	19,949	20,010	19,949	17,535
2	219,150	258,189	276,851	282,707	299,841	309,138	308,077	301,151
3	14,397	21,313	17,172	13,015	11,316	12,929	10,903	12,999
4	223,310	240,008	246,554	252,650	266,180	266,783	266,679	269,776
5	15,566	4,751	-3,898	2,121	1,768	-0,363	-0,233	-2,579
6	185,288	167,617	167,617	165,447	180,359	190,103	194,390	186,794
7	-42,025	-40,774	-48,347	-59,430	-59,903	-59,446	-65,974	-73,209

- Setelah diketahui bagian aproksimasi dan daerah detail, kemudian bagian aproksimasi dikumpulkan di bagian atas dan

bagian detail dikumpulkan di bagian bawah. Hal tersebut ditunjukkan oleh tabel 3.5.

Tabel 3.5 Matriks Hasil Pertukaran Baris

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	101,987	109,883	156,984	194,394	182,759	185,742	182,62	158,689
1	219,15	258,189	276,851	282,707	299,841	309,138	308,077	301,151
2	223,31	240,008	246,554	252,65	266,18	266,783	266,679	269,776
3	185,288	167,617	167,617	165,447	180,359	190,103	194,39	186,794
4	-10,565	4,104	19,517	17,424	19,949	20,010	19,949	17,535
5	14,397	21,313	17,172	13,015	11,316	12,929	10,903	12,999
6	15,566	4,751	-3,898	2,121	1,768	-0,363	-0,233	-2,579
7	-42,025	-40,774	-48,347	-59,430	-59,903	-59,446	-65,974	-73,209

3. Mengalikan matriks hasil dekomposisi baris pada tabel 3.5 dengan matriks transformasi pada tabel 3.3. Dan hasil dari perkalian tersebut ditunjukkan oleh tabel 3.6. Dimana bagian yang berwarna hitam merupakan bagian aproksimasi dan bagian yang berwarna merah adalah bagian detail.

Tabel 3.6 Matriks Hasil Dekomposisi Kolom Level 1

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	208,715	-39,590	165,439	21,480	262,029	-2,952	264,003	3,838
1	393,401	-59,862	362,224	15,168	403,350	9,167	435,624	2,106
2	362,237	-31,797	337,205	4,804	360,640	8,939	376,715	-0,680
3	267,624	2,055	241,288	-1,800	238,475	6,667	269,161	5,589
4	13,506	-20,808	8,236	11,806	25,995	1,262	28,576	0,512
5	17,512	-0,423	27,665	-0,709	18,528	-1,940	16,935	-1,502
6	4,693	13,232	5,306	-8,045	1,801	1,040	0,314	0,329
7	-91,048	17,880	-59,187	-1,991	-81,789	-1,827	-85,543	-2,317

4. Setelah diketahui bagian aproksimasi dan bagian detail, kemudian bagian aproksimasi dikumpulkan di bagian kiri dan bagian detail dikumpulkan di bagian kanan. Hal tersebut ditunjukkan oleh tabel 3.7.

Tabel 3.7 Matriks Hasil Pertukaran Kolom

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	208,715	165,439	262,029	264,003	-39,590	21,480	-2,952	3,838
1	393,401	362,224	403,350	435,624	-59,862	15,168	9,167	2,106
2	362,237	337,205	360,640	376,715	-31,797	4,804	8,939	-0,680
3	267,624	241,288	238,475	269,161	2,055	-1,800	6,667	5,589
4	13,506	8,236	25,995	28,576	-20,808	11,806	1,262	0,512
5	17,512	27,665	18,528	16,935	-0,423	-0,709	-1,940	-1,502
6	4,693	5,306	1,801	0,314	13,232	-8,045	1,040	0,329
7	-91,048	-59,187	-81,789	-85,543	17,880	-1,991	-1,827	-2,317

5. Melakukan proses dekomposisi terhadap baris dan kolom sampai dengan level 2. Hasil dari proses dekomposisi level 2 ditunjukkan oleh tabel 3.8. Dimana bagian yang berwarna hitam menunjukkan aproksimasi, bagian yang berwarna merah menunjukkan detail horizontal, bagian yang berwarna biru menunjukkan detail vertikal, dan bagian yang berwarna hijau menunjukkan detail diagonal.

Tabel 3.8 Matriks Hasil Dekomposisi Level 2

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	762,735	660,740	-33,362	30,065	-39,590	21,480	-2,952	3,838
1	586,664	528,538	-3,790	-3,185	-59,862	15,168	9,167	2,106
2	68,087	79,541	0,310	0,976	-31,797	4,804	8,939	-0,680
3	-149,498	-172,183	-12,242	41,563	2,055	-1,800	6,667	5,589
4	13,506	8,236	25,995	28,576	-20,808	11,806	1,262	0,512
5	17,512	27,665	18,528	16,935	-0,423	-0,709	-1,940	-1,502
6	4,693	5,306	1,801	0,314	13,232	-8,045	1,040	0,329
7	-91,048	-59,187	-81,789	-85,543	17,880	-1,991	-1,827	-2,317

3.4.3. Operasi Penajaman dan Rekonstruksi

Langkah – langkah pada operasi penajaman adalah:

1. Menentukan terlebih dahulu nilai parameter penajaman dan nilai *threshold*. Dimana pada percobaan kali ini, nilai parameter penajaman $K = 2$ dengan nilai *threshold* yang diperoleh

dengan menggunakan rumus yang dipaparkan pada persamaan 2.8, sehingga diperoleh nilai *threshold* $T = 38,700$.

2. Melakukan operasi penajaman dengan menggunakan fungsi *Piecewise Linear* yang dipaparkan pada persamaan 2.7. Dimana hasil dari operasi penajaman ditunjukkan oleh tabel 3.9.

Tabel 3.9. Matriks Hasil Operasi Penajaman pada Ranah Frekuensi dengan nilai $T = 38,700, K = 2$

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	763,735	661,740	-66,723	60,130	-78,290	42,960	-5,905	7,676
1	587,664	529,538	-7,580	-6,371	-98,562	30,335	18,334	4,212
2	69,087	80,541	0,619	1,951	-63,593	9,607	17,878	-1,359
3	-188,198	-210,883	-24,483	42,563	4,111	-3,601	13,333	11,177
4	27,012	16,472	51,991	57,151	-41,616	23,613	2,525	1,025
5	35,024	55,329	37,056	33,871	-0,846	-1,418	-3,879	-3,004
6	9,386	10,612	3,603	0,627	26,463	-16,091	2,080	0,658
7	-129,748	-97,887	-120,489	-124,244	35,760	-3,983	-3,654	-4,633

3. Setelah dilakukan operasi penajaman, kemudian dilakukan proses rekonstruksi pada level terdalam dengan operasi perkalian matriks antara matriks transformasi balikan pada level terdalam yang ditunjukkan oleh tabel 3.10. dengan matriks level terdalam hasil penajaman pada tabel 3.11.

Tabel 3.10 Matriks Transformasi Balikan Wavelet Daubechies 4

	0	1	2	3
0	$\frac{(1 + \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1 - \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3 - \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3 + \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
1	$\frac{(3 + \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3 - \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1 - \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1 + \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
2	$\frac{(3 - \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3 + \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1 + \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1 - \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
3	$\frac{(1 - \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1 + \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3 + \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3 - \sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$

Tabel 3.11 Matriks Level Terdalam

	0	1	2	3
0	763,735	-66,723	661,740	60,130
1	587,664	-7,580	529,538	-6,371
2	69,087	0,619	80,541	1,951
3	-188,198	-24,483	-210,883	42,563

Hasil dari rekonstruksi pada level terdalam ditunjukkan pada tabel 3.12. Dimana bagian yang berwarna hitam merupakan bagian aproksimasi dan bagian yang berwarna merah adalah bagian detail.

Tabel 3. 12 Matriks Rekonstruksi pada Level Terdalam (level 2)

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	176,511	157,119	269,782	265,895	-78,290	42,960	-5,905	7,676
1	405,171	387,836	459,288	472,463	-98,562	30,335	18,334	4,212
2	376,042	356,469	389,586	401,169	-63,593	9,607	17,878	-1,359
3	295,458	266,821	255,806	293,303	4,111	-3,601	13,333	11,177
4	27,012	16,472	51,991	57,151	-41,616	23,613	2,525	1,025
5	35,024	55,329	37,056	33,871	-0,846	-1,418	-3,879	-3,004
6	9,386	10,612	3,603	0,627	26,463	-16,091	2,080	0,658
7	-129,748	-97,887	-120,489	-124,244	35,760	-3,983	-3,654	-4,633

4. Kemudian dilakukan proses rekonstruksi pada level selanjutnya yang juga merupakan level terluar dengan operasi perkalian matriks antara matriks transformasi balikan pada level terluar yang ditunjukkan oleh tabel 3.13. dengan matriks hasil rekonstruksi level terdalam pada tabel 3.12.

Tabel 3.13 Matriks Transformasi Balikn Wavelet Daubechies 4
Level Terluar

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0	0	0	$\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
1	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0	0	0	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
2	$\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0	0	0
3	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0	0	0
4	0	0	$\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0
5	0	0	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	0	0
6	0	0	0	0	$\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$
7	0	0	0	0	$\frac{(1-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(1+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$\frac{(3+\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$	$-\frac{(3-\sqrt{3})}{4\sqrt{2}}$

5. Dan hasil dari perkalian tersebut yang juga merupakan hasil rekonstruksi akhir ditunjukkan oleh tabel 3.14.

Tabel 3.14 Matriks Rekonstruksi Akhir

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	33	36	60	62	60	63	56	27
1	49	98	153	176	165	160	167	142
2	90	164	228	227	247	234	242	219
3	166	207	218	217	244	226	237	229
4	174	229	240	228	250	238	243	243
5	130	159	171	170	194	180	189	192
6	187	170	160	164	187	177	191	180
7	148	135	144	129	153	155	173	162

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Lingkungan Sistem

Lingkungan sistem yang akan dijelaskan dalam subbab ini adalah lingkungan perangkat keras dan perangkat lunak.

4.1.1. Lingkungan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam pembuatan aplikasi “Penajaman Citra Medis Tumor Tulang Menggunakan Transformasi Wavelet Daubechies 4” ini adalah sebagai berikut :

1. Prosesor Intel Pentium Dual Core 1.86 GHz
2. Memori 512 MB
3. *Harddisk* dengan kapasitas 160 GB
4. *Monitor* 12”
5. *Keyboard*
6. *Mouse*

4.1.2. Lingkungan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam pembuatan aplikasi “Penajaman Citra Medis Tumor Tulang Menggunakan Transformasi Wavelet Daubechies 4” adalah sebagai berikut :

1. Sistem Operasi Windows XP *Home edition* SP 3
2. Borland Delphi7

4.2. Implementasi Program

Di dalam implementasi terdapat beberapa fungsi dan prosedur untuk menyelesaikan permasalahan.

4.2.1. Struktur Data

Struktur data yang digunakan untuk menyimpan sebuah nilai piksel warna dalam citra adalah *array* dua dimensi. Struktur data tersebut sebagai berikut :

type

```
TArr2DInt = array of array of integer;  
TArr2DReal = array of array of real;
```

Sebuah citra warna bisa digambarkan sebagai sebuah matriks atau *array* dua dimensi yang berisi piksel – piksel warna. Sehingga untuk menyimpan piksel – piksel warna tersebut, disediakan dua buah *array* dua dimensi yang masing – masing memiliki tipe data *integer* yaitu TArr2DInt dan memiliki tipe data *real* yaitu TArr2DReal. Selain digunakan untuk menyimpan data piksel warna dalam citra, struktur data di atas juga digunakan untuk menyimpan nilai koefisien dari transformasi Wavelet Daubechies 4 dan transformasi balikan Wavelet Daubechies 4. Sedangkan untuk menyimpan pendefinisian awal nilai dari koefisien transformasi Wavelet Daubechies 4 dan transformasi balikan Wavelet Daubechies 4, disediakan *array* bertipe *real* sebagai berikut:

```
type
  TCoef = array [0..1, 0..3] of real;
```

Setelah citra mengalami proses dekomposisi, maka akan terbentuk beberapa matriks bagian yang akan disimpan dalam sebuah *array*. Sebelum disimpan ke dalam *array*, terlebih dahulu matriks bagian dimasukkan ke dalam *record* TempPartial seperti berikut:

```
type
  TempPartial = record
    ArrPartial: TArr2DReal;
  end;

type
  TArrPart = array of TempPartial;
```

Record TempPartial terdiri dari 1 elemen yaitu data bertipe TArr2DReal yang menyimpan matriks bagian hasil dari proses dekomposisi. Beberapa matriks bagian hasil dari proses dekomposisi tersebut kemudian disimpan ke dalam TArrPart yang mana TArrPart merupakan *array* bertipe TempPartial.

4.2.2. Proses Input

Pada perangkat lunak ini, citra yang dapat diproses adalah citra digital bertipe **bmp*. Citra yang bertipe selain tipe ini tidak diproses, sehingga pada awal proses pengambilan citra telah dilakukan filter pada komponen OpenPictureDialog (OPD). Pada saat mengambil citra, diambil juga informasi citra tersebut berupa nama *file*, lebar dan panjang citra, serta ukuran *file*. Selain itu, 52

setiap citra masukan juga akan diubah dari citra berwarna menjadi citra *greyscale*. Proses secara lebih rinci dapat dilihat pada *source code* 4.1. Proses filter tipe citra masukan, terlihat pada baris 8. Proses pengambilan informasi citra terlihat pada baris 66 – 98. Dan proses konversi citra berwarna menjadi *grayscale* terlihat pada baris 52 – 56, secara lebih rinci proses konversi tersebut dapat dilihat pada *source code* 4.2.

```

1  if OPD.Execute then
2  begin
3      Screen.Cursor:= crHourGlass;
4      filename:= OPD.FileName;
5      ext:= ExtractFileExt(OPD.FileName);
6
7      try
8          if ext = '.bmp' then
9              begin
10
11                  if Assigned(BitmapInput) then
12                      BitmapInput.Free;
13
14                  BitmapInput:= TBitmap.Create;
15                  Picture:= TPicture.Create;
16
17                  progressrun(6, 12);
18
19                  try
20                      Picture.LoadFromFile(OPD.FileName);
21
22                      try
23                          BitmapInput.Assign(Picture.Graphic);
24                      except
25                          BitmapInput.Width:= Picture.Graphic.Width;
26                          BitmapInput.Height:= Picture.Graphic.Height;
27                          BitmapInput.PixelFormat:= pf24Bit;
28                          BitmapInput.Canvas.Draw(0, 0,
29                                                  Picture.Graphic);
30                      end;
31                  finally
32                      Picture.Free;
33                  end;
34
35                  BitmapInput.PixelFormat:= pf24Bit;
36                  ColorCount:=CountColors(BitmapInput);
37                  Converted:= false;
38
39                  for j:= 0 to BitmapInput.Height - 1 do
40                      begin
41                          row:= BitmapInput.ScanLine[j];
42                          for i:= 0 to BitmapInput.Width - 1 do
43                              begin
44                                  with row[i] do

```

```

45      begin
46          if (rgbtRed <> rgbtGreen) or
47              (rgbtRed <> rgbtBlue) then
48              begin
49                  Converted:= true;
50
51                  //.. mengubah nilai RGB menjadi Y dalam YIQ
52                  Intensity:= RGBTripleToY(row[i]);
53
54                  rgbtRed:= Intensity;
55                  rgbtGreen:= Intensity;
56                  rgbtBlue:= Intensity;
57              end;
58          end;
59      end;
60  end;
61
62  GrayCount:=CountColors(BitmapInput);
63  Image.Picture.Graphic:= BitmapInput;
64
65  //..mengambil informasi tentang citra
66  Assignfile(f, filename);
67  reset(f);
68  z:= FileSize(f);
69  a:= trunc(z/1000);
70  b:= z mod 1000;
71
72  progressrun(49, 55);
73
74  if a >= 1000 then
75      begin
76          b:= a mod 1000;
77          a:= trunc(a/1000);
78          b:= trunc(b/10);
79          if (b<10) then
80              isize:= inttostr(a) + ',0' + inttostr(b) +
81                  'MB'
82          else
83              isize:= inttostr(a) + ',' + inttostr(b) +
84                  'MB';
85          end
86      else
87          begin
88              b:= trunc(b/10);
89              if b < 10 then
90                  isize:= inttostr(a) + ',0' + inttostr(b) +
91                      'KB'
92              else
93                  isize:= inttostr(a) + ',' + inttostr(b) +
94                      'KB';
95          end;
96      //..mengatur posisi citra dalam kanvas
97      Image.Proportional:= true;
98      Image.Center:= true;

```

Source Code 4.1 Potongan Prosedur OpenPicture

```

1  function RGBTripleToY (const RGB: TRGBTriple): integer;
2  begin
3      with RGB do
4          result:= integer(77*rgbtRed + 150*rgbtGreen +
5                          29*rgbtBlue) shr 8;
6          //...shr 8 setara dengan div 2^8 (div 256)
7  end;

```

Source Code 4.2 Prosedur RGBTripleToY

Pengolahan citra selanjutnya akan menggunakan citra berukuran $n \times n$ (matriks persegi) untuk dapat dilakukan transformasi. Oleh karena itu, dibutuhkan pengecekan ukuran citra dan apabila citra masukan berukuran $m \times n$ atau $n \times m$ (matriks persegi panjang), maka akan dilakukan penambahan piksel hitam (0) hingga citra tersebut berukuran $n \times n$. Selain itu, untuk mengoptimalkan proses transformasi, citra yang digunakan harus berukuran kelipatan 8, mengingat matriks koefisien Wavelet Daubechies 4 berukuran 2×4 . Sehingga perlu dilakukan penambahan piksel hitam (0) hingga citra tersebut berukuran kelipatan 8. Prosedur ini ditunjukkan pada *source code 4.3*.

```

1  procedure TF_Sharpen.ArrImgInit;
2  var
3      i, j, mod_imgWidth, mod_imgHeight: integer;
4      tempWid, tempHei: integer;
5      Clr: TColor;
6  begin
7      imgWidth:= F_Main.Image1.Picture.Width;
8      imgHeight:= F_Main.Image1.Picture.Height;
9      mod_imgWidth:= imgWidth mod 8;
10     mod_imgHeight:= imgHeight mod 8;
11
12     if (imgWidth < imgHeight) then
13         begin
14             if (mod_imgHeight <> 0) then
15                 tempHei:= imgHeight + (8 - mod_imgHeight)
16             else
17                 tempHei:= imgHeight;
18
19             SetArray(ImgPixel, tempHei, tempHei);
20
21             for i:=imgWidth to tempHei-1 do
22                 for j:=0 to tempHei-1 do
23                     begin
24                         ImgPixel[i, j]:= 0;
25                     end;
26             end
27         else if (imgWidth > imgHeight) then
28             begin
29                 if (mod_imgWidth <> 0) then

```

```

30      tempWid:= imgWidth + (8 - mod_imgWidth)
31  else
32      tempWid:= imgWidth;
33
34      SetArray(ImgPixel, tempWid, tempWid);
35
36      for i:=0 to tempWid-1 do
37          for j:=imgHeight to tempWid-1 do
38              begin
39                  ImgPixel[i, j]:= 0;
40              end;
41  end
42  else
43      begin
44          if (mod_imgHeight <> 0) and (mod_imgWidth <> 0) then
45              begin
46                  tempHei:= imgHeight + (8 - mod_imgHeight);
47                  tempWid:= imgWidth + (8 - mod_imgWidth);
48
49                  SetArray(ImgPixel, tempWid, tempHei);
50
51                  for i:=imgWidth to tempHei-1 do
52                      for j:=0 to tempHei-1 do
53                          begin
54                              ImgPixel[i, j]:= 0;
55                          end;
56
57                      for i:=0 to tempWid-1 do
58                          for j:=imgHeight to tempWid-1 do
59                              begin
60                                  ImgPixel[i, j]:= 0;
61                              end;
62                          end
63                      else
64                          begin
65                              tempHei:= imgHeight;
66                              tempWid:= imgWidth;
67                              SetArray(ImgPixel, tempWid, tempHei);
68                          end;
69                      end;
70
71                  for i:= 0 to imgWidth - 1 do
72                      for j:= 0 to imgHeight - 1 do
73                          begin
74                              Clr:= F_Main.Image1.Picture.Bitmap.Canvas.
75                                  Pixels[i, j];
76                              ImgPixel[i, j]:= getYvalue(Clr);
77                          end;
78  end;

```

Source Code 4.3 Prosedur ArrImgInit

4.2.3. Proses Pendefinisian *Filter* Wavelet Daubechies 4

Sebelum terjadi proses perkalian antara matriks *filter* Wavelet Daubechies 4 dengan matriks citra, maka perlu didefinisikan terlebih dahulu nilai dari matriks *filter* Wavelet Daubechies 4.

Pertama, nilai awal koefisien Wavelet Daubechies 4 dideklarasikan terlebih dahulu. Pendeklarasian ini ditunjukkan oleh *source code* 4.4.

```
1  var
2  //... pendeklarasian nilai awal CoefDB4 (koefisien DB4)
3  //dan CoefDB4Inv (koefisien DB4 balikan)
4  CoefDB4: TCoef = ((0.483, 0.837, 0.244, -0.129),
5                    (-0.129, -0.244, 0.837, -0.483));
6  CoefDB4Inv: TCoef = ((0.233, 0.833, 0.474, -0.144),
7                      (-0.144, -0.474, 0.833, -0.233));
```

Source Code 4.4 Pendeklarasian Nilai Awal Koefisien Wavelet Daubechies 4

Setelah nilai awal koefisien Wavelet Daubechies 4 dideklarasikan, kemudian dilakukan pembentukan matriks filter *filter* Wavelet Daubechies 4. Proses tersebut ditunjukkan oleh *source code* 4.5.

```
1  function TWaveDB4.CoeffCreate(Coef: TCoef; m, n: integer):
2                                     TArr2DReal;
3  var
4      i, j, k, l: integer;
5      new_i, new_j: integer;
6      cf_w, cf_h: integer;
7      ArrCoef: TArr2DReal;
8  begin
9      SetArray(ArrCoef, m, n); //... inisialisasi array 2D
10     cf_w:= length(Coef);
11     cf_h:= length(Coef[0]);
12
13     for i:= 0 to m-1 do
14         for j:=0 to n-1 do
15             ArrCoef[i, j]:= 0;
16
17     for i:= 0 to m-1 do
18         begin
19             for j:=0 to n-1 do
20                 begin
21                     if (i mod 2 = 0) and (i = j) then
22                         begin
23                             for k:= 0 to cf_w - 1 do
24                                 for l:= 0 to cf_h - 1 do
```

```

25      begin
26          if ((i + k) > m - 1) then
27              new_i:= (i + k) - m
28          else
29              new_i:= i + k;
30
31          if (j + 1) > (n - 1) then
32              new_j:= (j + 1) - n
33          else
34              new_j:= j + 1;
35
36          ArrCoef[new_i, new_j]:= Coef[k, 1];
37      end;
38  end;
39  end;
40  end;
41
42  Result:= ArrCoef;
43  end;

```

Source Code 4.5 Fungsi CoefCreate

4.2.4. Proses Dekomposisi

Seperti yang telah dijabarkan sebelumnya, proses transformasi Wavelet Daubechies 4 dilakukan dengan melakukan dekomposisi (*subsampling* frekuensi) citra. Prosesnya dimulai dengan melakukan perkalian *filter* Wavelet Daubechies 4 terhadap baris, kemudian kolom.

Dalam program yang dibuat, proses dekomposisi dilakukan sepanjang jumlah level dekomposisi. Untuk setiap level dekomposisi akan terjadi proses *subsample* dengan 2 ($\downarrow 2$). Dan hasil dari tiap level dekomposisi lantas disimpan dalam variabel *array* bernama ArrDekom, dimana *array* tersebut menyimpan matriks ArrPartial yang berisikan matriks hasil dekomposisi di setiap levelnya. Secara rinci, proses tersebut bisa dilihat pada *source code* 4.6.

```

1  function TWaveDB4.Decomposition (A: TArr2DInt): TArrPart;
2  var
3      L: integer;
4      i, j, m, n: integer;
5      DB4: TArr2DReal;
6      ArrNew, ArrMulti1, ArrMulti2, ArrRSwap: TArrPart;
7      ArrCSwap, ArrDekom: TArrPart;
8  begin
9      m:= length(A);
10     n:= length(A[0]);
11
12     SetLength(ArrNew, level);
13     SetLength(ArrMulti1, level);

```

```

14 SetLength(ArrMulti2, level);
15 SetLength(ArrRSwap, level);
16 SetLength(ArrCSwap, level);
17 SetLength(ArrDekom, level);
18
19 for L:= 0 to level - 1 do
20 begin
21   SetArray(ArrNew[L].ArrPartial, m, n);
22   SetArray(ArrMulti1[L].ArrPartial, m, n);
23   SetArray(ArrMulti2[L].ArrPartial, m, n);
24   SetArray(ArrRSwap[L].ArrPartial, m, n);
25   SetArray(ArrCSwap[L].ArrPartial, m, n);
26   SetArray(ArrDekom[L].ArrPartial, m, n);
27
28   if L = 0 then
29     begin
30       for i:= 0 to m - 1 do
31         for j:= 0 to n - 1 do
32           ArrNew[L].ArrPartial[i, j]:= A[i, j];
33       end
34     else
35       begin
36         for i:= 0 to m - 1 do
37           for j:= 0 to n - 1 do
38             ArrNew[L].ArrPartial[i, j]:= ArrDekom[L-1].
39                                   ArrPartial[i, j];
40         end;
41
42         DB4:= DB4Create(m, n);
43         ArrMulti1[L].ArrPartial:= ArrMultiple(DB4,
44                                   ArrNew[L].ArrPartial);
45         ArrRSwap[L].ArrPartial:= RowSwap(ArrMulti1[L].
46                                           ArrPartial);
47         ArrMulti2[L].ArrPartial:= ArrMultiple(DB4,
48                                   ArrRSwap[L].ArrPartial);
49         ArrCSwap[L].ArrPartial:= ColSwap(ArrMulti2[L].
50                                           ArrPartial);
51         ArrDekom[L].ArrPartial:= ArrCSwap[L].ArrPartial;
52
53         m:= m div 2;
54         n:= n div 2;
55       end;
56
57       Result:= ArrDekom;
58     end;

```

Source Code 4.6 Fungsi Decomposition

4.2.5. Proses Perkalian Matriks

Dalam setiap proses dekomposisi akan terjadi proses perkalian antara *filter* Wavelet Daubechies 4 dengan matriks citra. Demikian pula dengan proses rekonstruksi, dalam proses tersebut akan terjadi proses perkalian antara *filter* Wavelet Daubechies 4

balikan dengan matriks hasil dekomposisi. Adapun proses perkalian dari dekomposisi dan rekonstruksi tersebut memiliki prinsip yang sama dan bisa dilihat pada *source code* 4.7.

```

1  function ArrMultiple(A: TArr2DReal; B: TArr2DReal):
2      TArr2DReal;
3
4  var
5      i, j, k: integer;
6      m, n, o: integer;
7      C: TArr2DReal;
8  begin
9      m:= length(A);
10     n:= length(A[0]);
11     o:= length(B[0]);
12     SetArray(C, m, o);
13
14     for i:= 0 to m-1 do
15         for j:= 0 to n-1 do
16             for k:=0 to o-1 do
17                 C[i, j]:= C[i, j] + (A[i, k] * B[k, j]);
18
19     Result:= C;
20 end;
```

Source Code 4.7 Fungsi ArrMultiple

4.2.6. Proses Pertukaran Baris dan Kolom

Proses pertukaran baris dan kolom akan dilakukan pada setiap proses dekomposisi. Hal tersebut bertujuan untuk mengumpulkan bagian aproksimasi dan bagian detailnya. Fungsi pertukaran baris bisa dilihat pada *source code* 4.8. Sedangkan fungsi pertukaran kolom bisa dilihat pada *source code* 4.9.

```

1  function RowSwap(A: TArr2DReal): TArr2DReal;
2  var
3      i, j, k, first, half: integer;
4      m, n: integer;
5      ARS: TArr2DReal;
6  begin
7      m:= length(A);
8      n:= length(A[0]);
9      SetArray(ARS, m, n);
10
11     for i:= 0 to m - 1 do
12         begin
13             half:= m div 2;
14             first:= 0;
15
16             for j:= 0 to n - 1 do
17                 begin
```

```

18   if ((j mod 2) <> 0) then
19       begin
20         k:= half;
21         half:= half + 1;
22       end
23     else
24       begin
25         k:= first;
26         first:= first + 1;
27       end;
28
29     ARS[i, k]:= A[i, j];
30   end;
31 end;
32
33 Result:= ARS;
34 end;

```

Source Code 4.8 Fungsi RowSwap

```

1  function ColSwap(A: TArr2DReal): TArr2DReal;
2  var
3    i, j, k, first, half : integer;
4    m, n: integer;
5    ACS: TArr2DReal;
6  begin
7    m:= length(A);
8    n:= length(A[0]);
9    SetArray(ACS, m, n);
10
11    half:= m div 2;
12    first:= 0;
13
14    for i:= 0 to m - 1 do
15      begin
16        if ((i mod 2) <> 0) then
17          begin
18            k:= half;
19            half:= half + 1;
20          end
21        else
22          begin
23            k:= first;
24            first:= first + 1;
25          end;
26
27        for j:= 0 to n - 1 do
28          begin
29            ACS[k, j]:= A[i, j];
30          end;
31        end;
32
33      Result:= ACS;
34    end;

```

Source Code 4.9 Fungsi ColSwap

4.2.7. Proses Menggabungkan Matriks Parsial

Karena dalam proses dekomposisi matriks citra telah mengalami proses *subsampling*, sehingga matriks dibagi dalam bagian – bagian yang lebih kecil sesuai dengan tingkat kedalaman levelnya. Oleh karena itu harus dibuat sebuah fungsi yang dapat menyatukan kembali matriks citra seperti ukuran semula agar dapat dilakukan proses perbaikan citra secara utuh. Adapun proses tersebut ditampilkan pada *source code* 4.10.

```
1  function TWaveDB4.PartialToNormal (A: TArrPart):  
2  TArr2DReal;  
3  var  
4  L: integer;  
5  i, j, m, n: integer;  
6  BuffNormal: TArr2DReal;  
7  begin  
8  m:= Wl;  
9  n:= He;  
10 SetArray(BuffNormal, m, n);  
11  
12 for L:= 0 to level - 1 do  
13 begin  
14   for i:= 0 to m - 1 do  
15   begin  
16     for j:= 0 to n - 1 do  
17     begin  
18       BuffNormal[i, j]:= A[L].ArrPartial[i, j];  
19     end;  
20   end;  
21  
22   m:= m div 2;  
23   n:= n div 2;  
24 end;  
25  
26 Result:= BuffNormal;  
27 end;
```

Source Code 4.10 Fungsi PartialToNormal

Hasil penggabungan matriks parsial dari tiap level disimpan dalam variable sementara bernama BuffNormal.

4.2.8. Proses Penajaman (*Piecewise Linear Function*)

Proses penajaman citra dilakukan dalam ranah frekuensi. Dimana nilai piksel citra telah dipisahkan berdasarkan frekuensi tinggi dan rendah yang telah disimpan dalam komponen detail dan aproksimasi.

Dalam ranah frekuensi proses penajaman dilakukan dengan menggunakan fungsi *Piecewise Linear*. Fungsi tersebut dalam prakteknya memanfaatkan nilai *threshold* sebagai penyeleksi nilai piksel – piksel citra untuk selanjutnya dilakukan proses penajaman. Fungsi *Piecewise Linear* dapat dilihat pada *source code* 4.11. Sedangkan untuk mendapatkan nilai *threshold*, dibuat fungsi tersendiri yang ditunjukkan oleh *source code* 4.12.

```

1  function ThresSelect(A: TArr2DReal; T: real): TArr2DReal;
2  var
3      i, j, m, n: integer;
4      Threshold: real;
5      ATS: TArr2DReal;
6  begin
7      m:= length(A);
8      n:= length(A[0]);
9      SetArray(ATS, m, n);
10
11      Threshold:= ThresCalc(A);
12
13      for i:= 0 to m - 1 do
14      begin
15          for j:= 0 to n - 1 do
16          begin
17              if (A[i, j] < (-1 * Threshold)) then
18                  ATS[i, j]:= A[i, j] - ((k - 1) * Threshold)
19              else if (abs(A[i, j]) < Threshold) or (abs(A[i, j])
20                  = Threshold) then
21                  ATS[i, j]:= k * A[i, j]
22              else if (A[i, j] > 1*Threshold) then
23                  ATS[i, j]:= A[i, j] + (k - 1);
24              end;
25          end;
26
27      Result:= ATS;
28  end;

```

Source Code 4.11 Fungsi ThresSelect

```

1  function ThresCalc(A: TArr2DReal): Real;
2  var
3      i, j, m, n, dvd: integer;
4      sum, mean, dev, dev1, varian: real;
5      ThresVal: real;
6  begin
7      m:= length(A);
8      n:= length(A[0]);
9
10     dev:= 0;
11     sum:= 0;
12     dvd:= m * n;
13

```

```

14  for i:= 0 to m - 1 do
15      for j:= 0 to n - 1 do
16          sum:= sum + A[i, j];
17
18  mean:= sum/ dvd;
19
20  for i:= 0 to m - 1 do
21      for j:= 0 to n - 1 do
22          dev:= dev + sqr(A[i, j] - mean);
23
24  dev1:= dev/ (dvd - 1);
25
26  varian:= sqrt(dev1);
27
28  ThresVal:= varian * sqrt((2 *log10(dvd))/dvd);
29
30  Result:= ThresVal;
31 end;

```

Source Code 4.12 Fungsi ThresCalc

4.2.9. Proses Memisahkan Kembali Matriks Citra Menjadi Blok – Blok Matriks

Setelah matriks citra dalam ranah frekuensi melalui proses penajaman menggunakan fungsi *Piecewise Linear*, maka perlu dilakukan pemisahan kembali matriks citra dalam sejumlah blok matriks sesuai jumlah level dekomposisinya. Untuk kemudian, dilakukan proses rekonstruksi. Fungsi pemisahan kembali matriks citra ke dalam blok – blok matriks ditunjukkan oleh *source code* 4.13.

```

1  function TWaveDB4.NormalToPartial (A: TArr2DReal):
2      TArrPart;
3  var
4      L: integer;
5      i, j, m, n: integer;
6      BuffPart: TArrPart;
7  begin
8      m:= Wi;
9      n:= He;
10     SetLength(BuffPart, level);
11
12     for L:= 0 to level - 1 do
13         begin
14             SetArray(BuffPart[L].ArrPartial, m, n);
15
16             for i:= 0 to m - 1 do
17                 begin
18                     for j:= 0 to n - 1 do
19                         begin
20                             BuffPart[L].ArrPartial[i, j]:= A[i, j];

```

21	end;
22	end;
23	
24	m:= m div 2;
25	n:= n div 2;
26	end;
27	
28	Result:= BuffPart;
29	end;

Source Code 4.13 Fungsi NormalToPartial

Blok matriks tiap level disimpan dalam variabel BuffPart yang berisikan matriks ArrPartial.

4.2.10. Proses Rekonstruksi

Proses rekonstruksi adalah proses terakhir dalam urutan program perbaikan (penajaman) citra ini. Prosesnya dimulai dengan melakukan perkalian *filter* Wavelet Daubechies 4 balikan terhadap kolom, kemudian baris. Proses ini berfungsi untuk mengembalikan format dan ukuran citra kembali ke domain spasial, agar dapat dibaca. Proses rekonstruksi dilakukan sepanjang level dekomposisi. Dimana pada setiap levelnya dilakukan proses *upsample* oleh 2 ($\uparrow 2$). Proses rekonstruksi terdapat dalam *source code* 4.14.

1	function TWaveDB4.Reconstruction (A: TArrPart):
2	TArr2DReal;
3	var
4	L: integer;
5	i, j, m, n, hm, hn: integer;
6	ArrRMulti1, ArrRMulti2, ArrRRSwap, ArrRCSwap,
7	Buff2Recon: TArrPart;
8	DB4Inv, ArrRecon, Buff1Recon: TArr2DReal;
9	begin
10	m:= length(A[level - 1].ArrPartial);
11	n:= length(A[level - 1].ArrPartial[0]);
12	
13	SetLength(ArrRMulti1, level);
14	SetLength(ArrRMulti2, level);
15	SetLength(ArrRRSwap, level);
16	SetLength(ArrRCSwap, level);
17	SetLength(Buff2Recon, level);
18	
19	for L:= level - 1 downto 0 do
20	begin
21	SetArray(Buff1Recon, m, n);
22	
23	if L = (level - 1) then
24	begin
25	for i:= 0 to m - 1 do

```

26     for j:= 0 to n - 1 do
27         Buff1Recon[i, j]:= A[L].ArrPartial[i, j];
28     end
29     else
30     begin
31         for i:= 0 to m - 1 do
32         begin
33             hm:= m div 2;
34             if (i < hm) then
35             begin
36                 for j:= 0 to n - 1 do
37                 begin
38                     hn:= n div 2;
39                     if (j < hn) then
40                         Buff1Recon[i, j]:= Buff2Recon[L + 1].
41                             ArrPartial[i, j]
42                     else
43                         Buff1Recon[i, j]:= A[L].ArrPartial[i, j];
44                     end;
45                 end
46             else
47             begin
48                 for j:= 0 to n - 1 do
49                     Buff1Recon[i, j]:= A[L].ArrPartial[i, j];
50                 end;
51             end;
52         end;
53
54         SetArray(ArrRecon, m, n);
55         SetArray(ArrRMulti1[L].ArrPartial, m, n);
56         SetArray(ArrRMulti2[L].ArrPartial, m, n);
57         SetArray(ArrRRSwap[L].ArrPartial, m, n);
58         SetArray(ArrRCSwap[L].ArrPartial, m, n);
59         SetArray(Buff2Recon[L].ArrPartial, m, n);
60
61         DB4Inv:= DB4InvCreate(m, n);
62
63         ArrRCSwap[L].ArrPartial:= ColRevSwap(Buff1Recon);
64         ArrRMulti1[L].ArrPartial:= ArrMultiple(DB4Inv,
65             ArrRCSwap[L].ArrPartial);
66         ArrRRSwap[L].ArrPartial:= RowRevSwap(ArrRMulti1[L].
67             ArrPartial);
68         ArrRMulti2[L].ArrPartial:= ArrMultiple(DB4Inv,
69             ArrRRSwap[L].ArrPartial);
70
71         Buff2Recon[L].ArrPartial:= ArrRMulti2[L].ArrPartial;
72
73         if L = 0 then
74         begin
75             SetArray(ArrRecon, m, n);
76             ArrRecon:= Buff2Recon[L].ArrPartial;
77         end;
78
79         m:= m * 2;
80         n:= n * 2;

```

81	end;
82	
83	Result:= ArrRecon;
84	end;

Source Code 4.14 Fungsi Reconstruction

4.2.11. Proses Pembalik Pertukaran Baris dan Kolom

Seperti telah dijelaskan dalam proses dekomposisi, baris dan kolom dalam matriks citra telah saling ditukar, dan dalam proses rekonstruksi, baris dan kolom tersebut harus dikembalikan pada posisi semula agar informasi citra dapat dibaca kembali.

Untuk itu, dibuat proses pembalik pertukaran baris dan kolom. Fungsi pertukaran baris bisa dilihat pada *source code* 4.15. Sedangkan fungsi pertukaran kolom bisa dilihat pada *source code* 4.16.

1	function RowRevSwap(A: TArr2DReal): TArr2DReal;
2	var
3	i, j, k, half: integer;
4	m, n: integer;
5	ACRS: TArr2DReal;
6	begin
7	m:= length(A);
8	n:= length(A[0]);
9	SetArray(ACRS, m, n);
10	
11	half:= m div 2;
12	
13	for i:= 0 to m - 1 do
14	begin
15	for j:= 0 to n - 1 do
16	begin
17	if (j < half) then
18	k:= j * 2;
19	else
20	k:= 2 * (j-half) + 1;
21	ACRS[i, k]:= A[i, j];
22	end ;
23	end ;
24	end ;
25	
26	Result:= ACRS;
27	end ;

Source Code 4.15 Fungsi RowRevSwap

1	function ColRevSwap(A: TArr2DReal): TArr2DReal;
2	var
3	i, j, k, half: integer;
4	m, n: integer;

```

5  ARR: Tarr2DReal;
6  begin
7    m:= length(A);
8    n:= length(A[0]);
9    SetArray(ARR, m, n);
10
11   half:= m div 2;
12
13   for i:= 0 to m - 1 do
14     begin
15       for j:= 0 to n - 1 do
16         begin
17           if (i < half) then
18             k:= i * 2
19           else
20             k:= 2 * (i-half) + 1;
21
22           ARR[k, j]:= A[i, j];
23         end;
24       end;
25
26       Result:= ARR;
27     end;

```

Source Code 4.16 Fungsi ColRevSwap

4.2.12. Proses Lengkap

Proses lengkap SharpProc merupakan proses urutan dekomposisi-penajaman-rekonstruksi dengan satu buah masukan gambar. Fungsi SharpProc ditampilkan pada *source code* 4.17.

```

1  procedure TWaveDB4.SharpProc;
2  var
3    i, j, m, n: integer;
4  begin
5    SetArray(NewPixel, W1, He);
6    SetLength(DecomValue, Level);
7
8    DecomValue:= Decomposition (NewPixel);
9    ANormal:= PartialToNormal(DecomValue);
10
11   TValue:= ThresCalc(ANormal);
12   CreateCon(conVal);
13   PWResult:= ThresSelect(ANormal, TValue);
14
15   APartial:= NormalToPartial(PWResult);
16   BuffValue:= Reconstruction(APartial);
17   m:= length(BuffValue);
18   n:= length(BuffValue[0]);
19
20
21   SetArray(ReconValue, m, n);
22

```

23	for i:= 0 to m - 1 do
24	for j:= 0 to n - 1 do
25	ReconValue[i, j]:= Round(BuffValue[i, j]);
26	
27	end;

Source Code 4.17 Prosedur SharpProc

4.2.13. Proses Pembatasan

Setelah didapat matriks citra hasil rekonstruksi, terkadang ada beberapa piksel yang nilainya diluar ketentuan $0 \leq \text{piksel} \leq 255$, ada yang lebih kecil dari 0 dan ada yang lebih besar dari 255. Hal tersebut dipengaruhi oleh proses penajaman yang dilakukan dalam ranah frekuensi.

Oleh karena itu, perlu suatu fungsi untuk membatasi nilai piksel citra. Fungsi tersebut ditunjukkan oleh *source code* 4.18.

1	function TF_Sharpener.ByteRange (R: real): byte;
2	begin
3	if R < 0 then
4	Result:= 0
5	else if R > 255 then
6	Result:= 255
7	else
8	Result:= Round(R);
9	end;

Source Code 4.18 Prosedur ByteRange

4.3. Implementasi Pengujian

Setelah dilakukan proses lengkap transformasi Wavelet Daubechies 4 dan proses pembatasan, didapatkan nilai citra keluaran. Nilai keluaran ini digunakan sebagai pembanding dengan nilai citra pembanding dengan kontras normal, sehingga didapatkan nilai kesalahan pikselnya. Berikut merupakan proses pengujian kesalahan dengan RMSE (*Root Mean Square Error*) yang dibuat dalam fungsi getMSE, seperti pada *source code* 4.19.

1	function TF_Psnr.getMSE(Img1, Img2: TImage): real;
2	var
3	i, j: integer;
4	n_height, n_width: integer;
5	gY, temp: real;
6	RMSE: rela;
7	begin
8	n_height:=I_NC.Height;
9	n_width:=I_sharp.Width;

```

10 temp:=0;
11 for i:=0 to n_height do
12 begin
13   for j:=0 to n_width do
14     begin
15       gY:= GetValue(getpixel(Img1.Canvas.Handle,i,j)) -
16             GetValue(getpixel(Img2.Canvas.Handle,i,j));
17       temp:=temp + sqr(gY);
18     end;
19   end;
20   RMSE:=sqrt(temp/(n_height*n_width));
21
22   Result:= RMSE;
23 end;

```

Source Code 4.19 Fungsi getRMSE

Sedangkan, untuk mengetahui rasio nilai piksel keluaran dengan nilai *noise*, dilakukan pengujian PNSR. Nilai masukan PNSR adalah hasil RMSE. Proses pengujian PNSR ditampilkan pada *source code* 4.20.

```

1 function TF_AR.getPSNR(rmse: real): real;
2 var
3   PSNR: real;
4 begin
5   PSNR:=20*log10(255/RMSE));
6
7   Result:= PSNR;
8 end;

```

Source Code 4.20 Fungsi getPSNR

4.4. Implementasi Antarmuka

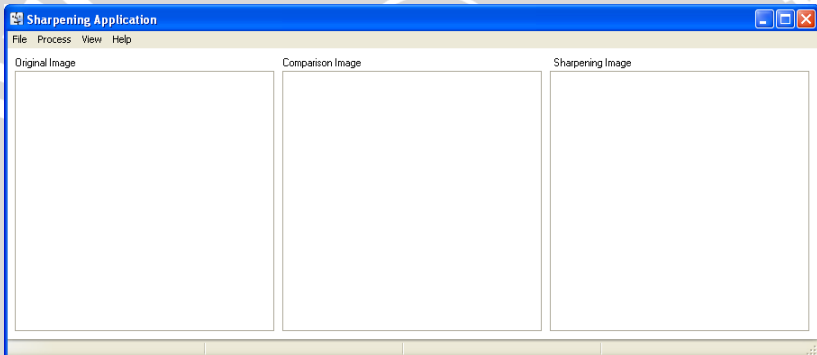
Pada perangkat lunak ini, terdapat 1 *form* utama yang menampilkan citra asli, citra pembandingan, dan citra hasil penajaman sekaligus (ditunjukkan oleh gambar 4.1). Dalam *form* utama ini, terdapat menu bar yang berisikan beberapa menu utama beserta sub menunya. Di bagian bawah form utama, juga terdapat *status bar* yang dapat menampilkan informasi terkait citra masukan dan citra hasil keluaran. Informasi yang ditampilkan meliputi nama *file* citra, ukuran citra, dan resolusi citra.

Menu utama terdiri dari *file*, *process*, *view*, dan *help*. Pada menu *file* terdapat submenu *new* untuk melakukan proses baru, submenu *open original image* untuk mengambil citra asli yang akan diproses, submenu *open comparison image* untuk mengambil citra pembandingan, submenu *save* untuk menyimpan citra hasil penajaman, dan submenu *exit* untuk keluar dari aplikasi. Pada menu *process*

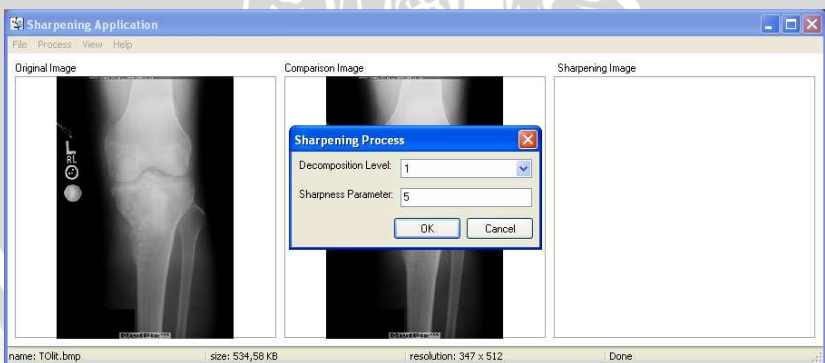
terdapat submenu *sharpen* untuk menampilkan *form* yang berfungsi untuk memasukkan tingkat level dekomposisi dan nilai parameter penajaman (ditunjukkan oleh gambar 4.2).

Pada menu *view* terdapat submenu *histogram* yang berfungsi menampilkan *form* berisi *histogram* (ditunjukkan oleh gambar 4.3). dari tiap citra dan submenu *analysis report* yang berfungsi untuk menampilkan hasil analisa citra hasil penajaman (ditunjukkan oleh gambar 4.4). Dan pada menu *help* terdapat submenu *help* yang berfungsi menampilkan *form* bantuan terkait aplikasi dan submenu *about* yang berfungsi menampilkan *form* *about*.

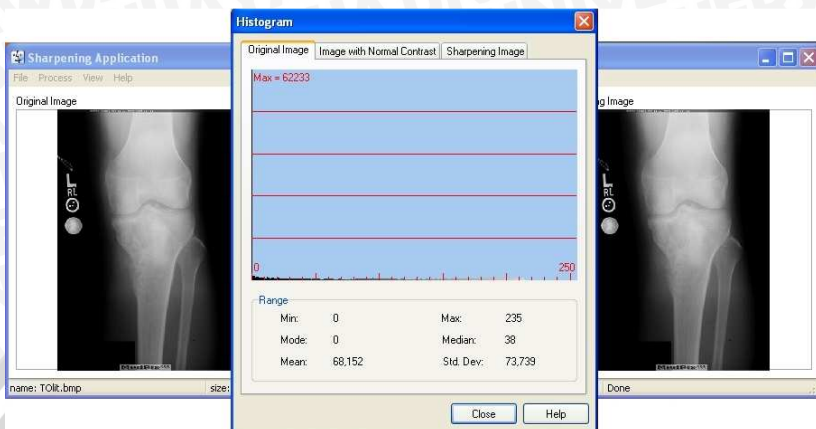
Implementasi antarmuka dari perangkat lunak ini dibuat sederhana untuk memudahkan pengguna.



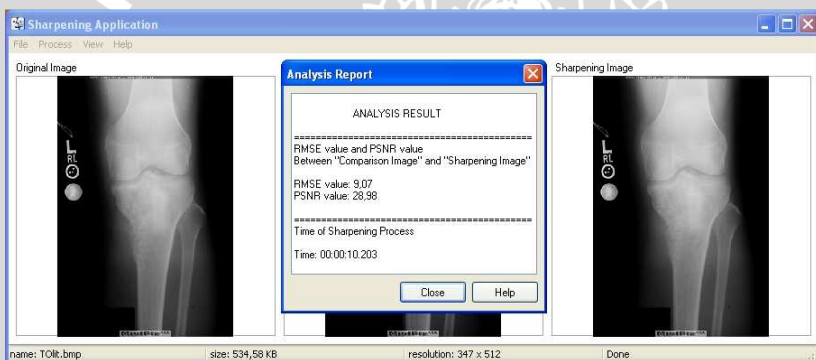
Gambar 4.1 Tampilan *Form* Utama Aplikasi Penajaman



Gambar 4.2 Tampilan *Form* Sharpening Process



Gambar 4.3 Tampilan Form Histogram



Gambar 4.4 Tampilan Form Analysis Report

4.5. Hasil Uji Coba

Metode Wavelet Daubechies 4 yang telah diterapkan pada citra masukan asli dan menghasilkan citra keluaran, akan dihitung nilai kesalahannya menggunakan RMSE. Nilai RMSE akan dihitung terhadap beberapa variasi pengujian. Variasi tersebut meliputi pengujian antar level dekomposisi dan antar nilai parameter penajaman.

Untuk mengetahui pengaruh level kedalaman dekomposisi terhadap hasil penajaman citra, maka digunakan beberapa tingkat level dekomposisi yaitu dekomposisi level 1, level 2, level 4, dan level 8. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh besaran nilai

parameter penajaman terhadap hasil penajaman citra, maka digunakan beberapa nilai parameter penajaman yaitu 0.5, 5, 10, 15, 20 dan 25.

Dengan dilakukannya beberapa jenis pengujian tersebut, akan didapatkan hasil pengujian yang selanjutnya dapat dianalisis untuk mendapatkan nilai efisiensi penerapan metode. Analisis yang dilakukan meliputi analisis citra hasil penajaman secara visual (bekerja sama dengan spesialis radiologi, dr. Erna Furaidah, Sp.Rad) serta analisis hasil perhitungan nilai RMSE dan PSNR antara citra hasil penajaman dengan citra pembanding yang berkontras normal. Nilai RMSE merupakan perbandingan nilai piksel citra hasil penajaman dengan nilai piksel citra pembanding dengan kontras normal, dan selanjutnya nilai RMSE digunakan sebagai masukan pada perhitungan PNSR (dalam dB/ desibel) yang menunjukkan rasio kekuatan sinyal citra terhadap *noise*.

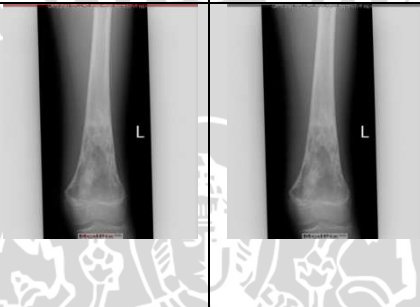
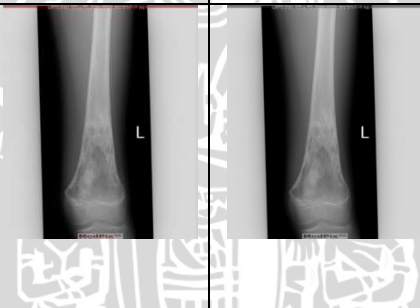
Dalam proses pengujian ini, citra masukan yang digunakan sebanyak 5 buah citra medis tumor tulang jenis *Osteosarcoma*, yaitu: citra TOLit.bmp, citra OO3lit.bmp, citra OO2lit.bmp, citra OO1lit.bmp, dan citra MOLit.bmp.

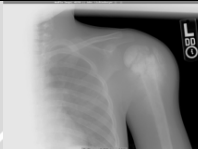
4.5.1. Hasil Pengolahan Citra secara Visual

Hasil pengolahan citra secara visual ditampilkan dalam tabel 4.1. Dalam tabel 4.1 ini disajikan beberapa sampel citra saja sebagai contoh hasil penajaman citra menggunakan Wavelet Daubechies 4, sedangkan hasil keseluruhan uji coba disajikan pada lampiran. Untuk hasil dari citra uji TOLit.bmp disajikan pada lampiran 1, hasil dari citra uji OO3lit.bmp disajikan pada lampiran 2, hasil dari citra uji OO2lit.bmp disajikan pada lampiran 3, hasil dari citra uji OO1lit.bmp disajikan pada lampiran 4, dan hasil dari citra uji MOLit.bmp disajikan pada lampiran 5.

Tabel 4.1 Sampel Citra Hasil Uji Coba

No	Informasi Citra Masukan	Citra Masukan	Citra Keluaran	Keterangan Proses
1	<u>Nama file:</u> Tolit.bmp <u>Ukuran citra:</u> 523 KB <u>Resolusi citra:</u> 347 x 512			Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
2	<u>Nama file:</u> Tolit.bmp <u>Ukuran citra:</u> 523 KB <u>Resolusi citra:</u> 347 x 512			Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
3	<u>Nama file:</u> Tolit.bmp <u>Ukuran citra:</u> 523 KB <u>Resolusi citra:</u> 347 x 512			Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 15

4	<u>Nama file:</u> TOLit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 523 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 347 x 512		Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 15
5	<u>Nama file:</u> OO3lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 641 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 426 x 512		Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
6	<u>Nama file:</u> OO3lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 641 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 426 x 512		Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
7	<u>Nama file:</u> OO3lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 641 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 426 x 512		Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 15

8	<u>Nama file:</u> OO3lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 641 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 426 x 512			Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 15
9	<u>Nama file:</u> OO2lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
10	<u>Nama file:</u> OO2lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
11	<u>Nama file:</u> OO2lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 15

12	<u>Nama file:</u> OO2lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 15
13	<u>Nama file:</u> OO1lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
14	<u>Nama file:</u> OO1lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
15	<u>Nama file:</u> OO1lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 15

16	<u>Nama file:</u> OO1lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 15
17	<u>Nama file:</u> OO1lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
18	<u>Nama file:</u> OO1lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 0,5
19	<u>Nama file:</u> OO1lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383			Penajaman pada level dekomposisi 2, dengan parameter penajaman bernilai 15

20	<u>Nama file:</u> OO1lit.bmp <u>Ukuran</u> <u>citra:</u> 575 KB <u>Resolusi</u> <u>citra:</u> 512 x 383	 	Penajaman pada level dekomposisi 8, dengan parameter penajaman bernilai 15
----	--	---	--

4.5.2. Hasil Pengujian RMSE dan PSNR

Hasil pengujian berupa nilai RSME dan PSNR ditunjukkan oleh tabel 4.2 , tabel 4.3, tabel 4.4, tabel 4.5. Dengan didaptnya nilai RMSE dan PNSR tersebut, akan diketahui pada level dekomposisi berapa dan nilai parameter penajaman berapa yang paling baik untuk dilakukan proses penajaman citra medis tumor tulang.

4.5.2.1. Hasil Pengujian RMSE dan PSNR pada Dekomposisi Level 1

Pada tabel 4.2 disajikan hasil perbandingan nilai RMSE dan PNSR dalam dekomposisi level 1 pada beberapa variasi nilai parameter penajaman antara citra pembanding dan citra hasil penajaman.

Tabel 4.2 Hasil Uji RMSE dan PNSR Menggunakan Dekomposisi Level 1

No	Citra Pembanding	Citra Hasil	Nilai Parameter Penajaman (K)	Nilai RMSE	Nilai PSNR
1	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-0,5-1.bmp	0,5	8,97	29,07
2	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-5-1.bmp	5	9,07	28,98
3	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-10-1.bmp	10	11,16	27,18
4	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-15-1.bmp	15	14,40	24,96
5	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-20-1.bmp	20	18,19	22,94
6	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-25-1.bmp	25	22,24	21,19

7	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-0,5-1.bmp	0,5	8,79	29,25
8	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-5-1.bmp	5	11,89	26,63
9	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-10-1.bmp	10	15,85	24,13
10	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-15-1.bmp	15	20,16	22,04
11	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-20-1.bmp	20	24,65	20,30
12	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-25-1.bmp	25	29,22	18,82
13	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-0,5-1.bmp	0,5	22,47	21,10
14	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-5-1.bmp	5	20,50	21,89
15	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-10-1.bmp	10	19,63	22,27
16	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-15-1.bmp	15	19,97	22,12
17	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-20-1.bmp	20	21,49	21,48
18	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-25-1.bmp	25	23,95	20,54
19	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-0,5-1.bmp	0,5	27,69	19,28
20	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-5-1.bmp	5	25,62	19,96
21	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-10-1.bmp	10	24,32	20,41
22	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-15-1.bmp	15	23,92	20,55
23	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-20-1.bmp	20	24,48	20,35
24	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-25-1.bmp	25	25,92	19,86
25	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-0,5-1.bmp	0,5	15,34	24,41
26	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-5-1.bmp	5	17,51	23,27
27	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-10-1.bmp	10	20,68	21,82
28	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-15-1.bmp	15	24,48	20,36
29	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-20-1.bmp	20	28,65	18,99
30	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-25-1.bmp	25	33,06	17,74

4.5.2.2. Hasil Pengujian RMSE dan PSNR pada Dekomposisi Level 2

Pada tabel 4.3 disajikan hasil perbandingan nilai RMSE dan PNSR dalam dekomposisi level 2 pada beberapa variasi nilai parameter penajaman antara citra pembanding dan citra hasil penajaman.

Tabel 4.3 Hasil Uji RMSE dan PSNR Menggunakan Dekomposisi
Level 2

No	Citra Pembedan	Citra Hasil	Nilai Parameter Penajaman (K)	Nilai RMSE	Nilai PSNR
1	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-0,5-2.bmp	0,5	8,97	29,07
2	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-5-2.bmp	5	9,07	28,98
3	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-10-2.bmp	10	11,16	27,17
4	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-15-2.bmp	15	14,41	24,96
5	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-20-2.bmp	20	18,20	22,93
6	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-25-2.bmp	25	22,25	21,18
7	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-0,5-2.bmp	0,5	8,79	29,25
8	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-5-2.bmp	5	11,89	26,63
9	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-10-2.bmp	10	15,85	24,13
10	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-15-2.bmp	15	20,17	22,04
11	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-20-2.bmp	20	24,66	20,29
12	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-25-2.bmp	25	29,22	18,82
13	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-0,5-2.bmp	0,5	22,47	21,10
14	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-5-2.bmp	5	20,50	21,89
15	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-10-2.bmp	10	19,63	22,27
16	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-15-2.bmp	15	19,97	22,12
17	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-20-2.bmp	20	21,49	21,49
18	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-25-2.bmp	25	23,95	20,54
19	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-0,5-2.bmp	0,5	27,69	19,28
20	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-5-2.bmp	5	25,62	19,96
21	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-10-2.bmp	10	24,32	20,41
22	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-15-2.bmp	15	23,92	20,55
23	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-20-2.bmp	20	24,48	20,36
24	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-25-2.bmp	25	25,92	19,86
25	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-0,5-2.bmp	0,5	15,34	24,41
26	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-5-2.bmp	5	17,51	23,27

27	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-10-2.bmp	10	20,68	21,82
28	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-15-2.bmp	15	24,48	20,35
29	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-20-2.bmp	20	28,66	18,99
30	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-25-2.bmp	25	33,07	17,74

4.5.2.3. Hasil Pengujian RMSE dan PSNR pada Dekomposisi Level 4

Pada tabel 4.4 disajikan hasil perbandingan nilai RMSE dan PNSR dalam dekomposisi level 4 pada beberapa variasi nilai parameter penajaman antara citra pembanding dan citra hasil penajaman.

Tabel 4.4 Hasil Uji RMSE dan PSNR Menggunakan Dekomposisi Level 4

No	Citra Pembanding	Citra Hasil	Nilai Parameter Penajaman (K)	Nilai RMSE	Nilai PSNR
1	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-0,5-4.bmp	0,5	8,98	29,06
2	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-5-4.bmp	5	9,07	28,98
3	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-10-4.bmp	10	11,17	27,17
4	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-15-4.bmp	15	14,41	24,95
5	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-20-4.bmp	20	18,21	22,93
6	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-25-4.bmp	25	22,26	21,18
7	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-0,5-4.bmp	0,5	8,81	29,24
8	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-5-4.bmp	5	11,89	26,63
9	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-10-4.bmp	10	15,86	24,13
10	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-15-4.bmp	15	20,17	22,03
11	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-20-4.bmp	20	24,66	20,29
12	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-25-4.bmp	25	29,23	18,81
13	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-0,5-4.bmp	0,5	22,47	21,10
14	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-5-4.bmp	5	20,50	21,89
15	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-10-4.bmp	10	19,63	22,27

16	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-15-4.bmp	15	19,97	22,12
17	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-20-4.bmp	20	21,49	21,49
18	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-25-4.bmp	25	23,95	20,54
19	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-0,5-4.bmp	0,5	27,69	19,28
20	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-5-4.bmp	5	25,62	19,96
21	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-10-4.bmp	10	24,32	20,41
22	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-15-4.bmp	15	23,92	20,56
23	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-20-4.bmp	20	24,48	20,36
24	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-25-4.bmp	25	25,92	19,86
25	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-0,5-4.bmp	0,5	15,35	24,41
26	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-5-4.bmp	5	17,51	23,27
27	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-10-4.bmp	10	20,69	21,82
28	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-15-4.bmp	15	24,49	20,35
29	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-20-4.bmp	20	28,66	18,98
30	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-25-4.bmp	25	33,07	17,74

4.5.2.4. Hasil Pengujian RMSE dan PSNR pada Dekomposisi Level 8

Pada tabel 4.5 disajikan hasil perbandingan nilai RMSE dan PSNR dalam dekomposisi level 8 pada beberapa variasi nilai parameter penajaman antara citra pembanding dan citra hasil penajaman.

Tabel 4.5 Hasil Uji RMSE dan PSNR Menggunakan Dekomposisi Level 8

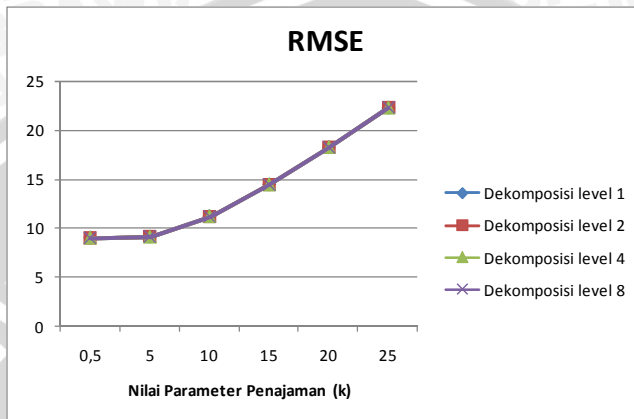
No	Citra Pembanding	Citra Hasil	Nilai Parameter Penajaman (K)	Nilai RMSE	Nilai PSNR
1	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-0,5-8.bmp	0,5	8,99	29,06
2	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-5-8.bmp	5	9,07	28,98
3	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-10-8.bmp	10	11,17	27,17
4	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-15-8.bmp	15	14,41	24,96

5	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-20-8.bmp	20	18,21	22,93
6	TOLit_NC.bmp	TOLitSI-25-8.bmp	25	22,26	21,18
7	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-0,5-8.bmp	0,5	8,81	29,23
8	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-5-8.bmp	5	11,89	26,63
9	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-10-8.bmp	10	15,85	24,13
10	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-15-8.bmp	15	20,17	22,04
11	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-20-8.bmp	20	24,66	20,29
12	OO3lit_NC.bmp	OO3litSI-25-8.bmp	25	29,23	18,81
13	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-0,5-8.bmp	0,5	22,47	21,10
14	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-5-8.bmp	5	20,50	21,89
15	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-10-8.bmp	10	19,63	22,27
16	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-15-8.bmp	15	19,98	22,12
17	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-20-8.bmp	20	21,49	21,48
18	OO2lit_NC.bmp	OO2litSI-25-8.bmp	25	23,95	20,55
19	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-0,5-8.bmp	0,5	27,69	19,28
20	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-5-8.bmp	5	25,62	19,96
21	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-10-8.bmp	10	24,32	20,41
22	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-15-8.bmp	15	23,92	20,56
23	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-20-8.bmp	20	24,47	20,36
24	OO1lit_NC.bmp	OO1litSI-25-8.bmp	25	25,92	19,86
25	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-0,5-8.bmp	0,5	15,35	24,41
26	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-5-8.bmp	5	17,51	23,27
27	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-10-8.bmp	10	20,68	21,82
28	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-15-8.bmp	15	24,49	20,35
29	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-20-8.bmp	20	28,66	18,98
30	MOLit_NC.bmp	MOLitSI-25-8.bmp	25	33,07	17,74

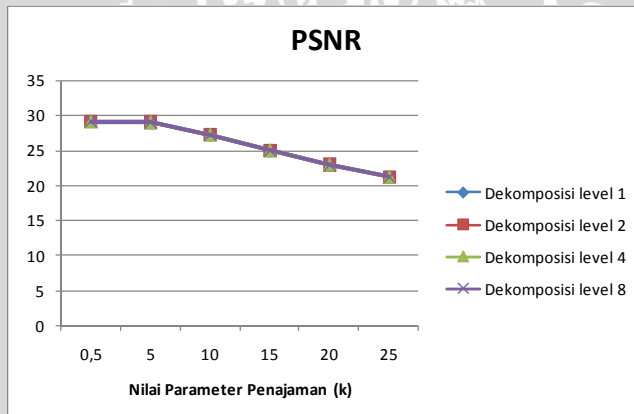
4.5.2.5. Grafik Hasil Pengujian RMSE dan PSNR

Dari tabel 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5 dapat digambarkan sebuah grafik dari masing – masing citra uji untuk mengetahui peningkatan dan penurunan nilai RMSE dan PSNR-nya.

Grafik hasil pengujian RMSE dan PSNR dari citra uji Tolit.bmp ditunjukkan pada gambar 4.5.



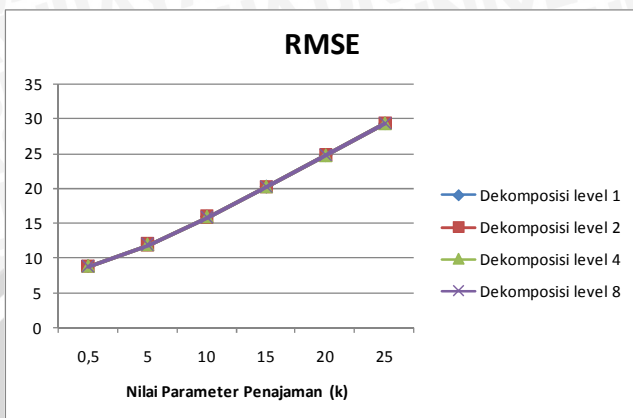
(a)



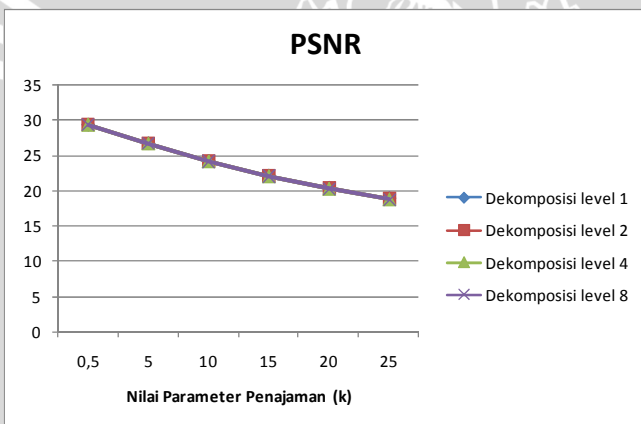
(b)

Gambar 4.5 (a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji Tolit.bmp dan
(b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji Tolit.bmp

Grafik hasil pengujian RMSE dan PSNR dari citra uji OO3lit.bmp ditunjukkan pada gambar 4.6.



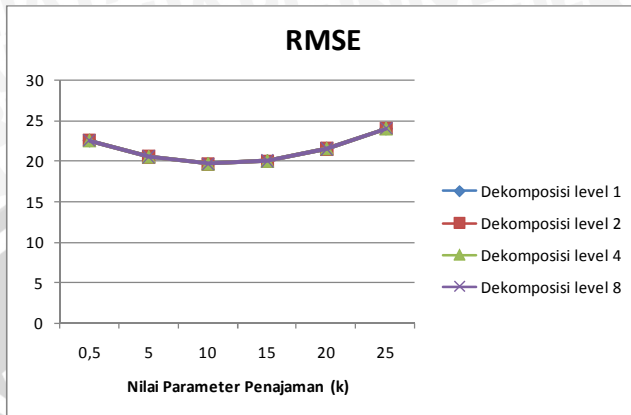
(a)



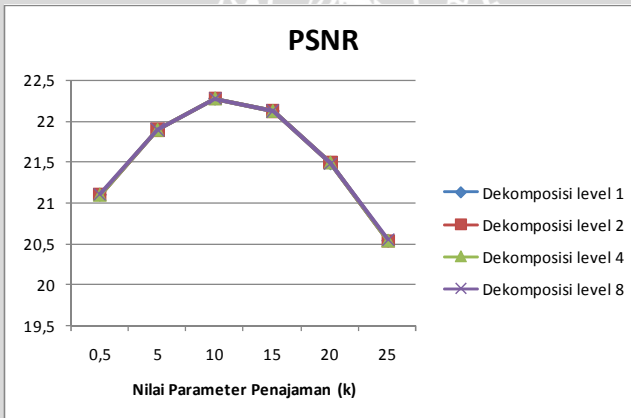
(b)

Gambar 4.6 (a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji OO3lit.bmp dan
(b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji OO3lit.bmp

Grafik hasil pengujian RMSE dan PSNR dari citra uji OO2lit.bmp ditunjukkan pada gambar 4.7.



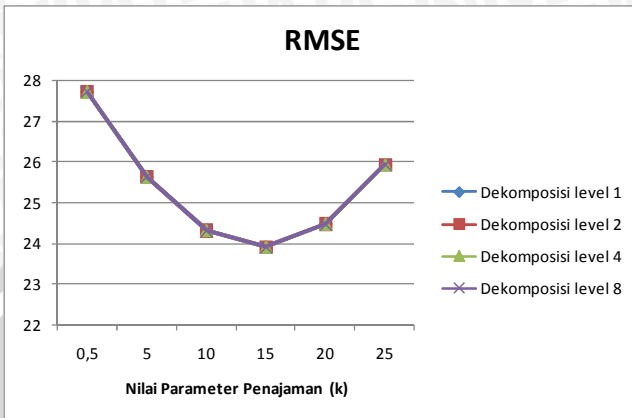
(a)



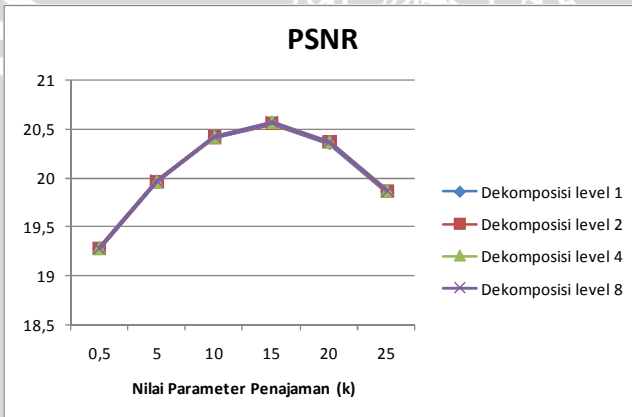
(b)

Gambar 4.7 (a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji OO2lit.bmp dan
(b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji OO2lit.bmp

Grafik hasil pengujian RMSE dan PSNR dari citra uji
OO1lit.bmp ditunjukkan pada gambar 4.8.



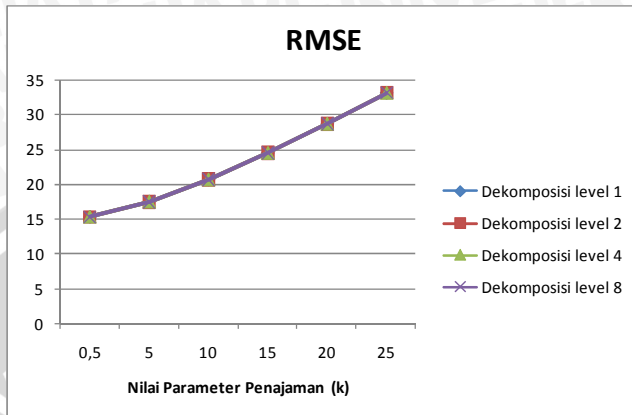
(a)



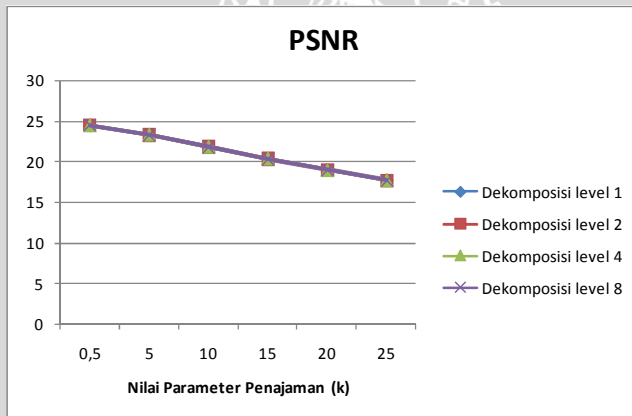
(b)

Gambar 4.8 (a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji OO1lit.bmp dan
(b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji OO1lit.bmp

Grafik hasil pengujian RMSE dan PSNR dari citra uji
MOLit.bmp ditunjukkan pada gambar 4.9.



(a)



(b)

Gambar 4.9 (a) Grafik Nilai RMSE dari Citra Uji MOLit.bmp dan
(b) Grafik Nilai PSNR dari Citra Uji MOLit.bmp

4.6. Analisis Hasil Pengujian

Pengolahan citra dalam bidang medis dikenal sebagai pencitraan medis. Sedangkan citra yang dihasilkan dari proses pencitraan medis tersebut adalah citra medis. Citra medis bisa dihasilkan dengan memanfaatkan pencitraan menggunakan sinar X.

Salah satu organ tubuh yang dapat divisualisasikan melalui penyinaran menggunakan sinar X adalah tulang. Hal tersebut

dimaksudkan salah satunya untuk mengetahui gangguan yang terjadi pada tulang, misalnya pada kasus tumor tulang.

Namun, pada citra medis menggunakan penyinaran sinar X akan terjadi pengaburan kelabu secara menyeluruh pada film yang diakibatkan oleh sifat dari sinar X itu sendiri. Sehingga pada kasus tumor tulang misalnya, akan terjadi kesulitan pada proses pengambilan informasi dari citra medis yang dihasilkan. Hal inilah yang mejadi dasar digunakannya citra medis tumor tulang (khususnya tumor tulang jenis *Osteosarcoma*) sebagai citra uji dalam proses penajaman ini.

Dalam proses penajaman ini, citra uji ditransformasikan terlebih dahulu ke dalam ranah frekuensi menggunakan transformasi Wavelet Daubechies 4, kemudian dilakukan operasi perbaikan (penajaman) menggunakan fungsi *Piecewise Linear* yang pada penelitian sebelumnya cukup berhasil diterapkan pada citra medis mammografi. Setelah dilakukan penajaman pada ranah frekuensi, citra dikembalikan lagi ke dalam ranah spasial.

Citra yang dihasilkan dari proses penajaman ini, lantas dibandingkan dengan citra pembanding yang memiliki kontras normal.

Setelah menyusun dasar penelitian dan selanjutnya dilakukan implementasi program, didapatkan hasil pada tabel 4.1 dimana berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh spesialis radiologi (dr. Erna Furaidah, Sp.Rad) secara visual, terdapat pengaruh yang cukup signifikan ketika citra medis masukan dikenai proses penajaman. Dari keseluruhan hasil uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa semakin rendah nilai parameter penajaman maka semakin baik citra medis tumor tulang yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan semakin rendah nilai parameter penajaman, sumber dan penyebaran tumor terlihat lebih luas dan detail. Sedangkan semakin tinggi nilai parameter penajaman, sumber dan penyebaran tumor terlihat semakin sempit meskipun bagian terparah dari organ yang terkena tumor terlihat lebih jelas dan perbedaan kontras jaringan lunak (*soft tissue*) yang dihasilkan lebih baik. Berbeda dengan nilai parameter penajaman yang cukup berpengaruh terhadap citra medis hasil penajaman, tingkat kedalaman level dekomposisi justru tidak cukup berpengaruh terhadap citra medis hasil penajaman. Dan berdasarkan pengamatan tersebut, hasil penajaman terbaik terdapat pada citra medis tumor tulang yang dikenai nilai parameter penajaman sebesar 0,5.

Untuk mendukung hasil visual, maka perlu dilakukan perhitungan nilai RMSE dan PSNR antara citra hasil penajaman dan citra pembandingan (tabel 4.2, tabel 4.3, tabel 4.4, tabel 4.5). Perhitungan RSME dan PSNR dilakukan pada dekomposisi level 1, 2, 4 dan 8. Dimana pada tiap-tiap level tersebut dikenai nilai parameter penajaman sebesar 0,5, 5, 10,15,20, dan 25.

Dari hasil ujicoba, dapat dilihat bahwa bertambahnya kedalaman level dekomposisi ternyata tidak cukup berpengaruh terhadap nilai RSME dan PSNR. Hal tersebut berlaku bagi semua citra uji (gambar 4.5, gambar 4.6, gambar 4.7, gambar 4.7, dan gambar 4.9). Sebagai contoh, nilai RSME citra hasil penajaman dari citra uji TOLit.bmp dengan nilai parameter penajaman 0,5 adalah 8,97 untuk dekomposisi level 1 (tabel 4.2), demikian pula untuk dekomposisi level 2 (tabel 4.3) yang memiliki nilai RMSE sama yaitu 8,97, baru kemudian pada dekomposisi level 4 (tabel 4.4) dan dekomposisi level 8 (tabel 4.5), nilai RMSE sedikit meningkat sebesar 0,01 menjadi 8,98. Seiring dengan meningkatnya nilai RMSE maka nilai PSNR pun mengalami penurunan dan itu pun tidak menurun secara signifikan dengan nilai penurunan sebesar 0,01 – 0,02. Hal tersebut juga terjadi pada citra uji OO3lit.bmp, OO2lit.bmp, OO1lit.bmp, dan MOLit.bmp.

Berbeda dengan level dekomposisi yang tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai RMSE dan PSNR, nilai parameter penajaman cukup berpengaruh terhadap nilai RMSE dan PSNR.

Pada citra uji TOLit.bmp (tabel 4.2, tabel 4,3, tabel 4.4, dan tabel 4.5), nilai RMSE meningkat seiring dengan bertambahnya nilai parameter penajaman dan nilai PSNR menurun seiring dengan bertambahnya nilai parameter penajaman. Nilai RMSE terkecil terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 0,5 yaitu sebesar 8,97 (tabel 4.2) dan nilai RMSE terbesar terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 25 yaitu sebesar 22,24. Berbanding terbalik dengan nilai RMSE, nilai PSNR terbesar terdapat pada parameter penajaman bernilai 0,5 yaitu sebesar 29,07 (tabel 4.2) dan nilai PSNR terbesar terkecil pada parameter penajaman dengan nilai 25 yaitu sebesar 21,19.

Senada dengan citra uji TOLit.bmp, pada citra uji OO3lit.bmp (tabel 4.2, tabel 4,3, tabel 4.4, dan tabel 4.5), nilai RMSE meningkat seiring dengan bertambahnya nilai parameter penajaman dan nilai PSNR menurun seiring dengan bertambahnya nilai parameter penajaman. Nilai RMSE terkecil terdapat pada

parameter penajaman bernilai 0,5 yaitu sebesar 8,79 (tabel 4.2) dan nilai RMSE terbesar terdapat pada parameter penajaman 25 yaitu sebesar 29,22. Berbanding terbalik dengan nilai RMSE, nilai PSNR terbesar terdapat pada parameter penajaman bernilai 0,5 yaitu sebesar 29,25 (tabel 4.2) dan nilai PSNR terkecil terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 25 yaitu sebesar 18,82.

Demikian juga dengan citra uji MOLit.bmp (tabel 4.2, tabel 4.3, tabel 4.4, dan tabel 4.5), nilai RMSE meningkat seiring dengan bertambahnya nilai parameter penajaman dan nilai PSNR menurun seiring dengan bertambahnya nilai parameter penajaman. Nilai RMSE terkecil terdapat pada parameter penajaman bernilai 0,5 yaitu sebesar 15,34 (tabel 4.2) dan nilai RMSE terbesar terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 25 yaitu sebesar 33,06. Berbanding terbalik dengan nilai RMSE, nilai PSNR terbesar terdapat pada parameter penajaman bernilai 0,5 yaitu sebesar 24,41 (tabel 4.2) dan nilai PSNR terkecil terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 25 yaitu sebesar 17,74.

Sedangkan hal berbeda terjadi pada citra uji OO2lit.bmp dan citra uji OO1lit.bmp. Pada citra uji OO2lit.bmp (tabel 4.2, tabel 4.3, tabel 4.4, dan tabel 4.5), nilai RMSE terkecil justru terdapat pada nilai parameter penajaman 10 yaitu sebesar 19,63 (tabel 4.2) dan nilai RMSE terbesar terdapat pada parameter penajaman bernilai 25 yaitu sebesar 25,22. Berbanding terbalik dengan nilai RMSE, nilai PSNR terbesar terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 10 yaitu sebesar 22,27 (tabel 4.2) dan nilai PSNR terkecil terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 25 yaitu sebesar 19,99.

Pada citra uji OO1lit.bmp (tabel 4.2, tabel 4.3, tabel 4.4, dan tabel 4.5), nilai RMSE terkecil terdapat pada nilai parameter penajaman 15 yaitu sebesar 23,92 (tabel 4.2) dan nilai RMSE terbesar terdapat pada parameter penajaman bernilai 0,5 yaitu sebesar 27,69. Berbanding terbalik dengan nilai RMSE, nilai PSNR terbesar terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 15 yaitu sebesar 20,55 (tabel 4.2) dan nilai PSNR terkecil terdapat pada parameter penajaman dengan nilai 0,5 yaitu sebesar 19,28.

Dari data nilai RMSE dan PSNR diperoleh bahwa dari 5 citra yang diujikan, ada 3 citra uji (TOLit.bmp, OO3lit.bmp, dan MOLit.bmp) dengan nilai PSNR tertinggi terjadi ketika dikenai nilai parameter penajaman sebesar 0,5 dan nilai PSNR terendah terjadi ketika dikenai nilai parameter penajaman sebesar 25. Kemudian nilai PSNR tersebut menurun seiring dengan penambahan nilai parameter

92

penajaman. Dan ada 2 citra uji, yaitu OO2lit.bmp dan OO1lit.bmp yang masing – masing memiliki nilai PSNR tertinggi ketika dikenai nilai parameter penajaman sebesar 10 dan 15 dan memiliki nilai PSNR terendah ketika dikenai nilai parameter penajaman masing – masing sebesar 25 dan 0,5 .

Dan dengan diketahuinya nilai RMSE dan PNSR di atas, dapat diketahui pula bahwa nilai parameter penajaman 0,5 memiliki probabilitas paling tinggi untuk melakukan proses penajaman. Dan nilai parameter penajaman 25 memiliki probabilitas paling rendah untuk melakukan proses penajaman.

Sedangkan dari ke-5 citra yang diujikan, nilai RMSE terendah (8,79) dan PSNR tertinggi (29,25) terdapat pada citra uji OO3lit.bmp yang dikenai nilai parameter penajaman sebesar 0,5 dan pada dekomposisi level 1 dan 2 . Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa citra uji OO3lit.bmp dengan nilai parameter penajaman 0,5 pada dekomposisi level 1 dan 2 memiliki hasil penajaman yang paling baik.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian tentang penajaman citra medis tumor tulang menggunakan transformasi Wavelet Daubechies 4 ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode Wavelet Daubechies 4 diterapkan dengan memanfaatkan fungsi *piecewise linear* terhadap data uji (citra medis tumor tulang jenis *Osteosarcoma*) untuk melakukan penajaman pada citra
2. Dari uji coba yang telah dilakukan, berdasarkan hasil pengamatan visual dapat diketahui bahwa hasil penajaman terbaik terdapat pada citra medis tumor tulang yang dikenai nilai parameter penajaman sebesar 0,5. Sedangkan berdasarkan nilai RMSE dan PSNR, dapat diketahui bahwa nilai parameter penajaman 0,5 memiliki probabilitas paling tinggi untuk melakukan proses penajaman. Dan nilai parameter penajaman 25 memiliki probabilitas paling rendah untuk melakukan proses penajaman. Sedangkan untuk citra dengan hasil penajaman terbaik adalah citra uji OO3lit.bmp yang dikenai nilai parameter penajaman sebesar 0,5 pada dekomposisi level 1 dan 2

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dalam pengembangan penelitian ini yaitu melakukan operasi penajaman tidak hanya pada level terdalam namun pada setiap kenaikan level dekomposisi dan level rekonstruksi dengan memberikan nilai parameter penajaman yang berbeda serta menghitung nilai *threshold* pada pada setiap kenaikan levelnya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Alfatwa, Dean Fathony. 2005. *Watermarking pada Citra Digital Menggunakan Discrete Wavelet Transform*. Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung. http://www.informatika.org/~rinaldi/TA/Makalah_TA%20Dean%20Fathony%20Alfatwa.pdf
- Ekayuda, Iwan. 2005. *Radiologi Diagnostik*. Balai Penerbit FK UI. Jakarta.
- Gagnon, L; Lina, J.M; dan Goulard, B. 1995. *Sharpening Enhancement of Digitized Mammograms with Complex Symmetric Daubechies Wavelets*. Center de Recherches Mathematiques Univ. de Montreal. Montreal
- Gunara, Andra; Tritoasmoro, I.I; dan Raharjo, Jangkung. 2007. *Analisa Perbandingan Reduksi Noise pada Citra antara Discrete Wavelet Transform (DWT) dengan Dual-Tree Complex Wavelet Transform (DCTWT)*. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung.
- Isnanto, Rizal.R. 2003. *Teknik – Teknik Analisis pada Citra Tulang sebagai Alat Bantu Identifikasi Medis*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Semarang.
- Jin, Yinpeng; Angelini, Elsa; dan Laine, Andrew. 2004. *Wavelets in Medical Image Processing: Denoising, Segmentation and Registration*. Department of Biomedical Engineering. Columbia University. New York.
- Kaplan, Ian. 2001. *The Daubechies D4 Wavelet Transform*. http://www.bearcave.com/misl/misl_tech/wavelets/
- Lina, J.M dan Gagnon, L. 1995. *Image Enhancement with Symmetric Daubechies Wavelet*. Center de Recherches Mathematiques Univ. de Montreal. Montreal.
- Munir, Rinaldi. 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Penerbit Informatika. Bandung.

Polikar, Robi. 1996. *Fundamental Concepts & An Overview Of The Wavelet Theory (Second Edition)*. Rowan University, Glassboro.

Unser, Michael dan Akram, Aldroubi. 1996. *A Review of Wavelets in Biomedical Applications*. Proc. IEEE, vol. 84, no. 4, pp. 626-638.

Wulandari, Ayu. 2006. *Pengolahan Citra untuk Membantu Diagnosis Tumor Tulang*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengolahan Citra secara Visual pada Citra TOLit.bmp

Citra uji adalah citra medis TOLit.bmp, dengan ukuran citra 523 KB dan resolusi citra 347px x 512px

No	Citra Masukan	Citra Keluaran	Level Dekomposisi	Nilai Parameter Penajaman (K)
1			1	0,5
2			1	5
3			1	10

4			1	15
5			1	20
6			1	25
7			2	0,5

8			2	5
9			2	10
10			2	15
11			2	20

12			2	25
13			4	0,5
14			4	5
15			4	10

16			4	15
17			4	20
18			4	25
19			8	0,5

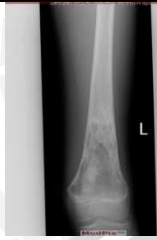
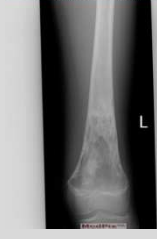
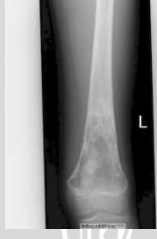
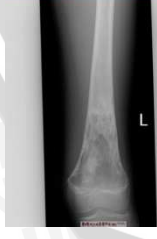
20			8	5
21			8	10
22			8	15
23			8	20

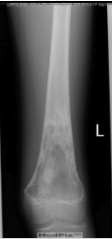
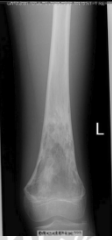
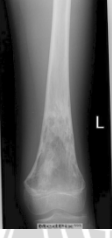
24			8	25
----	---	---	---	----

Lampiran 2. Hasil Pengolahan Citra secara Visual pada Citra OO3lit.bmp

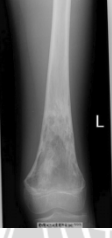
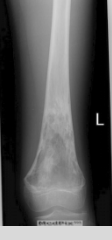
Citra uji adalah citra medis OO3lit.bmp, dengan ukuran citra 641 KB dan resolusi citra 426px x 512px

No	Citra Masukan	Citra Keluaran	Level Dekomposisi	Nilai Parameter Penajaman (K)
1			1	0,5
2			1	5

3			1	10
4			1	15
5			1	20
6			1	25
7			2	0,5

8			2	5
9			2	10
10			2	15
11			2	20
12			2	25

13			4	0,5
14			4	5
15			4	10
16			4	15
17			4	20

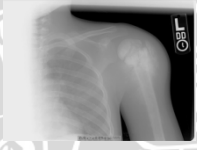
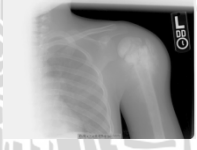
18			4	25
19			8	0,5
20			8	5
21			8	10
22			8	15

23			8	20
24			8	25

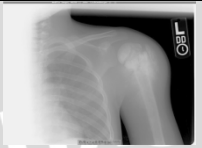
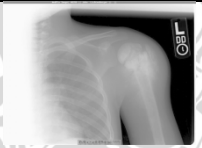
Lampiran 3. Hasil Pengolahan Citra secara Visual pada Citra OO2lit.bmp

Citra uji adalah citra medis OO2lit.bmp, dengan ukuran citra 575 KB dan resolusi citra 512px x 383px

No	Citra Masukan	Citra Keluaran	Level Dekomposisi	Nilai Parameter Penajaman (K)
1			1	0,5
2			1	5
3			1	10

4			1	15
5			1	20
6			1	25
7			2	0,5
8			2	5
9			2	10
10			2	15
11			2	20

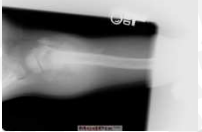
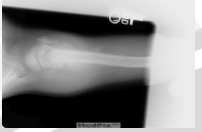
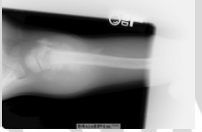
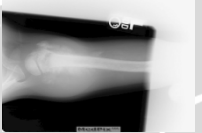
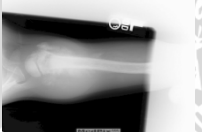
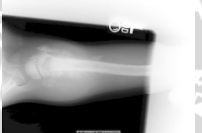
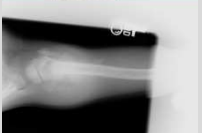
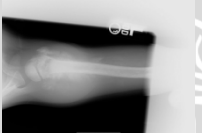
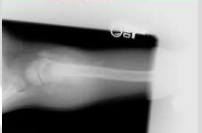
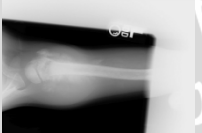
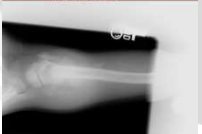
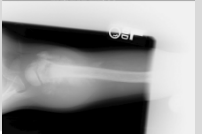
12			2	25
13			4	0,5
14			4	5
15			4	10
16			4	15
17			4	20
18			4	25
19			8	0,5

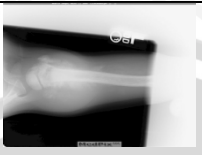
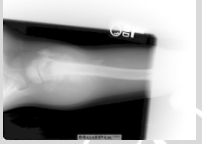
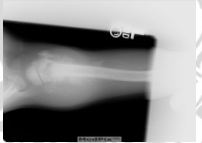
20			8	5
21			8	10
22			8	15
23			8	20
24			8	25

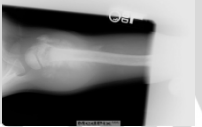
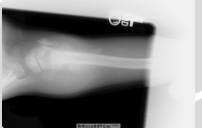
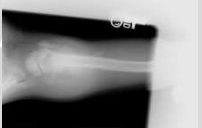
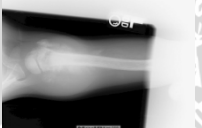
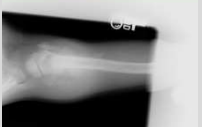
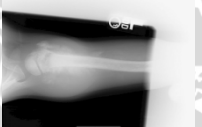
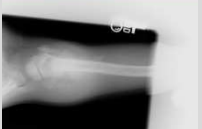
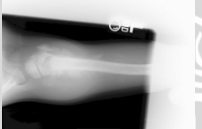
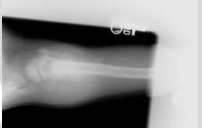
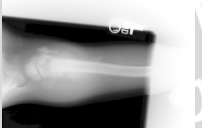
Lampiran 4. Hasil Pengolahan Citra secara Visual pada Citra OO1lit.bmp

Citra uji adalah citra medis OO1lit.bmp, dengan ukuran citra 575 KB dan resolusi citra 512px x 383px

No	Citra Masukan	Citra Keluaran	Level Dekomposisi	Nilai Parameter Penajaman (K)
1			1	0,5

2			1	5
3			1	10
4			1	15
5			1	20
6			1	25
7			2	0,5
8			2	5
9			2	10

10			2	15
11			2	20
12			2	25
13			4	0,5
14			4	5
15			4	10
16			4	15
17			4	20

18			4	25
19			8	0,5
20			8	5
21			8	10
22			8	15
23			8	20
24			8	25

Lampiran 5. Hasil Pengolahan Citra secara Visual pada Citra MOLit.bmp

Citra uji adalah citra medis MOLit.bmp, dengan ukuran citra 639 KB dan resolusi citra 425px x 512px

No	Citra Masukan	Citra Keluaran	Level Dekomposisi	Nilai Parameter Penajaman (K)
1			1	0,5
2			1	5
3			1	10
4			1	15

5			1	20
6			1	25
7			2	0,5
8			2	5
9			2	10

10			2	15
11			2	20
12			2	25
13			4	0,5
14			4	5

15			4	10
16			4	15
17			4	20
18			4	25
19			8	0,5

20			8	5
21			8	10
22			8	15
23			8	20
24			8	25