

**REKAYASA PERANGKAT LUNAK PENGOLAHAN CITRA DAN ANALISIS PERILAKU  
INTENSITAS PIXEL ROI (*REGION OF INTEREST*)  
CITRA RADIOGRAFI SINAR-X**

Oleh :  
Affi Nur Hidayah / J2D 004 154  
2009

**INTISARI**

Subjek penelitian adalah membuat perangkat lunak berdasarkan bahasa pemrograman Borland Delphi 7.0. Perangkat lunak ini menampilkan intensitas pixel citra. Data yang digunakan adalah sampel citra *step wedge* hasil *Computer Radiography* dan Penangkap Gambar Buatan Sendiri, berupa file citra berekstensi bmp (Bitmap). Citra *step wedge* dipotong tiap *step*. Diambil sampel *step 1* dan *step 6* untuk dipotong (*cropping*) sehingga menghasilkan ROI (*Region Of Interest*) ukuran 10x10 pixel. Citra ROI diperbesar (*zoom-in*) dengan skala pengali 2 menjadi 20x20 pixel. Tiap pemotongan dan penskalaan (*zoom-in*) ditampilkan intensitas pixel dan histogramnya, kemudian dianalisa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh *source code* pada *cropping* bisa dihilangkan dengan melakukan pemotongan ulang pada daerah yang sama pada pemotongan sebelumnya. Penskalaan metode interpolasi tetangga terdekat menghasilkan intensitas pixel baru yaitu 255 akibat *source code* sebesar 5%, dan metode interpolasi bilinear menghasilkan intensitas pixel baru yaitu 255 dan intensitas pixel lain akibat pembobotan antar pixel tetangga. Citra hasil *Computed Radiography* menunjukkan *step 6* memiliki intensitas pixel 107 (65,13%) dan warnanya lebih terang, sedangkan *step 1* memiliki intensitas pixel 082 (78,12%). Citra *step 1* hasil penangkap gambar buatan sendiri (kuning) dengan pengaturan (tegangan, arus dan waktu eksposi) yang berbeda menghasilkan lebar histogram yang berbeda. Dan citra hasil penangkap gambar buatan sendiri (hitam) menunjukkan *step 6* (*step* yang lebih tebal) memiliki histogram yang bergeser kearah kiri dibandingkan dengan *step 1*.

Kata kunci : Citra *step wedge*, pemotongan, ROI, interpolasi tetangga terdekat, interpolasi bilinear, intensitas pixel, Borland Delphi 7.0

**ABSTRACT**

*Subject of research is making software on programming language borland delphi 7.0. This software will display intensity pixels images. Datas subject are using sample step wedge images, are saved bmp (bitmap). Step wedge images cutting every step, their taken sample step 1 and 6 and cropping them, their produce ROI (Region of Interest) with size 10x10 pixel. Afterwards, ROI will be scaled-up of 2, and will be 20x20 pixel. Every cropping and scaling are displayed intensity pixel and histogram, and they are analysed.*

*A research result shows that influence's source code for cropping can be minimized with repeat cropping in region same in previous cropping. While scaling, nearest neighbor interpolation produces new intensity pixel as 255 is caused source code as 5%, and bilinear interpolation produces as 255, it's new intensity pixel and the others are caused pixel neighbor junction. Image's Computer Radiography shows step 6 has pixel intensity 107 (65,13%) and step 1 has pixel intensity 082 (78,12%). Step 1 image's Image Intensifier Digitizer (yellow) with different setting of (voltage, current and exposure time) shows histogram result has different width's histogram. And step 6 image's Image Intensifier Digitizer (black) has width's histogram shift lefter than step 1 image.*

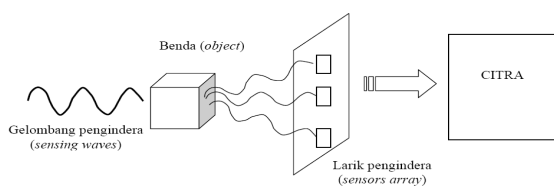
*Keywords : step wedge image, cropping, ROI, nearest neighbor interpolation, bilinear interpolation, intensity pixel, Borland Delphi 7.0*

## I. PENDAHULUAN

Sejauh ini perkembangan teknologi mengalami kemajuan yang pesat, begitu pula dengan perkembangan teknologi pada bidang kesehatan, termasuk unit radiologi. Teknologi yang berkembang pada bidang radiologi saat ini mulai berbasiskan komputerisasi, atau dikenal sebagai teknik radiografi digital.

Teknik radiografi digital potensial menjadi teknik yang handal karena beberapa keunggulan relatif terhadap teknik radiografi film konvensional, yaitu (1) tanpa film dan bahan kimia untuk proses pengembangan dan fiksasi radiograf, (2) format multi citra-digital yang dapat dikemas secara kompak, (3) visualisasi *real-time* citra hasil yang tepat, (4) penghematan biaya operasi dan perawatan sistem, dan (5) *output* kuantitas hasil diagnostik yang besar (Kusminarto dkk, 1995; Kusminarto dkk, 1996; Suparno dkk, 2000; Moenir dkk, 2000; Suparta dkk, 2005). Untuk itulah, penelitian tentang pengembangan sistem radiografi digital untuk pencitraan menjadi penting dan berarti. Disamping itu, sistem radiografi digital mendukung pemerintah dalam memanfaatkan *clean development mechanism*. (Kemneg Ristek, 2006)

Penelitian tersebut memanfaatkan citra radiografi tulang dan *step wedge* yang dihasilkan dari alat CR



Gambar 2.1. Interaksi gelombang objek dalam suatu pencitraan (Munir, 2004).

(*Computed Radiography*) dan penangkap gambar buatan sendiri (hasil rancang bangun disertasi mahasiswa S3 Kedokteran Undip). Alat penangkap gambar buatan sendiri ini, nantinya diharapkan berfungsi seperti alat CR, supaya bisa diaplikasikan di rumah sakit karena biaya pembuatannya yang lebih murah. CR sendiri merupakan alat yang terbilang tidak murah, sehingga dikhawatirkan hanya rumah sakit besar yang mampu memanfaatkan citra radiografi berbasis digital.

Pengolahan ROI (*Region Of Interest*) diperlukan untuk mengetahui nilai kuantitatif densitas optik dari ROI, misalkan untuk mengetahui BMD nya citra sehingga dapat dimanfaatkan untuk diagnosa osteoporosis.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Pengolahan Citra

Citra (*image*) adalah gambar pada bidang dwimatra (dua dimensi). Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, misalnya mata pada manusia, kamera, pemindai (*scanner*), dan sebagainya, sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 (Munir, 2004)

Ada 3 (tiga) komponen utama dalam pencitraan, yaitu Gelombang pengindera (*sensing waves*), benda (*object*), dan alat pengindera (*sensor*). (Suksmono, 2008).

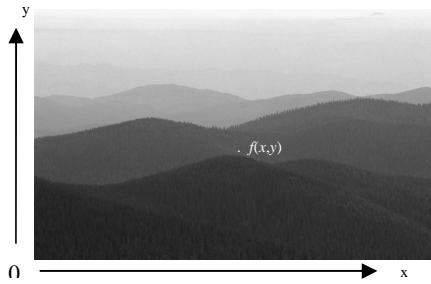
### Model Citra

Secara matematis fungsi intensitas cahaya pada bidang dua dimensi disimbolkan dengan  $f(x,y)$ , yaitu:

$(x,y)$  : koordinat pada bidang dua dimensi

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

Gambar 2.2 memperlihatkan posisi koordinat pada bidang citra. Sistem koordinat yang diacu adalah sistem koordinat kartesian, yang dalam hal ini sumbu mendatar menyatakan sumbu-X, dan sumbu tegak menyatakan sumbu-Y (Munir, 2004).



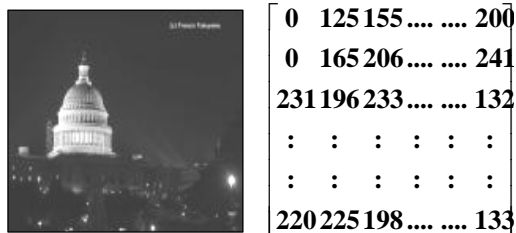
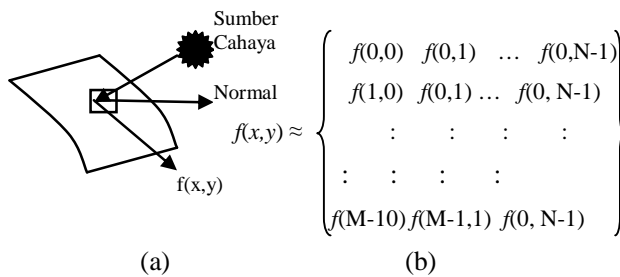
Gambar 2.2. Cara menentukan koordinat titik dalam citra (Munir, 2004)

### Digitalisasi Citra

Citra digital yang tingginya M, lebarnya N, memiliki L derajat keabuan dapat dianggap sebagai fungsi:

$$f(x, y) \begin{cases} 0 \leq x < M \\ 0 \leq y < N \\ 0 < f < L \end{cases} \quad (2.1)$$

Citra digital yang berukuran  $N \times M$  dinyatakan dalam bentuk matrik yang berukuran N baris dan M kolom (Munir, 2004).

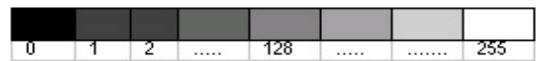


(c)

Gambar 2.3. (a) Pembentukan citra, (b) matrik citra  $N \times M$ , (c) pemodelan citra dan matrik yang dihasilkan (Munir, 2004).

### Representasi Citra Digital

Format citra ini disebut skala keabuan karena pada umumnya warna yang dipakai warna hitam sebagai warna minimal (0) dan warna putih (255) sebagai warna maksimalnya, sehingga warna antaranya adalah abu-abu, seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 (Ahmad, 2005).

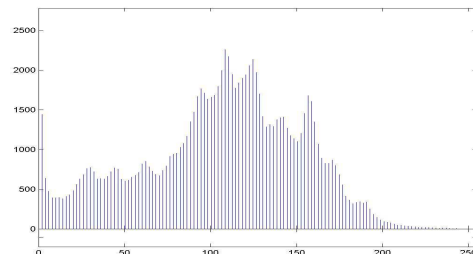


Gambar 2.4. Informasi *palette* pada citra skala keabuan (Ahmad, 2005).

Untuk kepentingan dalam pengolahan citra, yang biasanya dilakukan pada setiap pixel penyusun citra, format bitmap akan lebih mudah digunakan, karena data asli lebih banyak dipertahankan (Usman, 2005).

### Histogram Tingkat Keabuan

Histogram tingkat keabuan adalah suatu fungsi yang menunjukkan informasi suatu citra. Absis (sumbu-x)-nya adalah tingkat keabuan, dan ordinat (sumbu-y)-nya adalah frekuensi kemunculan atau banyaknya titik dengan nilai keabuan tertentu. Gambar 2.8 menunjukkan contoh histogram citra skala keabuan 8 bit (Ahmad, 2005).

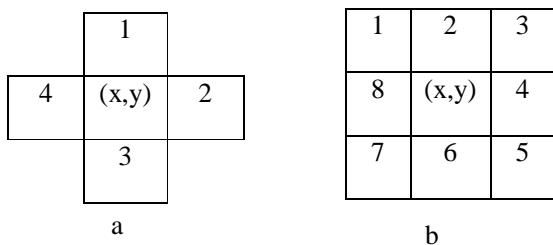


Gambar 2.5. Contoh histogram sebuah citra skala keabuan (Ahmad, 2005).

### Relasi Dasar Antar Pixel

#### Ketetangaan (*Neighborhoods*)

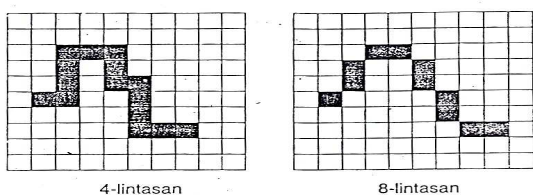
Umumnya algoritma citra bekerja dengan sekumpulan (grup) pixel yang disebut ketetangaan (*neighborhoods*). Ketetangaan dari pixel adalah sekumpulan pixel yang ditentukan berdasarkan lokasinya relatif terhadap pixel tersebut



Gambar 2.6. Pixel-pixel (a) 4-tetangga, (b) 8-tetangga (Usman, 2005).

#### Lintasan

Sebuah deretan pixel yang terkoneksi secara 4-tetangga disebut 4-lintasan, demikian juga bila deretan pixel terkoneksi secara 8-tetangga disebut 8-lintasan. Gambar 2.10 memperlihatkan contoh sederhana dari 4-lintasan dan 8-lintasan (Usman, 2005).



Gambar 2.7. Contoh dari 4-lintasan dan 8-lintasan (Usman, 2005).

#### Operasi *Sliding Neighborhood*

Operasi *sliding neighborhood* adalah operasi dengan memproses sebuah pixel pada satu waktu. Setiap nilai pixel pada citra keluaran ditentukan dari hasil pemrosesan satu buah pixel dari citra masukan yang diproses menggunakan suatu algoritma. Pixel

tengah adalah pixel dari citra masukan yang sedang diproses. Jika *neighborhood* mempunyai baris dan kolom berjumlah ganjil, pixel tengah adalah terletak ditengahnya (Wijaya, 2007).

#### Operasi *Padding* pada Batas (*Border*) Citra

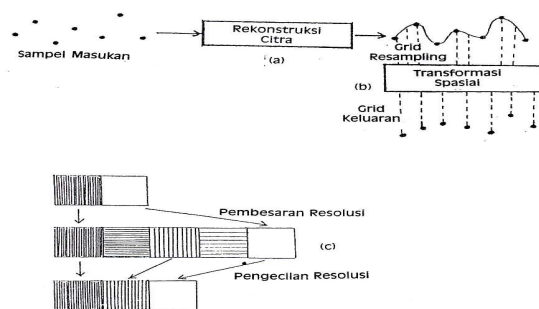
Jika sebuah pixel terletak dekat dengan batas citra, maka beberapa pixel dengan ketetanggaannya (*neighborhood*) mungkin akan hilang. Proses "*padding*" dapat menyebabkan *border effect*, yaitu area (*region*) yang berdekatan dengan batas citra keluaran tidak akan muncul sebagai bagian yang homogen dengan bagian dari citra lainnya (Wijaya, 2007).

#### Interpolasi

Interpolasi adalah proses yang dikerjakan oleh perangkat lunak untuk melakukan pembuatan ulang (*resample*) dari contoh data citra untuk menentukan nilai-nilai antara pixel-pixel yang ditetapkan (Wijaya, 2007).

$$f(x) = \sum_{k=0}^{K-1} c_k h(x - x_k) \quad (2.2)$$

(Murni, 1992).



Gambar 2.8. Proses transformasi spasial, (a) proses rekonstruksi citra, (b) proses *resampling* citra, (c) proses pembesaran dan pengecilan resolusi citra (Murni, 1992).

Ketelitian hasil perhitungan interpolasi dan lama waktu yang diperlukan untuk perhitungan dari suatu algoritma

interpolasi sangat tergantung pada metode interpolasi yang digunakan (Murni, 1992).

### Interpolasi Tetangga Terdekat

Interpolasi tetangga terdekat (*nearest neighbour*), nilai keabuan titik hasil diambil dari nilai keabuan pada titik asal yang paling dekat dengan koordinat hasil perhitungan dari transformasi spasial. Untuk citra 2 dimensi, tetangga terdekat dipilih di antara 4 titik asal yang saling berbatasan satu-sama lain. Kelebihan dari interpolasi tetangga terdekat adalah kemudahan dan kecepatan eksekusinya (Ahmad, 2005).

### Interpolasi Bilinier

Interpolasi bilinier, nilai keabuan dari keempat titik yang bertetangga memberi sumbangan terhadap nilai keabuan hasil, dengan bobot masing-masing yang linier dengan jaraknya terhadap koordinat yang dimaksud. Makin dekat titik tetangga tersebut, makin besar bobotnya, dan sebaliknya makin jauh akan makin kecil bobotnya (Ahmad, 2005).

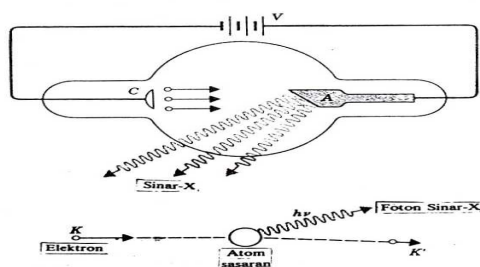
### Pengolahan Citra Berbasis Area (*Region*)

Sebuah "*Region Of Interest*" adalah bagian dari citra yang ingin disaring (*filter*) untuk membentuk beberapa operasi terhadapnya (Wijaya, 2007).

## 2.2 Citra Sinar-X

### Sinar-X Bremsstrahlung

Sinar-X Bremsstrahlung merupakan sinar-X yang diproduksi dengan jalan menembaki target logam dengan elektron cepat dalam suatu tabung vakum sinar katoda. Ketika elektron berenergi tinggi itu menabrak target logam, maka sinar-X akan terpancar dari permukaan logam tersebut (Akhadi, 2000).



Gambar 2.9. Proses terbentuknya sinar-X (Krane, 1992).

### Sinar-X Karakteristik

Sinar-X yang terbentuk melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah. Sinar-X karakteristik mempunyai energi sama dengan selisih energi antara kedua tingkat energi elektron tersebut (Akhadi, 2000).

### Interaksi Sinar-X dengan Bahan

Ketika sinar-X melewati bahan, maka intensitasnya akan berkurang. Sebagai akibatnya intensitas radiasi setelah melewati bahan akan lebih kecil dibandingkan intensitas semula.

Proses pelemahan sinar-X dalam suatu bahan perisai bersifat eksponensial mengikuti persamaan:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.3)$$

Dengan: I = Intensitas sinar-X setelah melalui bahan

$I_0$  = Intensitas sinar-X sebelum melalui bahan

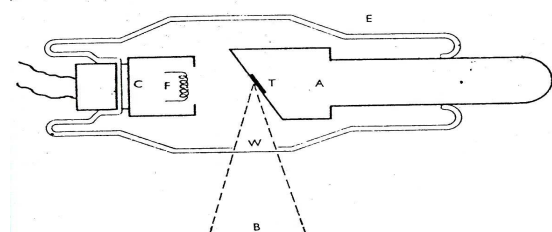
$\mu$  = koefisien serapan linier bahan

x = tebal bahan

Nilai  $\mu$  untuk setiap jenis bahan sangat bergantung pada nomor atom bahan dan juga pada energi radiasi sinar-X (Akhadi, 2000).

### Tabung Sinar-X

Tabung sinar-X merupakan tabung yang digunakan untuk memproduksi sinar-X. Tabung sinar-X diilustrasikan pada gambar berikut (Meredith, 1977).



Gambar 2.10. Gambaran tabung sinar-X (Meredith, 1977).

### Computed Radiography

*Computed Radiography* (CR) merupakan peralatan dengan sistem *Photostimulable Phospor Detector* (PSP). *Phospor* digunakan dalam layar film radiografi, seperti  $Gd_2O_2S$  untuk menyimpan penyerapan sinar-X. Layar PSP disebut juga *storage phosphors* atau *imaging plate*.

### Citra Sinar-X Digital

Citra sinar-X digital dihasilkan oleh peralatan sinar-X yang melakukan pendigitalisasi, untuk *Computed Radiography* (CR) adalah PMT dan *Image Intensifier-Television-Digitizer* (Penangkap Gambar Pendigital) adalah CCD. (Bushberg, 2000).

### 2.3 Citra Dalam Delphi

IDE atau *Integrated Development Environment* merupakan lingkungan kerja yang disediakan oleh Delphi untuk para *user* dalam mengembangkan proyek aplikasi. IDE dalam program Delphi 7.0 terbagi menjadi delapan bagian utama : *Main Menu*, *ToolBar*, *Component Pallete*, *Form Designer*, *Code Editor*, *Object Inspector*, *Code Explorer*, dan *Object Treeview* (Fadlisyah,dkk, 2008).

### Operasi Geometri pada Delphi

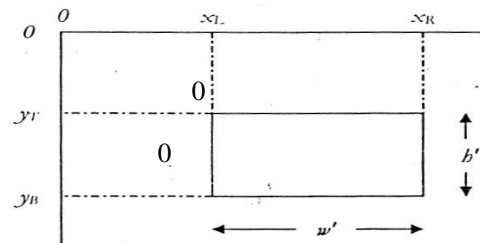
### Operasi Cropping

*Cropping* adalah memotong satu bagian dari citra sehingga diperoleh citra yang berukuran lebih kecil. Rumus yang digunakan untuk operasi ini adalah:

$$x' = x - x_L \quad \text{untuk } x = x_L \text{ sampai } x_R$$

$$y' = y - y_T \quad \text{untuk } y = y_T \text{ sampai } y_B$$

$(x_L, y_T)$  dan  $(x_R, y_B)$  masing-masing adalah koordinat titik pojok kiri atas dan pojok kanan bawah bagian citra yang akan di-*crop* seperti ditunjukkan pada gambar (2.20) (Ahmad, 2005).



Gambar 2.11. Koordinat titik pojok bagian bawah citra yang akan di-*crop* (Ahmad, 2005).

Akibat *cropping*, ukuran citra berubah menjadi:

$$h' = y_B - y_T \quad (2.4)$$

dan transformasi baliknya adalah

$$x = x' + x_L \quad \text{untuk } x'=0 \text{ sampai } w' - 1$$

$$y = y' + y_T \quad \text{untuk } y=0 \text{ sampai } h' - 1$$

(Ahmad, 2005).

### Operasi Penskalaan (Scaling)

Operasi penskalaan dimaksudkan untuk memperbesar (*zoom-in*) dan memperkecil (*zoom-out*) citra. Hal ini dapat dilakukan dengan mengintroduksi parameter skala, baik ke arah horisontal ( $S_h$ ) maupun vertikal ( $S_v$ ). Transformasi spasial yang dipakai adalah:

$$x' = S_h x$$

$$y' = S_v y \quad (2.5)$$

Transformasi balik untuk persamaan diatas adalah:

$$\begin{aligned} x &= x' / S_h \\ y &= y' / S_v \end{aligned} \quad (2.6)$$

ukuran citra juga berubah sesuai hubungan terkait, yaitu:

$$\begin{aligned} w' &= S_h w \\ h' &= S_v h \end{aligned} \quad (2.7)$$

Dan hasil citra penskalaan akan ditampilkan sesuai dengan interpolasi yang dilakukan (Ahmad, 2005).

### Operasi Primitif pada Delphi

Operasi primitif disini adalah menampilkan nilai intensitas pixel citra pada program. Pada *source code*-nya digunakan tipe data *PbyteArray* yang dipilih untuk menampung nilai-nilai intensitas pixel citra didasari oleh kenyataan bahwa citra yang dimuat ke memori memiliki ukuran yang tidak dapat dipastikan. Jenis data *pointer* adalah jawaban yang tepat untuk mengatasi ukuran citra yang tidak pasti tersebut (Fadlisyah,dkk, 2008).

## III. METODE PENELITIAN

### 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian:

1. *Mikroprosesor Notebook Compaq Presario V3000*
2. Perangkat Lunak Borland Delphi 7.0
3. Pesawat X-Ray Shimadzu Km11 (Rumah Sakit Dr. Kariadi Semarang)

4. *Computed Radiography (CR 850)* (Rumah Sakit Dr. Kariadi Semarang)
5. Pelat Fosfor (Rumah Sakit Dr. Kariadi Semarang)
6. Penangkap Gambar Buatan Sendiri (Hasil Disertasi Mahasiswa S3 Kedokteran) (2.15)

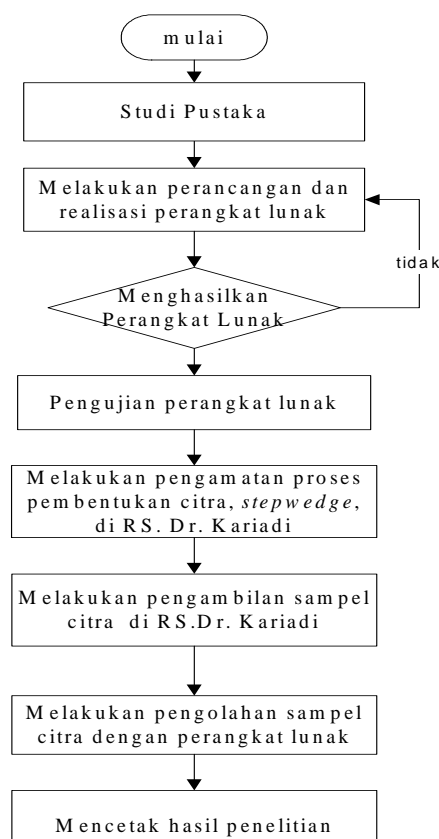
#### 3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. *Step wedge*
2. Lumbal kambing (2.16)
3. Citra *step wedge* hasil Computed Radiography
4. Citra *step wedge* hasil Penangkap Gambar Buatan Sendiri (Kuning)
5. Citra *step wedge* hasil Penangkap Gambar Buatan Sendiri (Hitam)

### 3.2 Prosedur Penelitian

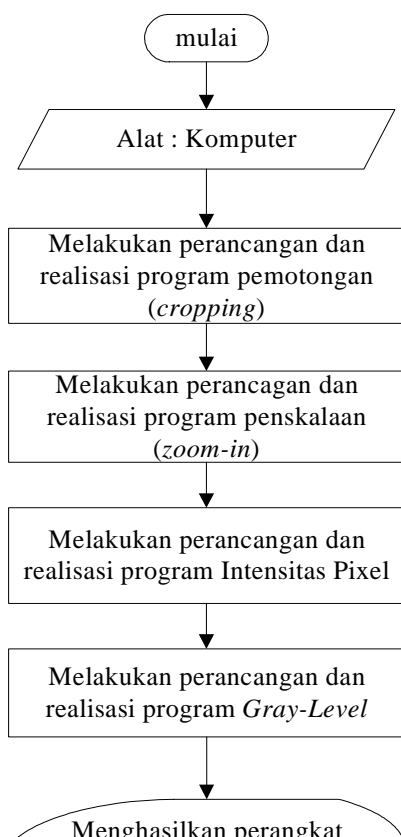
Prosedur langkah yang dilakukan selama penelitian, ditunjukkan oleh diagram alir berikut:



Gambar 3.1. Diagram alir prosedur penelitian

### 3.2.1 Prosedur Penelitian Perancangan dan Realisasi Perangkat Lunak

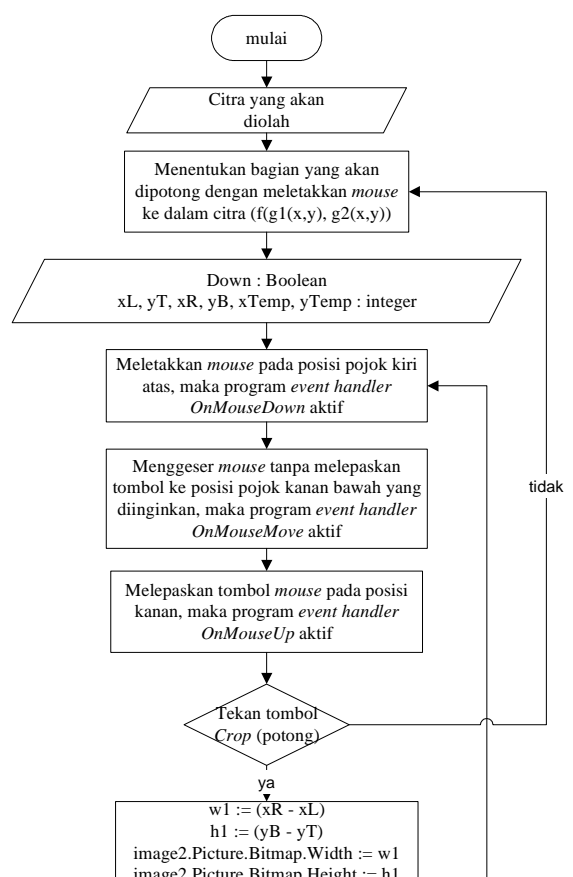
Perancangan dan realisasi perangkat lunak ini ditunjukkan dengan diagram alir berikut.



Gambar 3.2 Diagram alir perancangan dan realisasi perangkat lunak.

#### 3.2.1.1 Perancangan dan Realisasi Program Pemotongan (Cropping)

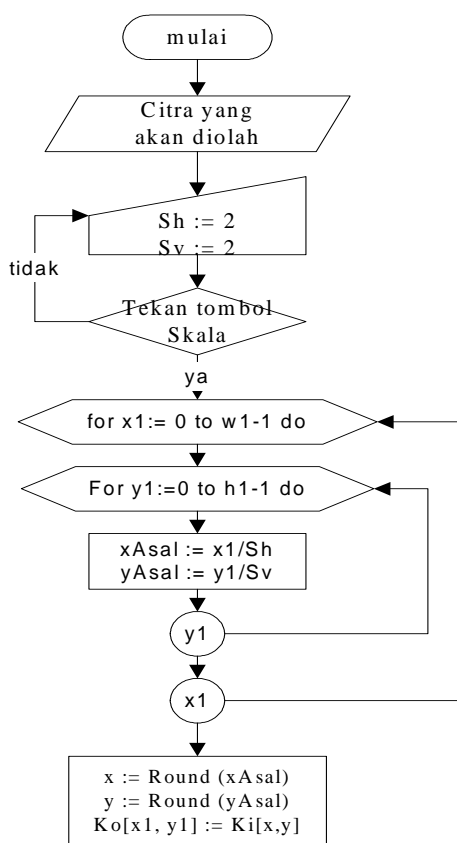
Proses perancangan dan realisasi program pemotongan ditunjukkan oleh diagram alir berikut.



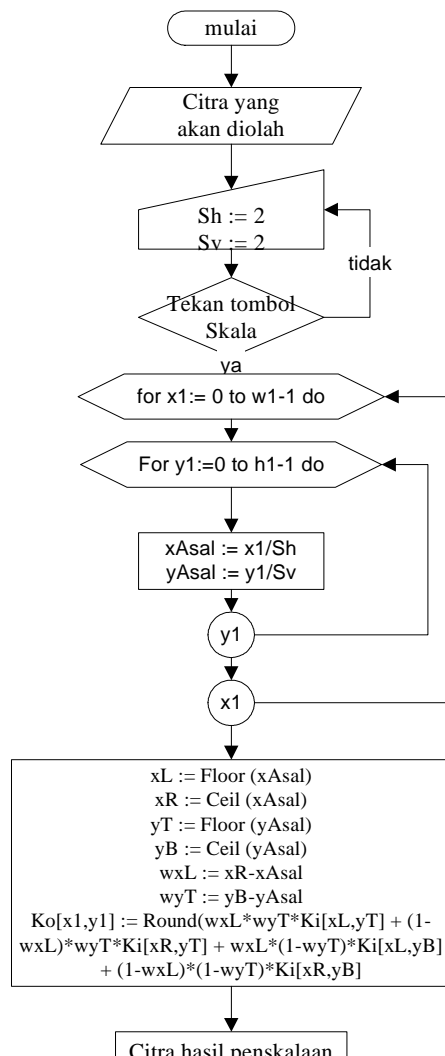
Gambar 3.3. Diagram alir perancangan dan realisasi program pemotongan

**3.2.1.2 Perancangan dan Realisasi Program Penskalaan (Zoom-in)**

Proses perancangan dan realisasi program penskalaan ditunjukkan oleh diagram alir berikut.



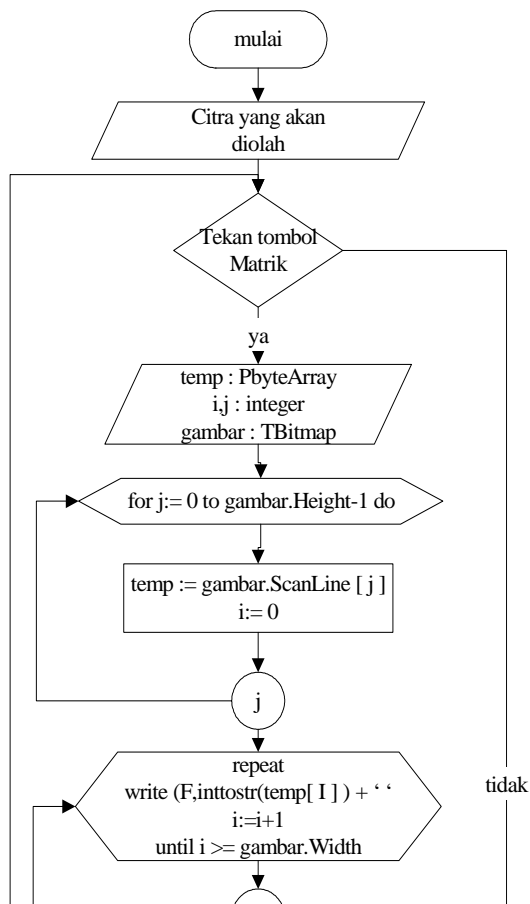
Gambar 3.4. Diagram alir perancangan dan realisasi program penskalaan metode interpolasi tetangga terdekat.



Gambar 3.5. Diagram alir perancangan dan realisasi program penskalaan metode interpolasi bilinear.

### 3.2.1.3 Perancangan dan Realisasi Program Intensitas Pixel

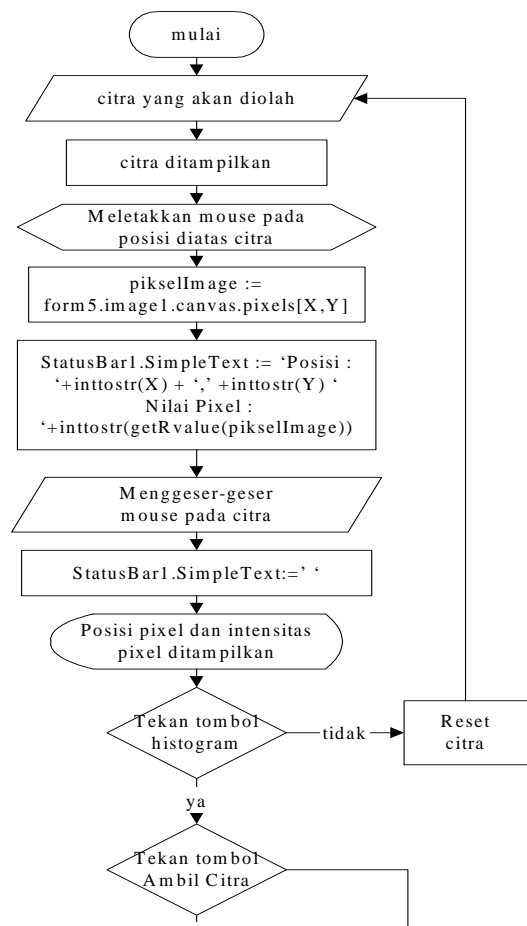
Proses perancangan dan realisasi program intensitas pixel ditunjukkan oleh diagram alir berikut.



Gambar 3.6. Diagram alir perancangan dan realisasi program intensitas pixel.

### 3.2.1.4 Perancangan dan Realisasi Program Gray-Level

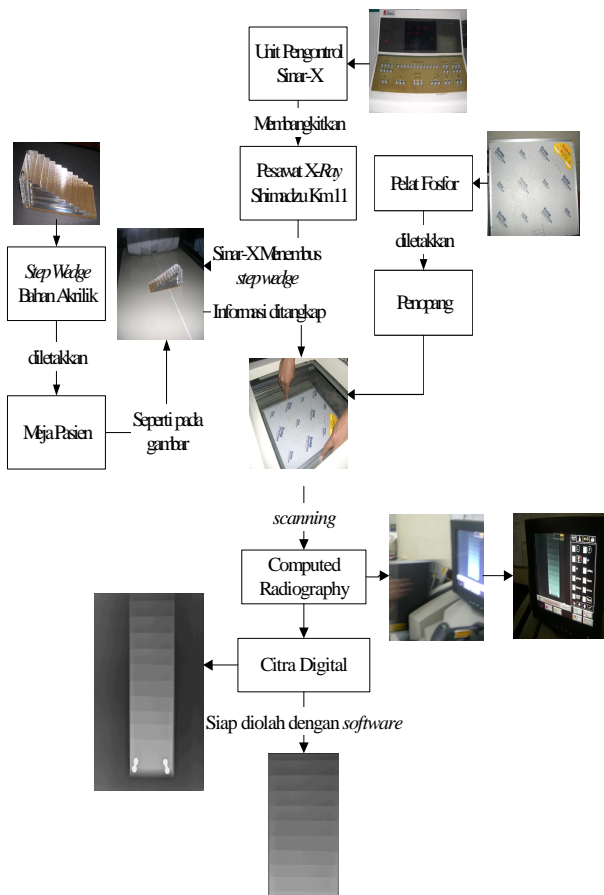
Proses perancangan dan realisasi program gray-level ditunjukkan oleh diagram alir tersebut.



Gambar 3.8. Diagram proses pembuatan citra *step wedge*

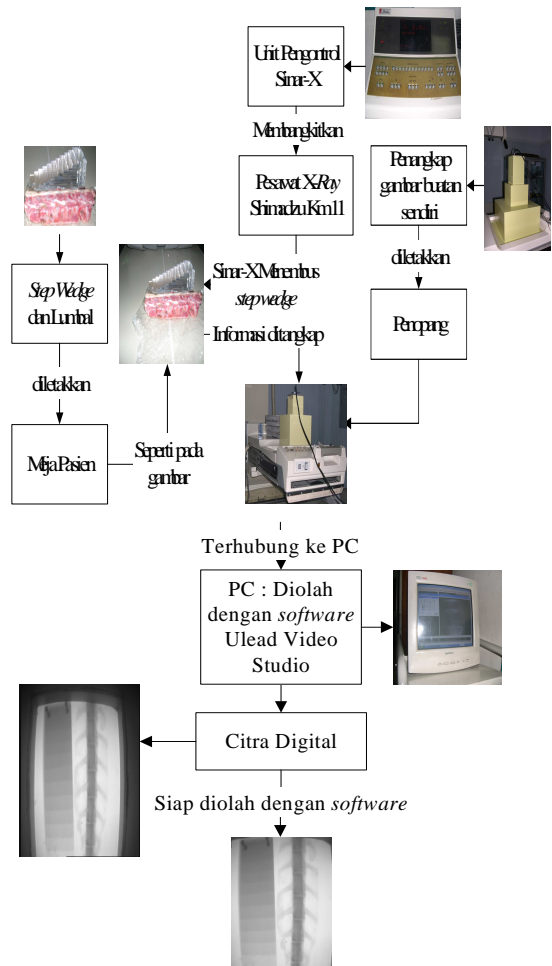
Gambar 3.7. Diagram alir perancangan dan realisasi program histogram  
**3.2.2 Proses Pembuatan Citra Step Wedge Hasil Pencitraan Pesawat X-Ray Shimadzu Km 11 dengan Scanning Computed Radiography (CR850)**

Berikut adalah diagram proses pembuatan citra *step wedge* digital:



**3.2.3 Proses Pembuatan Citra Step Wedge, Lumbal Kambing Hasil Pencitraan Pesawat X-Ray dengan Penangkap Gambar Buatan Sendiri**

Berikut adalah diagram proses pembuatan citra *step wedge* digital:





Dari tabel 4.1, diperoleh bahwa:

1. Pengujian perangkat lunak untuk proses pemotongan menunjukkan adanya intensitas pixel baru yang muncul karena *source code* penyusun program, yaitu

```
Image.Canvas.Pen.Color := clWhite;
Image.Canvas.Pen.Mode := pmXOR;
Image.Canvas.Brush.Style := bsClear;
Image.Canvas.Rectangle(xL, yT, xR, yB);
```

2. Nilai-nilai yang baru adalah nilai yang ditandai dengan warna biru. Nilai-nilai tersebut menggantikan intensitas pixel lama yaitu nilai yang ditandai dengan warna orange.
3. *Source code* `Image.Canvas.Pen.Color := clWhite;` merupakan *code* untuk menimpa citra dengan warna putih yang intensitas pixelnya 255. Sehingga jika pada tepi citra nilainya 161, maka nilai yang baru 094, yang berarti nilai lama dan nilai baru membentuk intensitas pixel putih yaitu (255),  $(161+094 = 255)$ . Jika nilai lama 155, maka nilai baru 100,  $(155+100 = 255)$ , demikian untuk perilaku intensitas pixel-pixel yang lain.
4. Citra 1 merupakan citra potong hasil proses *cropping*, sedangkan citra 1' merupakan citra potong yang diperoleh setelah citra asli di *reset* pada program. Setelah di *reset*, citra asli ditampilkan kembali, dan gambar persegi panjang pada proses pemotongan citra 1 yang masih tertampil dilayar, ditimpakan dengan *mouse* dan menghasilkan citra 1'. Cara ini mampu menghilangkan intensitas pixel-pixel baru yang dihasilkan akibat *source code* pemotongan.
5. Saat citra asli di *reset*, maka layar akan kosong, *source code* yang menyusun proses *reset* adalah :

```
Image.Picture := nil;
```

*Source code* tersebut mengakibatkan citra asli pada layar terhapus (*nil*=kosong). Pembentukan gambar persegi panjang untuk proses pemotongan,

tersimpan pada komponen TImage pada fasilitas Borland Delphi 7.0, sehingga ketika dilakukan *reset*, gambar persegi panjang masih tertampil di layar.

Tabel 4.2. Hasil pengujian perangkat lunak pada penskalaan tetangga terdekat

Nama citra potong	Citra potong	Faktor penskalaan	Citra hasil (pixel)	Intensitas Pixel																																																																																																																																																																								
Citra keabuan 1'		Sh = 2 Sv = 2	(12 x 14)	<table border="1"> <tr><td>161</td><td>161</td><td>162</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>170</td><td>172</td><td>172</td><td>172</td><td>171</td><td>255</td></tr> <tr><td>161</td><td>161</td><td>162</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>170</td><td>172</td><td>172</td><td>172</td><td>171</td><td>255</td></tr> <tr><td>161</td><td>161</td><td>160</td><td>162</td><td>162</td><td>162</td><td>166</td><td>170</td><td>170</td><td>170</td><td>171</td><td>255</td></tr> <tr><td>159</td><td>159</td><td>158</td><td>159</td><td>159</td><td>159</td><td>162</td><td>166</td><td>166</td><td>166</td><td>168</td><td>255</td></tr> <tr><td>159</td><td>159</td><td>158</td><td>159</td><td>159</td><td>159</td><td>162</td><td>166</td><td>166</td><td>166</td><td>168</td><td>255</td></tr> <tr><td>159</td><td>159</td><td>158</td><td>159</td><td>159</td><td>159</td><td>162</td><td>166</td><td>166</td><td>166</td><td>168</td><td>255</td></tr> <tr><td>158</td><td>158</td><td>157</td><td>157</td><td>157</td><td>157</td><td>159</td><td>161</td><td>161</td><td>161</td><td>163</td><td>255</td></tr> <tr><td>159</td><td>159</td><td>159</td><td>158</td><td>158</td><td>158</td><td>157</td><td>158</td><td>158</td><td>158</td><td>159</td><td>255</td></tr> <tr><td>159</td><td>159</td><td>159</td><td>158</td><td>158</td><td>158</td><td>157</td><td>158</td><td>158</td><td>158</td><td>159</td><td>255</td></tr> <tr><td>159</td><td>159</td><td>159</td><td>158</td><td>158</td><td>158</td><td>157</td><td>158</td><td>158</td><td>158</td><td>159</td><td>255</td></tr> <tr><td>157</td><td>157</td><td>153</td><td>157</td><td>157</td><td>157</td><td>156</td><td>154</td><td>154</td><td>154</td><td>157</td><td>255</td></tr> <tr><td>155</td><td>155</td><td>153</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>156</td><td>156</td><td>156</td><td>156</td><td>157</td><td>255</td></tr> <tr><td>155</td><td>155</td><td>153</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>156</td><td>156</td><td>156</td><td>156</td><td>157</td><td>255</td></tr> <tr><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td></tr> </table>	161	161	162	165	165	165	170	172	172	172	171	255	161	161	162	165	165	165	170	172	172	172	171	255	161	161	160	162	162	162	166	170	170	170	171	255	159	159	158	159	159	159	162	166	166	166	168	255	159	159	158	159	159	159	162	166	166	166	168	255	159	159	158	159	159	159	162	166	166	166	168	255	158	158	157	157	157	157	159	161	161	161	163	255	159	159	159	158	158	158	157	158	158	158	159	255	159	159	159	158	158	158	157	158	158	158	159	255	159	159	159	158	158	158	157	158	158	158	159	255	157	157	153	157	157	157	156	154	154	154	157	255	155	155	153	155	155	155	156	156	156	156	157	255	155	155	153	155	155	155	156	156	156	156	157	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
161	161	162	165	165	165	170	172	172	172	171	255																																																																																																																																																																	
161	161	162	165	165	165	170	172	172	172	171	255																																																																																																																																																																	
161	161	160	162	162	162	166	170	170	170	171	255																																																																																																																																																																	
159	159	158	159	159	159	162	166	166	166	168	255																																																																																																																																																																	
159	159	158	159	159	159	162	166	166	166	168	255																																																																																																																																																																	
159	159	158	159	159	159	162	166	166	166	168	255																																																																																																																																																																	
158	158	157	157	157	157	159	161	161	161	163	255																																																																																																																																																																	
159	159	159	158	158	158	157	158	158	158	159	255																																																																																																																																																																	
159	159	159	158	158	158	157	158	158	158	159	255																																																																																																																																																																	
159	159	159	158	158	158	157	158	158	158	159	255																																																																																																																																																																	
157	157	153	157	157	157	156	154	154	154	157	255																																																																																																																																																																	
155	155	153	155	155	155	156	156	156	156	157	255																																																																																																																																																																	
155	155	153	155	155	155	156	156	156	156	157	255																																																																																																																																																																	
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255																																																																																																																																																																	

Dari tabel 4.2, diperoleh bahwa:

1. Pengujian pada proses penskalaan dengan metode interpolasi tetangga terdekat, menunjukkan adanya intensitas pixel baru yaitu 255. Pada saat citra dilakukan penskalaan untuk memperbesar ukuran citra, maka matrik citra hasil akan menjadi lebar, dan ruang-ruang yang kosong akan diisi oleh intensitas pixel-pixel lama dan baru (255).
2. Nilai 255 muncul karena pengaruh *source code* pada program penskalaan, yaitu ada kemungkinan koordinat titik asal yang diperoleh keluar dari batas citra, apabila koordinat tersebut kurang dari 0 atau melebihi lebar (w) atau tinggi citra (h), maka nilai keabuan pada titik hasil diberi sebuah nilai tertentu, dalam program diberi nilai putih (255). *Source code* yang digunakan adalah:

```
If ((Floor(xAsal)<0) or
(Ceil(xAsal)>w-1) or
(Floor(yAsal)<0 or (Ceil(yAsal)>h-1))
then
Ko[x1, y1] := 255
```

Tabel 4.3. Hasil pengujian perangkat lunak pada penskalaan interpolasi bilinear

Nama citra potong	Citra potong	Faktor penskalaan	Citra hasil (pixel)	Intensitas Pixel
Citra keabuan '1'		Sh = 2 Sv = 2	(12 x 14) 	<pre> 161 162 162 164 165 168 170 171 172 171 255 161 161 161 162 164 166 168 170 171 171 255 161 160 160 161 162 164 166 168 170 171 255 160 160 159 160 160 162 164 166 168 169 170 255 159 158 158 158 159 160 162 164 166 167 168 255 158 158 158 158 158 159 160 162 164 164 166 255 158 158 157 157 157 158 159 160 161 162 163 255 158 158 158 158 158 158 158 159 160 160 161 255 159 159 159 158 158 158 157 158 158 158 159 255 158 157 156 157 158 157 156 156 156 157 158 255 157 155 153 155 157 156 156 155 154 156 157 255 156 154 153 154 156 156 156 155 155 156 157 255 155 154 153 154 155 156 156 156 156 156 157 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255                     </pre>

Dari tabel 4.3, diperoleh bahwa:

1. Pengujian pada proses penskalaan dengan metode interpolasi bilinear, menunjukkan adanya intensitas pixel baru penyusun pelebaran matrik akibat penskalaan. Nilai yang baru tersebut, tidak hanya 255 tetapi juga menghasilkan intensitas pixel baru yang lain.
2. Intensitas pixel 255 muncul akibat *source code* pada program, sama seperti metode interpolasi tetangga terdekat. Sedangkan nilai-nilai baru yang lain muncul karena proses interpolasi bilinear itu sendiri.
3. Nilai-nilai baru yang muncul tergantung pada posisi intensitas pixel-pixel lama. Dari tabel, ditunjukkan untuk nilai 165 dan nilai 170 terisi oleh nilai baru 168, mengisi kekosongan ruang akibat pelebaran matrik. Nilai 168 diperoleh dengan nilai rata-rata antara nilai 165 dan nilai 170  $((165+170)/2 = 167,5 = 168)$ . Untuk nilai 038 dan nilai 044 terisi oleh nilai baru yaitu 041  $((038+044)/2 = 041)$ . Demikian pula untuk perilaku intensitas pixel-pixel yang lain.
4. Nilai 043,5 dibulatkan menjadi 044, karena intensitas pixel keabuan merupakan bilangan bulat. Jika hasil pembobotan nilai rata-rata berupa bilangan pecah, maka akan dilakukan pembulatan ke bilangan bulat terdekat dengan *source code*,

yaitu dengan cara membulatkan ke bawah (menggunakan fungsi Floor) dan keatas (menggunakan fungsi Ceil).


```

else
begin
xL := Floor (xAsal);
xR := Ceil (xAsal);
yT := Floor (yAsal);
yR := Ceil (yAsal);
                    
```

Sedangkan untuk pengujian kualitas gambar pada metode interpolasi tetangga terdekat dan metode interpolasi bilinear ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.4. Hasil pengujian pada proses penskalaan untuk uji kualitas gambar dengan metode interpolasi tetangga terdekat dan interpolasi bilinear.

Citra asli	Citra hasil pemotongan	Metode	Citra Hasil
		Interpolasi Tetangga Terdekat	

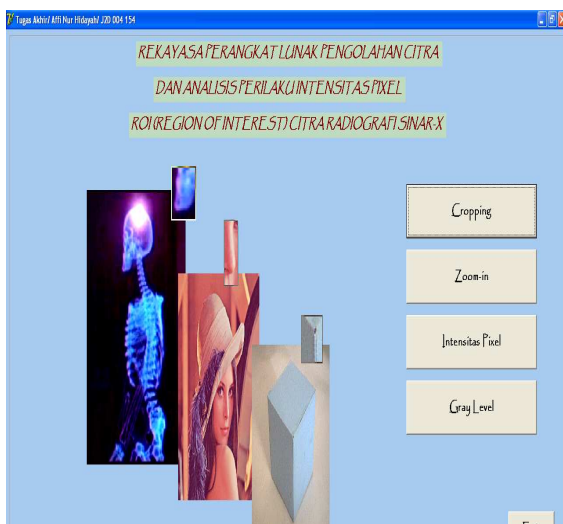
	Interpolasi Bilinier	
--	-------------------------	---

Dari tabel 4.4, diperoleh bahwa:

1. Pengujian pada proses penskalaan untuk kedua metode menunjukkan hasil kualitas citra yang berbeda.
2. Kelebihan dari penskalaan metode interpolasi tetangga terdekat adalah kemudahan dan kecepatan eksekusinya, serta mampu mempertahankan keaslian pixel penyusun citranya karena tidak memunculkan intensitas pixel baru akibat perbesaran (*zoom-in*). Namun kualitas gambar yang dihasilkan terlihat kasar karena setiap titik asli diperbesar ukurannya.
3. Kelebihan dari penskalaan metode interpolasi bilinier adalah kualitas citra terlihat lebih halus (*smooth*), karena terjadi gradasi antara titik-titik yang terdekat. Proses *smoothing* pada interpolasi bilinier memunculkan nilai-nilai baru yang dihasilkan dari nilai rata-rata pembobotan pixel-pixel tetangga, sehingga keaslian informasi berkurang. Proses *smoothing* juga mengakibatkan kompleksitas dari komputasi komputer sehingga waktu penskalaan metode interpolasi bilinier lebih lambat dibandingkan metode interpolasi tetangga terdekat.

#### 4.2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Adapun tampilan utama hasil perancangan perangkat lunak sebagai berikut.

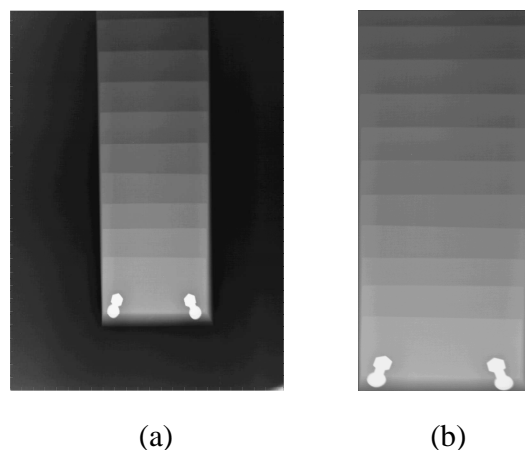


Gambar 4.1. Hasil perancangan perangkat lunak tampilan utama

#### 4.3 Hasil Pengolahan Citra Radiografi

##### 4.3.1 Citra *Computed Radiography*

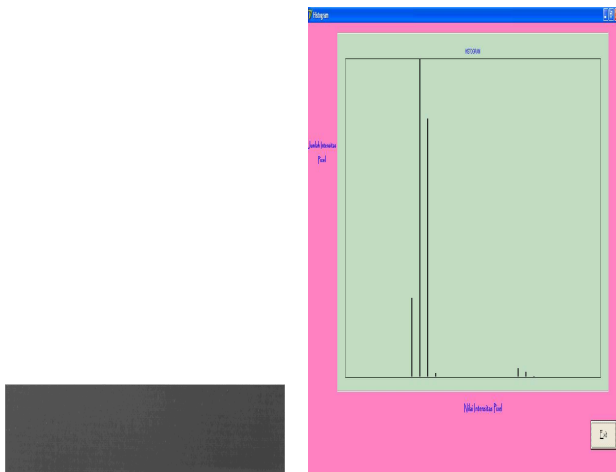
Citra tersebut merupakan hasil pemotretan menggunakan Sinar-X dengan bahan perekam citra berupa pelat fosfor yang kemudian ditampilkan pada layar perangkat (*work station*) *Computed Radiography*.



Gambar 4.2. Citra radiografi *step wedge* bahan akrilik homogen (a) citra asli ukuran 2048 x 2500 pixel, (b) citra *step wedge* hasil

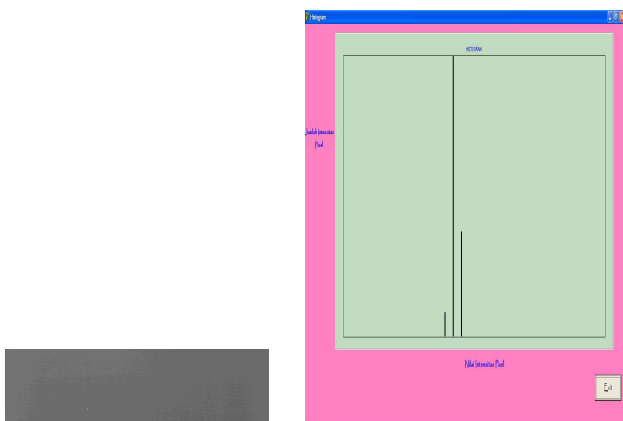
pemotongan sehingga berukuran 818 x 2291 pixel.

Nilai histogram penyusun citra *step 1* dan *step 6* ditampilkan pada gambar 4.3.



(a)

(b)



(c)

(d)

Gambar 4.3. Hasil dari (a) potongan citra *step 1* ukuran 816 x 94 pixel, (b) histogram *gray level step 1*, (c)

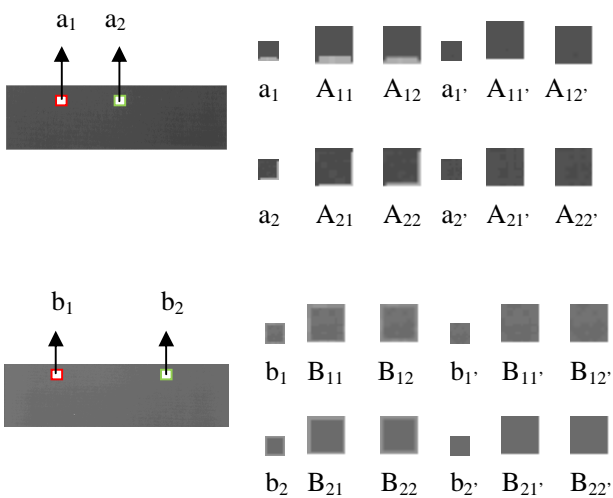
potongan citra *step 6* ukuran 794 x 183 pixel, (d) histogram *gray level step 6*.

Gambar 4.3 menampilkan histogram *gray level* yang mewakili informasi intensitas pixel penyusun citra *step 1* dan *step 6*, diperoleh bahwa:

1. Histogram *step 1* dan *step 6*, bernilai hampir homogen karena tingkat keabuannya memiliki nilai yang hampir sama pada keseluruhan ruang matrik. *Step 1*, intensitas pixel citra hampir mutlak bernilai 082 dengan jumlah 59.922 (78,12%), sedangkan untuk *step 6*, intensitas pixel citra hampir mutlak bernilai 107 dengan jumlah 94638 (65,13 %).
2. Penyimpangan dari intensitas pixel diatas, untuk *step 1* munculnya nilai 074 dengan jumlah 13590 (17,72%), nilai 090 dengan jumlah 1288 (1,68%), nilai 099 dengan jumlah 12 (1,60x10<sup>-2</sup>%), nilai 115 dengan jumlah 18 (2,30x10<sup>-2</sup>%), nilai 107 dengan jumlah 15 (2,00x10<sup>-2</sup>%), nilai 165 dengan jumlah 15 (2,00x10<sup>-2</sup>%), dan nilai 173 dengan jumlah 1844 (2,40%). Untuk citra *step 6*, muncul nilai 115 dengan jumlah 50400 (34,71%), nilai 123 dengan jumlah 204 (1,40x10<sup>-1</sup>%), nilai 132 dengan jumlah 18 (1,24x10<sup>-2</sup>%), nilai 140 dengan jumlah 3 (2,06x10<sup>-3</sup>%), nilai 099 dengan jumlah 18 (1,24x10<sup>-2</sup>%), nilai 082 dengan jumlah 3 (2,60x10<sup>-3</sup>%), nilai 165 dengan jumlah 6 (4,13x10<sup>-3</sup>%), nilai 247 dengan jumlah 3 (2,06x10<sup>-3</sup>%), nilai 206 dengan jumlah 3 (2,60x10<sup>-3</sup>%), nilai 156 dengan jumlah 3 (2,60x10<sup>-3</sup>%), dan nilai 123 dengan jumlah 3 (2,60x10<sup>-3</sup>%). Munculnya nilai 074, 099, 090, 115 dan 107 pada *step 1*, serta munculnya nilai 123, 132, 140, 090, 082, 165, 247, 206, 156, dan nilai 123 pada *step 6* disebabkan adanya *random error* pada sistematis, sedangkan nilai 173 pada *step 1* karena proses *cropping*.
3. Perbedaan nilai tingkat keabuan (*gray level*) antara *step 1* dan *step 6*, disebabkan perbedaan tebal bahan *step wedge* yang digunakan. Selisih antara *step 1* dan *step 6* memiliki perbedaan tebal 2,50 cm, sehingga berpengaruh pada nilai intensitas

radiasi Sinar-X yang diteruskan menembus bahan *step wedge*. Semakin tebal bahan *step wedge*, maka pengurangan intensitas radiasinya semakin besar. Pengurangan intensitas radiasi tersebut berpengaruh pada  $\log\left(\frac{I_0}{I}$ ) yang merupakan nilai Densitas optik, yaitu selisih antara intensitas radiasi sebelum melewati bahan dan sesudah melewati bahan. Akibatnya, semakin tebal bahan maka tingkat kecerahan citra semakin besar. Karena citra *step 6* lebih tebal, maka intensitas pixel yang dihasilkan juga semakin besar, dan warnanya lebih terang dibandingkan citra *step 1*.

Pada citra *step 1* dan *step 6*, dilakukan pemotongan untuk mendapatkan ROI (*Region Of Interest*) berukuran 10 x 10 pixel dan dilakukan penskalaan (*zoom-in*) dengan metode interpolasi tetangga terdekat dan interpolasi bilinear dengan skala pengali 2, seperti ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Hasil pengolahan citra CR meliputi pemotongan (kotak merah : daerah pertama homogen dan kotak hijau : daerah pertama tidak homogen) untuk (a) *step 1*, dan (kotak hijau : daerah pertama homogen dan kotak merah : daerah pertama tidak homogen) untuk (b) *step 2* , penskalaan metode

interpolasi tetangga terdekat dan interpolasi bilinear pada (a) *step 1* dan (b) *step 6*.

Pada gambar menunjukkan hasil pengolahan citra *step 1* dan *step 6* hasil citra CR. Dimana (a) *step 1* ukuran 816 x 94 pixel , (a<sub>1</sub>) pemotongan pertama daerah homogen ukuran 10 x 10 pixel, (A<sub>11</sub>) penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (A<sub>12</sub>) penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel, (a<sub>1</sub>') pemotongan kedua daerah homogen ukuran 10 x 10 pixel, (A<sub>11</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (A<sub>12</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel, (a<sub>2</sub>) pemotongan pertama daerah tidak homogen ukuran 10 x 10 pixel, (A<sub>21</sub>) penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (A<sub>22</sub>) penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel, (a<sub>2</sub>') pemotongan kedua daerah tidak homogen ukuran 10 x 10 pixel, (A<sub>21</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (A<sub>22</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel.

Dan (b) *step 6* ukuran 794 x 183 pixel, (b<sub>1</sub>) pemotongan pertama daerah tidak homogen ukuran 10 x 10 pixel, (B<sub>11</sub>) penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (B<sub>12</sub>) penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel, (b<sub>1</sub>') pemotongan kedua daerah tidak homogen ukuran 10 x 10 pixel, (B<sub>11</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (B<sub>12</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel, (b<sub>2</sub>) pemotongan pertama daerah homogen ukuran 10 x 10 pixel, (B<sub>21</sub>) penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (B<sub>22</sub>) penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel, (b<sub>2</sub>') pemotongan kedua daerah homogen ukuran 10 x 10 pixel, (B<sub>21</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (B<sub>22</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel.

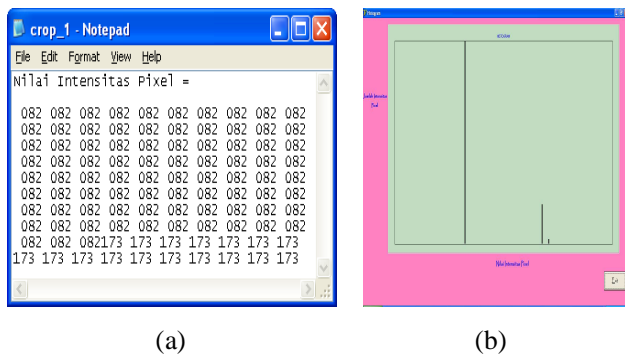
Hasil matrik yang ditampilkan pada setiap pemotongan dan penskalaan dapat dilihat pada lampiran, sedangkan untuk prosentase perilaku dan keberadaan intensitas pixel-pixel ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

### 4.3.2 Perilaku Intensitas Pixel Hasil Pemotongan dan Penskalaan Step 1 (CR)

Step 1 citra CR dilakukan pemotongan dan penskalaan pada daerah homogen dan tidak homogen.

#### 4.3.2.1 Pemotongan Daerah Pertama (a<sub>1</sub>) Homogen

Hasil intensitas pixel dan histogramnya dari pemotongan daerah pertama ukuran 10x10 pixel ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Hasil (a) Intensitas pixel (b) histogram. Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil prosentase pemotongan daerah pertama citra step 1 homogen

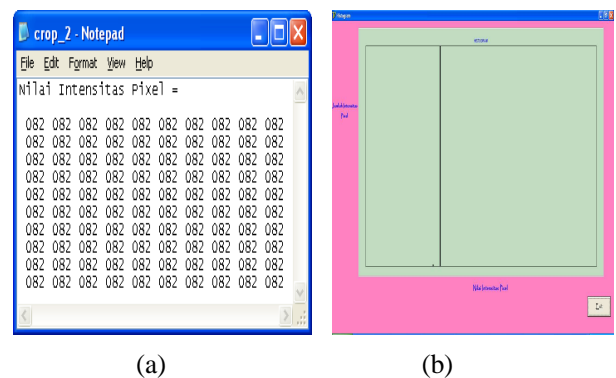
Dari tabel 4.5, diperoleh bahwa:

- Hasil prosentase pemotongan pada daerah homogen seharusnya mutlak bernilai 082, ternyata ada penyimpangan dengan munculnya nilai baru yaitu nilai 173 sebesar 17%, sehingga prosentase kehomogenan citra ROI 10 x 10 pixel pada step 1 menurun 17% akibat nilai 173.

- Nilai 173 yang muncul disebabkan karena proses pemotongan dengan perangkat lunak, ( 082+173 = 255).

#### 4.3.2.2 Pemotongan Daerah Kedua (a<sub>1</sub>') Homogen

Dilakukan pemotongan untuk kedua kalinya di daerah yang sama, hasil intensitas pixel dan histogramnya ukuran 10x10 pixel ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Hasil (a) Intensitas pixel, (b) histogram

Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil prosentase pemotongan daerah kedua citra step 1 homogen

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas Pixel	Prosentase (%)
082	83	83
173	17	17
082	100	100

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas Pixel	Prosentase (%)
082	83	83
173	17	17
082	100	100

Dari tabel 4.6, diperoleh bahwa:

- Hasil pemotongan kedua didapatkan nilai mutlak homogen yaitu nilai 082 yang tersebar di

koordinat matrik sebesar 100%, tidak ada nilai tambahan akibat proses pemotongan.

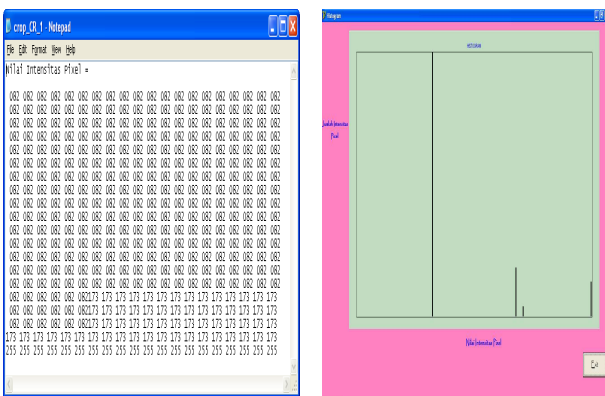
2. Nilai mutlak didapatkan karena proses pemotongan yang berbeda jika dibandingkan dengan proses pemotongan yang pertama. Pemotongan kedua ini, setelah berhasil melakukan pemotongan pertama, dilakukan reset untuk membersihkan citra gambar, kemudian dibuka kembali citra *step 1* dan dilakukan pemotongan ulang, dengan menimpakan proses pemotong dengan *mouse* pada hasil *crop* yang pertama yang masih terlihat pada layar. Ternyata cara tersebut berhasil menghilangkan nilai intensitas pixel *noise* akibat pemotongan.

#### 4.3.2.3 Penskalaan Daerah Pertama Homogen

Penskalaan dengan metode interpolasi tetangga terdekat dan interpolasi bilinear menghasilkan ukuran 20x20 pixel.

#### Penskalaan Metode Interpolasi Tetangga Terdekat (A<sub>11</sub>)

Hasil intensitas pixel dan histogramnya ditunjukkan pada gambar 4.7.



(a)

(b)

Gambar 4.7. Hasil (a) Intensitas pixel, (b) histogram

Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil prosentase penskalaan interpolasi tetangga terdekat daerah pertama citra *step 1* homogen.

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas Pixel	Prosentase (%)
082	318	79,5
173	62,0	15,5
255	20,0	5,00

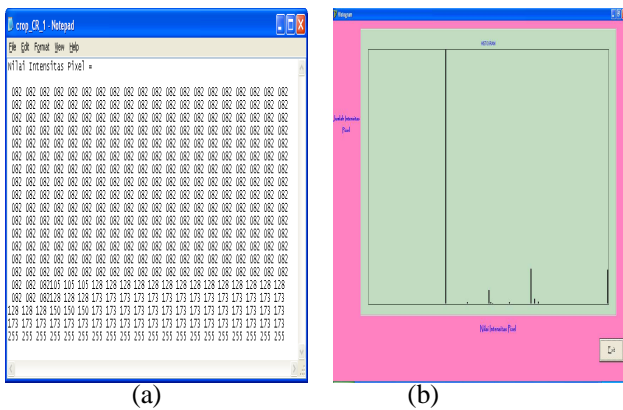
Dari tabel 4.7, diperoleh bahwa:

1. Keberadaan nilai 082 yang memiliki prosentase sebesar 83% hasil pemotongan, berkurang sebesar 3,5% dan (menjadi 79,5 %). Untuk nilai 173 yang semula prosentase 17% berkurang sebesar 1,5% (menjadi 15,5%). Pengurangan prosentase keberadaan nilai 082 dan 173 tersebut tergantikan oleh penyimpangan nilai baru yaitu 255 sebesar 5% dari total 400 pixel.
2. Penskalaan akan memperbesar ukuran citra. Sebanding dengan ukuran citra yang semakin besar, maka nilai-nilai pada citra asli akan digandakan menjadi lebih banyak untuk mengisi kekosongan akibat pelebaran matrik. Dengan metode interpolasi tetangga terdekat, maka nilai-nilai baru tersebut merupakan nilai-nilai intensitas pixel lama (082 dan 173) yang digandakan dengan menggesernya ke sebelah kanan, kiri, atas dan bawah sesuai dengan kedudukan nilai pixel pada koordinat matriknya.
3. Penyimpangan kemunculan nilai 255 sebagai pengisi kekosongan ruang, disebabkan karena tidak semua intensitas pixel digandakan sebanyak dua kali baik ke kanan, kiri, atas, atau bawah, sehingga masih ada kekosongan pada ruang matrik, dan kekosongan itu akan diisi oleh 255. Kemunculan nilai 255 itu akibat *source code*, dan pengaruhnya

kecil terhadap gambar hasil *zoom-in*, karena prosentasenya kecil. Nilai 255 akan muncul di tepi bingkai matrik citra, dan pada proses *zoom-in* citra ini, nilai 255 muncul di tepi bawah.

### Penskalaan Metode Interpolasi Bilinier ( $A_{12}$ )

Sedangkan untuk perilaku penskalaan dengan metode interpolasi bilinier, intensitas pixel dan histogramnya ditunjukkan gambar 4.8.



Gambar 4.8. Hasil (a) Intensitas pixel, (b) histogram

Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil prosentase penskalaan interpolasi bilinier daerah pertama citra *step 1* homogen.

Dari tabel 4.8, diperoleh bahwa:

1. Nilai prosentase 082 hasil pemotongan adalah 83%, setelah proses penskalaan dengan metode interpolasi bilinier berkurang sebesar 6,5% (menjadi 26,5%), sedangkan nilai 173 yang semula sebesar 17%, akibat penskalaan berkurang sebesar 5% (menjadi 12%).
2. Penskalaan ini memunculkan nilai baru selain 082 dan 173, yaitu nilai 105 sebesar  $(7,50 \times 10^{-1} \%)$ , nilai

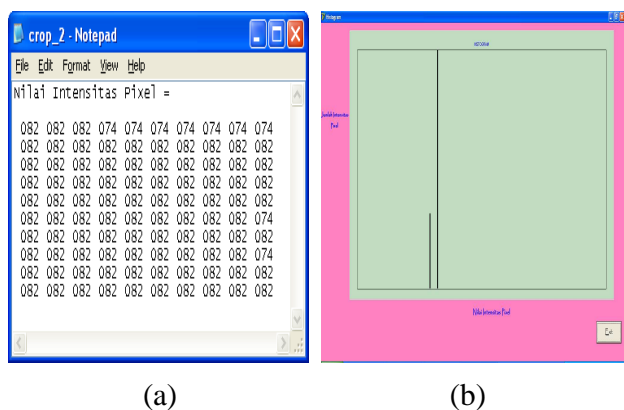
128 sebesar 5%, nilai 150 sebesar  $(7,50 \times 10^{-1} \%)$  dan nilai 255 sebesar 5%.

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas Pixel	Prosentase(%)
082	306	76,5
105	3,00	$7,50 \times 10^{-1}$
128	20,0	5,00
150	3,00	$7,50 \times 10^{-1}$
173	48,0	12,0
255	20,0	5,00

3. Nilai 128 muncul akibat pembobotan nilai rata-rata antara nilai 173 dan 082  $((082+173)/2 = 127,5=128)$ , nilai ini mengalami pembulatan karena *source code*. Sedangkan nilai 105 muncul akibat pembobotan nilai rata-rata antara 128 dan 082  $((082+128)/2=105)$ . Dan nilai 255 muncul akibat proses penskalaan yaitu karena *source code*.

### 4.3.2.5 Pemotongan Daerah Kedua ( $a_2$ ) Tidak Homogen

Hasil intensitas pixel dan histogram hasil pemotongan daerah kedua ukuran 10x10 pixel ditunjukkan gambar 4.9.



Gambar 4.9. Hasil (a) Intensitas pixel, (b) histogram

Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil prosentase pemotongan citra *step 1* tidak homogen daerah kedua

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas Pixel	Prosentase (%)
074	9,0	9,0
082	91	91

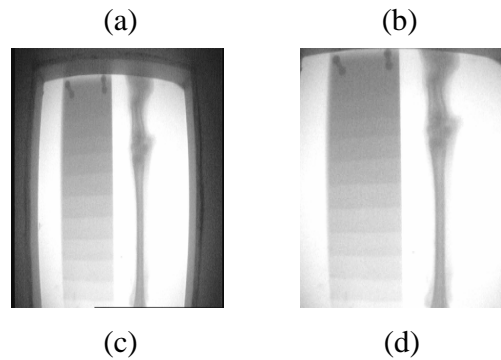
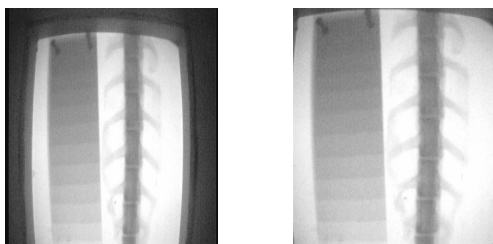
Dari tabel 4.9, diperoleh bahwa:

1. Intensitas pixel lain penyusun citra *step 1* yaitu nilai 074 dengan prosentase 9%, namun intensitas pixel yang paling banyak masih tetap nilai 082 sebagai penyusun kehomogenan citra *step 1* sebesar 91%.
2. Dan dari tabel diketahui bahwa intensitas pixel *noise* akibat pemotongan pada citra tidak diperlihatkan.

#### 4.3.4 Citra Penangkap Gambar Buatan Sendiri (Kuning)

Dari hasil penelitian disertasi S3, pembuatan penangkap gambar buatan sendiri mengalami satu kali perbaikan. Sistem awal yaitu penangkap gambar buatan sendiri (berwarna kuning) memiliki kekuatan lensa sebesar 0,1 D, sedangkan untuk perbaikan menghasilkan penangkap gambar buatan sendiri (berwarna hitam) yang memiliki kekuatan lensa 0,001D.

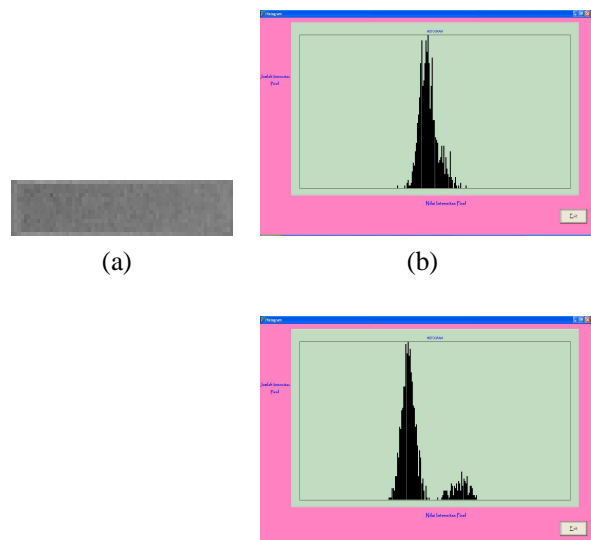
Citra yang dihasilkan disini merupakan citra *step wedge* dari bahan akrilik homogen, citra lumbal kambing dan citra kaki kambing dengan variasi nilai tegangan, arus dan waktu eksposi yang berbeda. Bentuk citra ditunjukkan pada gambar 4.10.

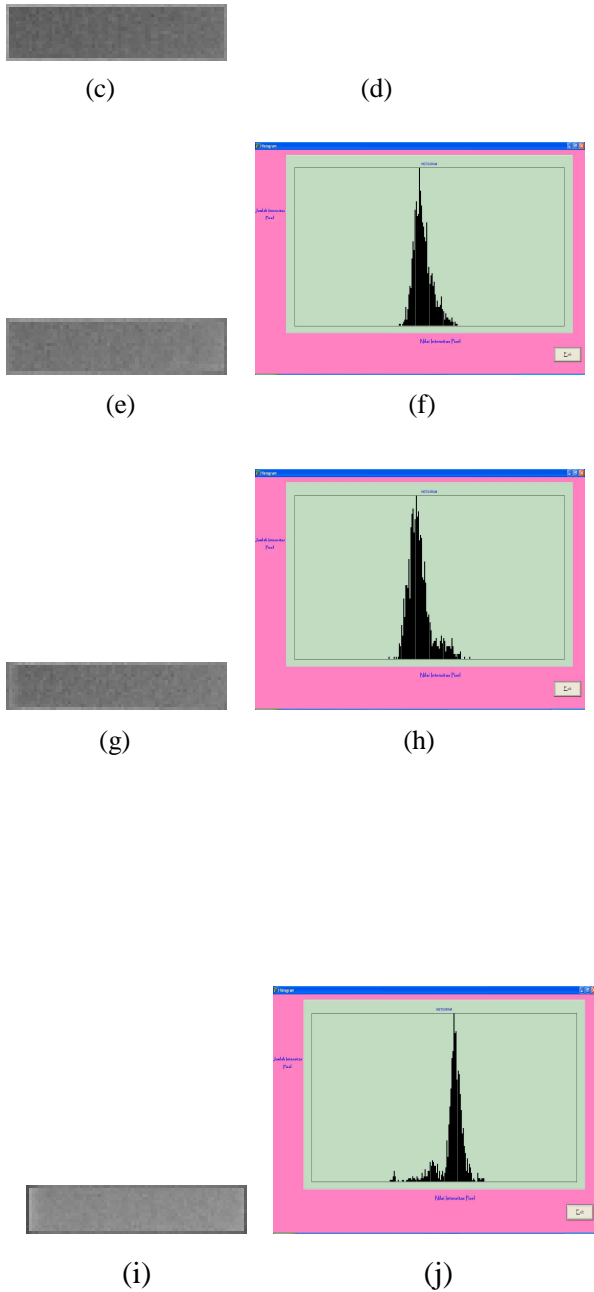


Gambar 4.10. Citra radiografi (a) citra asli *step wedge* bahan akrilik homogen dan citra asli lumbal kambing ukuran 320 x 240 pixel , (b) citra yang dipotong sehingga berukuran 220 x 216 pixel, (c) citra asli *step wedge* bahan akrilik homogen dan citra asli kaki kambing ukuran 320 x 240 pixel, (d) citra yang dipotong sehingga berukuran 213 x 215 pixel.

Citra hasil penangkap gambar buatan sendiri ini, untuk memperjelas citra dan memudahkan saat diolah dengan sistem buatan sendiri, dilakukan pemotongan terlebih dahulu dengan bantuan Microsoft Office Picture Manager.

Nilai-nilai tingkat keabuan (*gray level*) dari penyusun citra *step 1* histogramnya ditampilkan pada gambar 4.11.





Gambar 4.11. Hasil dari (a) potongan *step* 1 citra 01 ukuran 69 x 13 pixel, (b) histogram *gray level step* 1 citra 01, (c) potongan *step* 1 citra 02 ukuran 67 x 17 pixel, (d) histogram *gray level step* 1 citra 02, (e) potongan *step* 1 citra 03 ukuran 70 x 16 pixel, (f)

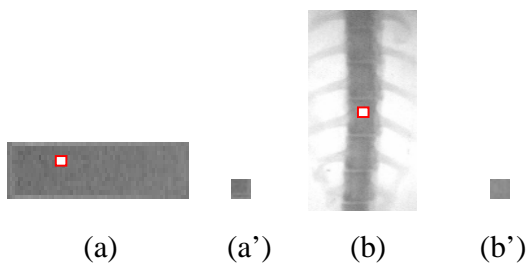
histogram *gray level step* 1 citra 03, (g) potongan *step* 1 citra 04 ukuran 71 x 16 pixel, (h) histogram *gray level step* 1 citra 04, (i) potongan *step* 1 citra 05 ukuran 74 x 16 pixel, (j) histogram *gray level step* 1 citra 05.

Gambar 4.11 menampilkan histogram *gray level* yang mewakili informasi nilai-nilai intensitas pixel penyusun citra *step* 1, diperoleh bahwa :

1. Histogram *step* 1 pada semua citra hasil penangkap gambar buatan sendiri tidak homogen baik untuk nilai *step* pada citra 01, citra 02, citra 03, citra 04, dan citra 05. Terlihat pada histogram-histogramnya intensitas pixel penyusun citra *step* 1, rentangnya lebar dan menunjukkan bahwa bermacam-macam nilai penyusun *step* 1.
2. Perbedaan *setting* berpengaruh pada kualitas citra, ditunjukkan dengan histogram yang rentangnya berbeda dan hal tersebut menunjukkan bahwa intensitasi pixel penyusun *step* 1 untuk ke-lima tipe citra radiografi hasil penangkap gambar buatan sendiri berbeda. Untuk citra 01 di *setting* pada 41 kV, 4.0 mAS, 10 msec, citra 02 di *setting* 42 kV, 4.0 mAS, 10 msec, citra 03 di *setting* 42 kV, 3.2 mAS, 8.0 msec, citra 04 di *setting* 43 kV, 2.5 mAS, 6.3 msec, dan citra 05 di *setting* 42 kV, 4.0 mAS, 10 msec.
3. Pengaturan tegangan, arus dan waktu eksposi akan mempengaruhi produksi Sinar-X yang melewati bahan *step wedge*, mempengaruhi lamanya waktu pengambilan citra dan mempengaruhi kualitas gambar citra radiografinya. Jika tegangan di *setting* lebih tinggi maka energinya akan lebih besar dan panjang gelombangnya akan lebih pendek. Semakin pendek panjang gelombangnya, membuat Sinar-X lebih mudah menembus bahan, jika lebih mudah menembus bahan maka akan mempengaruhi nilai  $\log\left(\frac{I_0}{I}$ ), dan berpengaruh pada kualitas citra radiografi. Sedangkan peningkatan mA (arus) akan menambah intensitas Sinar-X, dan penurunan mA akan mengurangi intensitasnya. Maka *derajat terang/brightness* akan bertambah sesuai dengan peningkatan intensitas radiasi di titik fokus. Oleh

sebab itu, derajat terang dapat diatur dengan mengubah mA.

Step 1 dan citra lumbal pada sampel citra 01 dilakukan pemotongan untuk mendapatkan ROI (*Region of Interest*) berukuran 10 x 10 pixel dan ditampilkan intensitas pixelnya untuk mengetahui perilaku intensitas pixel penyusun step 1 dan lumbal, seperti ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.12. Hasil pengolahan citra 01 meliputi (a) citra step 1 asli ukuran 69 x 13 pixel, (a') hasil pemotongan ukuran 10 x 10 pixel, (b) citra lumbal asli ukuran 84 x 204 pixel, (b') hasil pemotongan ukuran 10 x 10 pixel.

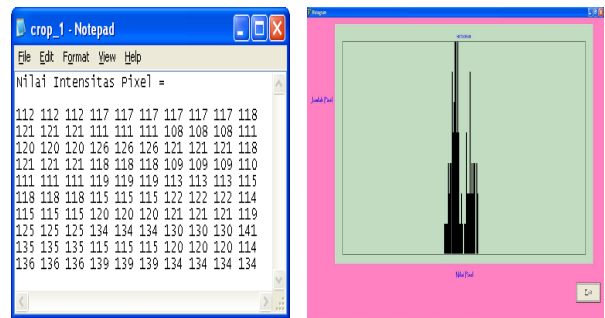
Hasil matrik yang ditampilkan pada setiap pemotongan dapat dilihat pada lampiran, sedangkan untuk prosentase ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

#### 4.3.5 Perilaku Intensitas Pixel Hasil Pemotongan Step 1 dan Lumbal

Sampel citra 01 dilakukan pengolahan untuk step 1 dan lumbal yaitu pemotongan untuk mendapatkan ROI dengan ukuran 10 x 10 pixel sampai didapatkan intensitas pixelnya.

##### Perilaku Intensitas Pixel Hasil Pemotongan Step 1

Hasil intensitas pixel dan histogramnya ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Hasil (a) Intensitas pixel, (b) histogram

Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil prosentase pemotongan step 1 citra 01.

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas	
	Pixel	Prosentase (%)
108	3,0	3,0
109	3,0	3,0
110	1,0	1,0
111	7,0	7,0
112	3,0	3,0
113	3,0	3,0
114	2,0	2,0
115	10	10
117	6,0	6,0
118	8,0	8,0
119	4,0	4,0
120	9,0	9,0
121	12	12
122	3,0	3,0
125	3,0	3,0
126	3,0	3,0
130	3,0	3,0
134	7,0	7,0
135	3,0	3,0
136	3,0	3,0
139	3,0	3,0
141	1,0	1,0

Dari tabel 4.10, diperoleh bahwa:

1. Pemotongan menunjukkan intensitas pixel-pixel penyusunnya bervariasi, dari mulai nilai 108 sampai 141. Hal itu menunjukkan *step* 1 pada citra 01 tidak homogen.
2. Prosentase intensitas pixel tertinggi yaitu 121 dengan prosentase 12%, sedangkan untuk prosentase nilai terendah yaitu 110 dengan prosentase 1% dan nilai 141 dengan prosentase 1%.
3. Hasil penghitungan yang dapat dilihat di lampiran, menunjukkan :

$$S_1 = \sqrt{\frac{7019}{100(100-1)}} = 8,420 \times 10^{-1}$$

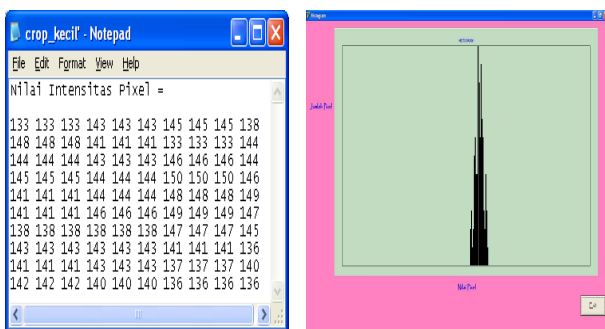
$$I = I \pm S_1 = (120,6 \pm 8,420 \times 10^{-1})$$

$$RN = \frac{8,420 \times 10^{-1}}{120,6} \times 100\% = 6,982 \times 10^{-1} \%$$

$$K = 100\% - RN = 100 - 6,982 \times 10^{-1} \% = 99,30 \%$$

### Perilaku Intensitas Pixel Hasil Pemotongan Lumbal

Hasil intensitas pixel dan histogramnya ditunjukkan pada gambar 4.14.



(a)

(b)

Gambar 4.14. Hasil (a) Intensitas pixel, (b) histogram

Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.11. Hasil prosentase pemotongan citra lumbal.

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas Pixel	Prosentase (%)
133	6,0	6,0
136	5,0	5,0
137	3,0	3,0
138	7,0	7,0
140	4,0	4,0
141	15	15
142	3,0	3,0
143	15	15
144	11	11
145	7,0	7,0
146	7,0	7,0
147	4,0	4,0
148	6,0	6,0
149	4,0	4,0
150	3,0	3,0

Dari tabel 4.11, diperoleh bahwa:

1. Hasil pemotongan lumbal menunjukkan bahwa citra lumbal ternyata membawa informasi-informasi penyusun gambar lumbal. Dari tabel diketahui rentang intensitas pixel penyusun ROI lumbal dari nilai 133 sampai nilai 150. Dalam dunia kedokteran (teknik radiografi digital), informasi lumbal akan dibandingkan dengan informasi *stepwedge* sehingga bisa diketahui apakah intensitas pixel lumbal lebih besar atau lebih kecil dari *stepwedge*. Hasil analisa ini nantinya digunakan untuk pengecekan apakah tulang tersebut mengalami osteoporosis atau tidak.
2. Prosentase terbesar pada hasil pemotongan lumbal dimiliki oleh nilai 141 sebesar 15%, sedangkan

prosentase terendah dimiliki oleh nilai 137, 142 dan 150 dengan prosentase yang sama sebesar 3%.

3. Hasil penghitungan yang dapat dilihat di lampiran, menunjukkan:

$$S_1 = \sqrt{\frac{1803}{100(100-1)}} = 4,268 \times 10^{-1}$$

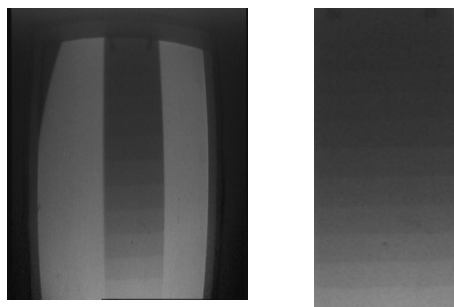
$$I = I \pm S_1 = (142,4 \pm 4,268 \times 10^{-1})$$

$$RN = \frac{4,268 \times 10^{-1}}{142,4} \times 100\% = 2,997 \times 10^{-1} \%$$

$$K = 100\% - RN = 100 - 2,997 \times 10^{-1} \% = 99,70 \%$$

#### 4.3.6 Citra Penangkap Gambar Buatan Sendiri (Hitam)

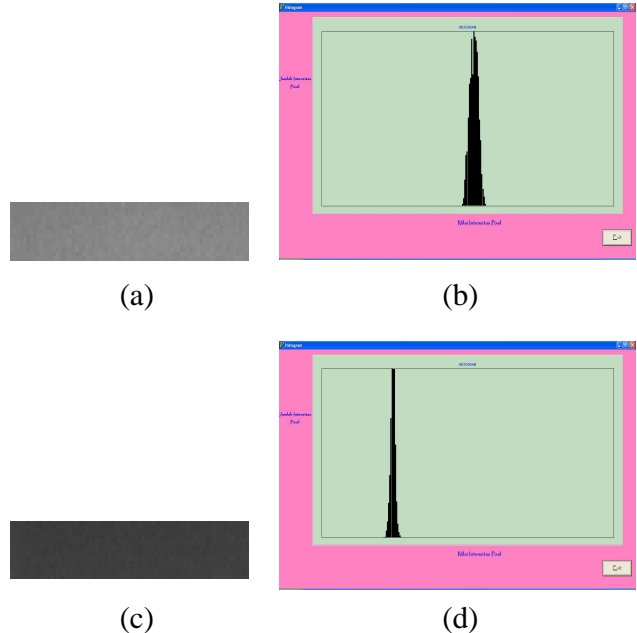
Citra yang dihasilkan merupakan citra *step wedge* dari bahan akrilik homogen. Citra ini dihasilkan dari citra penangkap gambar buatan sendiri yang telah dilakukan perbaikan, sehingga hasil citranya berbeda dengan hasil penangkap gambar buatan sendiri pertama (kuning). Bentuk citra ditunjukkan pada gambar 4.15.



(a) (b)

Gambar 4.15. Citra radiografi *step wedge* bahan akrilik homogen (a) citra asli ukuran 320 x 240 pixel, (b) citra *step wedge* hasil pemotongan dengan bantuan sehingga berukuran 73 x 210 pixel.

Nilai tingkat keabuan (*gray level*) penyusun citra *step 1* dan *step 6*, nilai histogramnya ditampilkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.16. Hasil dari (a) potongan citra *step 1* ukuran 73 x 13 pixel, (b) histogram *gray level step 1*, (c) potongan citra *step 6* ukuran 73 x 16 pixel, (d) histogram *gray level step 6*.

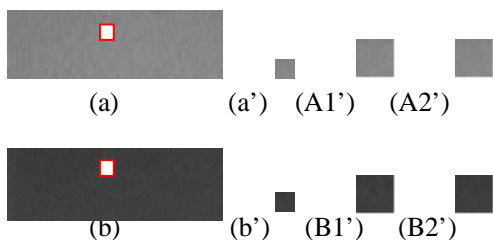
Gambar 4.16 menampilkan histogram *gray level* yang mewakili informasi penyusun citra *step 1* dan *step 6*, diperoleh bahwa:

1. Sampel histogram *step 1* hasil penangkap gambar buatan sendiri (hitam) menunjukkan hasil yang lebih sempit dibandingkan penangkap gambar buatan sendiri (kuning). Hal tersebut menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan menunjukkan kualitas citra yang lebih baik, karena menghasilkan histogram yang semakin sempit, yang berarti intensitas pixel-pixel penyusun *step 1* semakin mendekati nilai yang sebenarnya (nilai homogen). Pada *step 1* hasil penangkap gambar buatan sendiri (kuning), menunjukkan histogramnya memiliki rentang yang lebih lebar, yang berarti semakin banyak intensitas pixel-pixel penyusun yang berbeda, semakin lebar histogram maka akan

semakin menjauhi nilai yang sebenarnya (nilai homogen).

- Histogram *step* 1 dan *step* 6 menunjukkan kualitas yang berbeda, dimana histogram *step* 6 semakin menggeser kekiri. Hal tersebut menunjukkan bahwa *step* 6 memiliki intensitas pixel yang lebih kecil dan warna yang lebih gelap dibandingkan *step* 1. Berbeda dengan hasil citra pada CR, semakin tebal bahan (semakin tinggi *step*) warnanya akan semakin terang dan nilainya semakin besar, sedangkan untuk hasil citra penangkap gambar buatan sendiri memiliki sifat berkebalikan dengan CR, dimana semakin tebal bahan (semakin tinggi *step*) warnanya akan semakin gelap dan intensitas pixelnya akan semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan proses sistem alat yang berada di dalam penangkap gambar buatan sendiri.

Pada citra *step* 1 dan *step* 6, dilakukan pemotongan untuk mendapatkan ROI (*Region of Interest*) berukuran 10 x 10 pixel dan dilakukan penskalaan (*zoom-in*) dengan metode interpolasi tetangga terdekat dan interpolasi bilinear dengan skala pengali 2, seperti ditunjukkan pada gambar 4.17.



Gambar 4.17. Hasil pengolahan citra CR meliputi pemotongan, penskalaan metode interpolasi tetangga terdekat dan interpolasi bilinear pada (a) *step* 1 dan (b) *step* 6.

Pada gambar menunjukkan hasil pengolahan citra *step* 1 dan *step* 6. Dimana (a) *step* 1 ukuran 73 x 13 pixel, (a') pemotongan ukuran 10 x 10 pixel, (A<sub>1</sub>') penskalaan

gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (A<sub>2</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel, dan (b) *step* 6 ukuran 73 x 16 pixel, (b') pemotongan ukuran 10 x 10 pixel, (B<sub>1</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi tetangga terdekat ukuran 20 x 20 pixel, (B<sub>2</sub>') penskalaan gambar metode interpolasi bilinear ukuran 20 x 20 pixel.

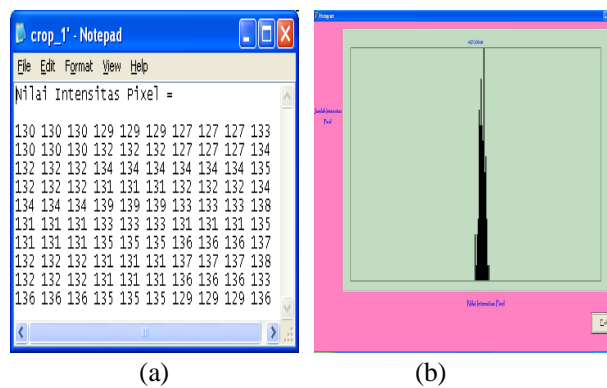
Hasil matrik yang ditampilkan pada setiap pemotongan dan penskalaan dapat dilihat pada lampiran, sedangkan untuk prosentase perilaku ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

#### 4.3.7 Perilaku Intensitas Pixel Hasil Pemotongan dan Penskalaan Step 1

Citra *step* 1 dilakukan pengolahan meliputi pemotongan dan penskalaan, sampai didapatkan nilai intensitas pixelnya.

##### Pemotongan (a')

Hasil intensitas pixel dan histogramnya dari pemotongan ukuran 10x10 pixel ditunjukkan pada gambar 4.18.



Gambar 4.18. Hasil (a) Intensitas pixel (b) histogram.

Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12. Hasil prosentase pemotongan citra *step* 1.

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas Pixel	Prosentase (%)
127	6,0	6,0
129	6,0	6,0
130	6,0	6,0
131	18	18
132	18	18
133	8,0	8,0
134	11	11
135	8,0	8,0
136	10	10
137	4,0	4,0
138	2,0	2,0
139	3,0	3,0

Dari tabel 4.12, diperoleh bahwa:

1. Pemotongan menunjukkan nilai-nilai penyusunnya bervariasi, mulai dari nilai 127 sampai 139, hal tersebut menunjukkan bahwa citra *step 1* masih belum homogen, namun jika dilihat dari rentang nilainya yang sempit maka nilai penyusun *step 1* hasil penangkap gambar buatan sendiri (hitam) ini menunjukkan hasil yang mendekati homogen lebih baik dibandingkan dengan hasil pemotongan penangkap gambar buatan sendiri (kuning).
2. Intensitas pixel dengan prosentase keberadaan yang tertinggi adalah nilai 131 dan 132 sebesar 18%, sedangkan intensitas pixel dengan prosentase terkecil adalah nilai 138 dengan prosentase sebesar 2%.
3. Hasil penghitungan yang dapat dilihat di lampiran, menunjukkan:

$$S_1 = \sqrt{\frac{801,4}{100(100-1)}} = 2,845 \times 10^{-1}$$

$$I = I \pm S_1 = (132,7 \pm 2,845 \times 10^{-1})$$

$$RN = \frac{2,845 \times 10^{-1}}{132,7} \times 100\% = 2,144 \times 10^{-1} \%$$

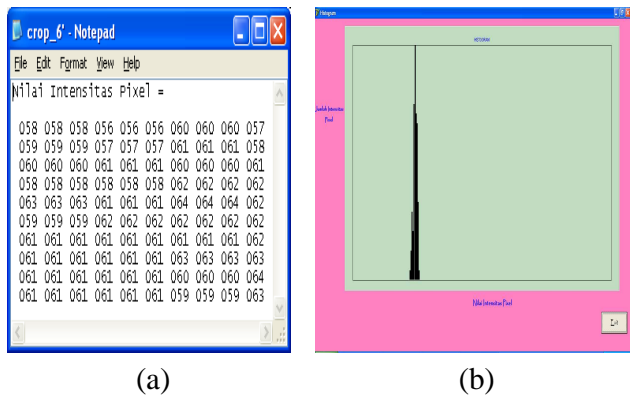
$$K = 100\% - RN = 100 - 2,144 \times 10^{-1} \% = 99,78 \%$$

#### 4.3.8 Perilaku Intensitas Pixel Hasil Pemotongan dan Penskalaan *Step 6*

Citra *step 6* dilakukan pengolahan meliputi pemotongan dan penskalaan.

##### Pemotongan (b')

Hasil intensitas pixel dan histogramnya dari pemotongan ukuran 10x10 pixel ditunjukkan pada gambar 4.19.



Gambar 4.19. Hasil (a) Intensitas pixel (b) histogram.

Sedangkan prosentase keberadaannya ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13. Hasil prosentase pemotongan citra *step 6*.

Intensitas Pixel	Jumlah Intensitas Pixel	Prosentase (%)
056	3,0	3,0
057	4,0	4,0
058	10	10
059	9,0	9,0
060	12	12
061	37	37
062	13	13
063	8,0	8,0
064	4,0	4,0

Dari tabel 4.13, diperoleh bahwa:

1. Hasil pemotongan *step* 6 menunjukkan nilai yang bervariasi dari nilai 058 sampai nilai 064 dan terlihat bahwa rentang nilainya lebih sempit jika dibandingkan hasil pemotongan *step* 1. Hal tersebut menunjukkan *step* 6 memiliki kualitas mendekati nilai homogen yang lebih baik dibandingkan *step* 1.
2. Intensitas pixel dengan prosentase terbesar adalah 061 sebesar 37%, sedangkan intensitas pixel dengan prosentase terendah adalah 056 dengan prosentase sebesar 3,0%.
3. Hasil penghitungan yang dapat dilihat di lampiran, menunjukkan :

$$S_1 = \sqrt{\frac{333,0}{100(100-1)}} = 1,834 \times 10^{-1} \text{ pixel}$$

$$I = I \pm S_1 = (60,50 \pm 1,834 \times 10^{-1}) \text{ pixel}$$

$$RN = \frac{1,834 \times 10^{-1}}{60,50} \times 100\% = 3,031 \times 10^{-1} \%$$

$$K = 100\% - RN = 100 - 3,031 \times 10^{-1} \% = 99,70$$

## V. KESIMPULAN

1. Penelitian ini berhasil merekayasa perangkat lunak yang mampu melakukan operasi pengolahan sampai didapatkan citra ROI (*Region Of Interest*), citra *zoom-in* (hasil perbesaran), tampilan *gray level* dan tampilan intensitas pixel.
2. Perilaku intensitas pixel dengan tebal bahan yang berbeda pada citra *step* 1 dan *step* 6 hasil CR, menunjukkan bahwa nilai *step* 1 didominasi oleh intensitas pixel 082 sebesar 78,12%, sedangkan untuk nilai *step* 6 didominasi oleh intensitas pixel 107 sebesar 65,13%. Hasil tersebut menunjukkan *step* 6 yang lebih tebal daripada *step* 1 warnanya lebih terang dan intensitas pixelnya semakin besar.
3. Perilaku intensitas pixel citra hasil penangkap gambar buatan sendiri (kuning) pada *step* 1 menunjukkan citra 01, citra 02, citra 03, citra 04 dan citra 05 yang diatur (tegangan, arus dan waktu eksposi) dengan nilai yang berbeda, menghasilkan histogram yang lebarnya berbeda.
4. Perilaku intensitas pixel dengan tebal bahan yang berbeda pada citra hasil penangkap gambar buatan sendiri (hitam), menunjukkan hasil histogram *step* 6 bergeser kearah kiri mendekati warna hitam (intensitas pixel 0) yang berarti *step* 6 yang lebih tebal, warnanya lebih gelap dan intensitas pixelnya semakin kecil (karena mendekati intensitas pixel 0).
5. Perilaku intensitas pixel citra ROI 10 x 10 pixel hasil CR dan penangkap gambar buatan sendiri, menunjukkan pemotongan citra 1 pada tepi citra menghasilkan intensitas pixel baru yang diakibatkan *source code*, sedangkan pemotongan pada daerah yang menghasilkan citra 1' mampu menghilangkan intensitas pixel noise, karena proses pemotongan citra 1 dan citra 1' berbeda caranya.
6. Perilaku intensitas pixel *zoom-in* ROI dengan interpolasi tetangga terdekat dan interpolasi bilinear hasil CR dan penangkap gambar buatan sendiri, menunjukkan prosentasenya berubah dari prosentase hasil pemotongan, ada yang mengalami peningkatan, penurunan dan tetap. Sedangkan pengaruh *source code* pada penskalaan interpolasi tetangga terdekat dan interpolasi bilinear, menghasilkan intensitas pixel baru yaitu 255 sebesar 5% untuk penskalaan pada semua sampel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, B. dan K. Firdausy. 2005. *Teknik Pengolahan Citra Menggunakan Delphi*. Yogyakarta : Ardi Publishing.
- Agusza. *Mata Kuliah Pengolahan Citra ITS*. <http://agusza.its-sby.edu/kuliah/citra/bab2.html>, 24 November 2008, 07.00 WIB
- Akhadi, M. 2000. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. Jakarta : PT Rineka Cipta.

- Bushberg, J.T. 2000. *The Essential Physics of Medical Imaging*. Lippincott : William & Wilkins.
- Fadlisyah, Taufiq, Zulkifar dan Fauzan. 2008. *Pengolahan Citra Menggunakan Delphi*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Wahana Komputer. 2003. *Panduan Praktis Pemrograman Borland Delphi 7.0*. Yogyakarta : Andi.
- Krane, K. 1992. *Fisika Modern*. Penerjemah Hans J. Wospakrik dan Sofia Niksolihin. Jakarta : UI Press.
- Kusminarto, G.B. Suparta, B. Supardiyono dan Baguswoto. 1995. *Sistem Radiografi Fluoresensi Digital*. Laporan penelitian, Riset Unggulan Terpadu II.
- Meredith, W.J. dan J.B. Massey. 1977. *Fundamental Physics of Radiology*. Lancaster Manchester : John Wright & Sons LTD.
- Munir, R. 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung : Informatika.
- Murni, A. 1992. *Pengantar Pengolahan Citra*. Jakarta : Gramedia kerjasama dengan UI Press.
- Nurlaila, Fadlisyah, dan Muthmainnah. 2007. *Pengantar Grafika Komputer*. Yogyakarta : Andi.
- Suksmono. *Mata Kuliah Pengolahan Citra ITB*. <http://radar.ee.itb.ac.id/~suksmono/Lectures/el4027/materi.pdf>, 24 November 2008 06.15 WIB
- Usman. 2005. *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Wijaya, M. C. dan A. Prijono. 2007. *Pengolahan Citra Digital Menggunakan Matlab Image Processing Toolbox*. Bandung : Informatika.