

**KAJIAN METODE SAMPLING POLA TETRAGONAL  
PADA TOMOGRAFI KOMPUTER  
TRANSLASI-ROTASI**

**SKRIPSI**

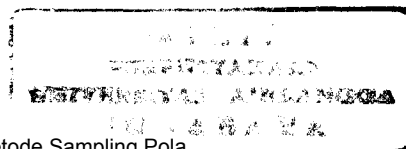
**IDA MARFU'AH**

1125 10 3

Mar



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA  
2005**



**KAJIAN METODE SAMPLING POLA TETRAGONAL  
PADA TOMOGRAFI KOMPUTER  
TRANSLASI-ROTASI**

**SKRIPSI**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Bidang Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Airlangga Surabaya**

Oleh :

**IDA MARFU'AH**  
**NIM : 080012208**

**Tanggal Lulus : 12 Agustus 2005**

**Disetujui Oleh :**

**Pembimbing I,**



**Nuril Ukhrowiyah, S.Si., M.Si.**  
**NIP. 132 230 839**

**Pembimbing II,**



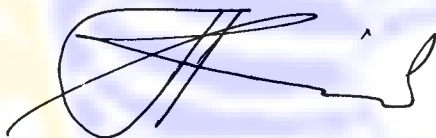
**Khusnul Ain, ST., M.Si.**  
**NIP. 132 166 487**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**Judul** : **Kajian Metode Sampling Pola Tetragonal Pada Tomografi Komputer Translasi-Rotasi**  
**Penyusun** : **Ida Marfu'ah**  
**NIM** : **080012208**  
**Tanggal Ujian** : **12 Agustus 2005**

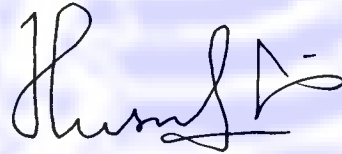
Disetujui Oleh :

Pembimbing I,



**Nuril Ukhrowiyah, S.Si., M.Si.**  
**NIP. 132 230 839**

Pembimbing II,



**Khusnul Ain, ST., M.Si.**  
**NIP. 132 166 487**

Mengetahui,

**Rektor Universitas Airlangga**  
**Jurusan Fisika FMIPA**  
**Universitas Airlangga**  
  
**Dr. Fujiyanto, M.S.**  
**NIP. 131 756 001**

*Bacalah,  
dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang  
Menciptakan. Dia Telah Menciptakan manusia dari  
segumpal darah.  
Bacalah, dan Tuhanmu Yang Paling Pemurah, Yang  
mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam. Dia  
mengajarkan kepada manusia apa yang tidak  
diketahuinya.*

*QS. Al-'Alaq:1-5*

***Kupersembahkan karyaku ini kepada:  
Kedua orang tuaku (Marsono & Sagiyah)***

## UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah robbil 'alamin, puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan hidayah dan inayahNya kepada penulis. Selain itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Nuril Ukrowiyah, S.Si, M.Si dan Bapak Khusnul Ain, S.T, M.Si selaku pembimbing I dan pembimbing II yang telah membimbing dan memberi nasihat sampai skripsi ini terselesaikan.
2. Bapak Drs. Adri Supardi, M.S dan Bapak Heri Trilaksana, S.Si, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik yang menunjang isi dari skripsi ini.
3. Bapak Drs. Pujiyanto M.S selaku ketua jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unair.
4. Ayahanda dan Ibundaku, Bapak Marsono dan Ibu Sagiyah atas kasih sayang dan kesabarannya, sembah sujud ananda haturkan. Mbah Kakung terima kasih atas doa-doanya.
5. Adik-adikku tersayang Reni, Tian dan Ari atas dukungan dan hiburannya di kala aku lagi "Bad Mood".
6. Yudhaku, thanks for supporting me.
7. Teman-teman seperjuangan dalam penelitian ini (Indah, Mbak Eva, Mas Arya, Mbak Citra, Leyli, Poer) atas bantuannya.
8. Lucy, Iing, Yuke, Erna'99, Antok, Aan dan semua angkatan 2000 terima kasih atas persahabatan yang indah ini.

9. HIMAFI thanks telah memberiku pengalaman organisasi dan persaudaraan.
10. Elida dan Nafi thanks for the computer.
11. Idul , Mbak Di, Dian dan Cah-cah MU 175 thanks telah menjadi saudaraku selama ini. Hope this friendship never last forever.
12. Mbah Zaenab sekeluarga yang telah mengijinkanku menjadi penghuni kost selama lima tahun.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah kita lakukan, Amin. *Wabillahi taufiq wal hidayah, wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Surabaya, Agustus 2005

Penulis

## **PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI**

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga. Diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan seijin penulis dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

**Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.**

Ida Marfuah, 2005. **Kajian Metode Sampling Pola Tetragonal Pada Tomografi Komputer Translasi Rotasi**. Skripsi ini dibawah bimbingan Nuril Ukhrowiyah S.Si, M. Si, dan Khusnul Ain S.T, M.Si, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga, Surabaya.

---

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian secara simulasi tentang metode sampling pola tetragonal pada tomografi komputer (*Computed Tomography, CT*) translasi rotasi. Jumlah data pada metode sampling pola tetragonal ini adalah sama dengan jumlah data metode sampling pola heksagonal, yaitu setengah dari jumlah data metode sampling pola square.

Dalam penelitian ini digunakan tiga obyek sintetis yang dibuat dengan Microsoft Excel. Ketiga objek sintetis kemudian di *scanning* menggunakan program ScanHex dan program ScanTetragonal yang dibuat dalam penelitian ini untuk mendapatkan sinogram-sinogram. Sinogram-sinogram tersebut kemudian direkonstruksi menggunakan metode rekonstruksi SCFBP untuk mendapatkan citra. Kualitas citra hasil rekonstruksi ditentukan dengan membedakan citra hasil rekonstruksi pola tetragonal terhadap objek sintetis dan citra-citra hasil rekonstruksi pola square dan pola heksagonal.

Hasil dari penelitian ini adalah kualitas citra hasil rekonstruksi pola tetragonal terhadap objek sintetis, citra-citra hasil rekonstruksi pola square dan pola heksagonal adalah relatif sama. Hal ini ditunjukkan dengan berhimpitnya profil garis horisontal antara pola tetragonal terhadap objek sintetis, citra-citra hasil rekonstruksi pola square dan pola heksagonal, serta mempunyai nilai *rmsd* yang sama. Dan setelah diuji dengan analisis varians dua arah pada peringkat Friedman diperoleh hasil bahwa metode sampling pola tetragonal, pola heksagonal dan pola square saling identik.

*Kata kunci : Tomografi Komputer, Metode sampling Pola Tetragonal*



Ida Marfuah, 2005. **Study of Tetragonal Sampling Method In Computed Tomography of Translate Rotate**. Under guidance Nuril Ukhrowiyah S.Si, M. Si, and Khusnul Ain S.T, M.Si, Departement of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Airlangga University, Surabaya.

---

### ABSTRACT

Have done simulation of tetragonal sampling method in Computed Tomography of Translate Rotate. Number of data points of tetragonal sampling method are same as hexagonal sampling method are half of the normal square data points.

This study using three synthetic objects which made in Microsoft Excel. Then, this synthetic objects scanned using ScanHex and ScanTetragonal program to getting the sinograms. This sinograms reconstructed using SCFBP to getting the images. Quality of reconstructed CT Images assigned by differentiate tetragonal reconstructed CT images to synthetic object and square and hexagonal reconstructed CT images.

The results from this study exhibit that quality of tetragonal reconstructed CT Images are same as hexagonal reconstructed CT Images. This is shown with it's horizontal profile of tetragonal are close to horizontal profile of synthetic objects and square and hexagonal reconstructed CT images, and have the same rmsd value. And after tested with two way analysis varians by Friedman Rank obtained that tetragonal sampling method, heksagonal and square pattern are identical.

*Key words: Computed Tomography, Tetragonal sampling method*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas anugerah kekuatan, kemampuan, petunjuk, dan taufik-Nya sehingga penyusunan skripsi dengan judul "*Kajian Metode Sampling Pola Tetragonal pada Tomografi Komputer Translasi-Rotasi*" telah terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan terselesainya skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dalam pemberian informasi ilmiah bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Agustus 2005

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Koefisien Atenuasi Radiasi dalam Bahan .....	5
2.2 Prinsip Kerja Sistem Tomografi Komputer .....	6
2.3 Metode sampling .....	8
2.3.1 Metode sampling Pola Square .....	9
2.3.2 Metode Sampling Pola Heksagonal .....	10
2.3.3 Metode Sampling Pola Tetragonal .....	11
2.4 Rekonstruksi Citra Tomografi .....	12
BAB III METODE PENELITIAN .....	15
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	15
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	15
3.3 Prosedur Penelitian .....	16
3.4 Analisis Citra Hasil Rekonstruksi .....	19

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	23
4.1 Sinogram Hasil Sampling Data .....	23
4.2 Citra Hasil Rekonstruksi .....	26
4.3 Analisa Hasil dan Pembahasan.....	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	35
5.1 Kesimpulan .....	35
5.2 Saran .....	36
DAFTAR PUSTAKA .....	37
LAMPIRAN .....	38

## DAFTAR GAMBAR

		<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b>	Pelemahan radiasi pada elemen tipis $dx$ dalam bahan setebal $x$	5
<b>Gambar 2.2</b>	Pelemahan radiasi pada objek tidak homogen	6
<b>Gambar 2.3</b>	Susunan tomografi komputer generasi pertama (Wells, 1994)	7
<b>Gambar 2.4</b>	Sampling sinogram dengan metoda pola square	9
<b>Gambar 2.5</b>	Sampling sinogram dengan metoda pola heksagonal	10
<b>Gambar 2.6</b>	Sampling sinogram dengan metode pola tetragonal	12
<b>Gambar 3.1</b>	Objek sintetik (a) MODUL1 (b) SEGITIGA (c) MODUL 2	16
<b>Gambar 3.2</b>	Blok diagram prosedur penelitian dengan simulasi	17
<b>Gambar 3.3</b>	Flow Chart Program ScanTetragonal	18
<b>Gambar 4.1.a</b>	Sinogram hasil scanning MODUL1 (a) Pola Square (b) Pola OddHex (c) Pola EvenHex	23
<b>Gambar 4.1.b</b>	Sinogram hasil scanning SEGITIGA (a) Pola Square (b) Pola OddHex (c) Pola EvenHex	24
<b>Gambar 4.1.c</b>	Sinogram hasil scanning MODUL2 (a) Pola Square (b) Pola OddHex (c) Pola EvenHex	24
<b>Gambar 4.2</b>	Tampilan program ScanTetragonal	25

<b>Gambar 4.3.a</b>	Sinogram hasil scanning MODUL1 (a) Pola OddTetra (b) Pola EvenTetra	2 5
<b>Gambar 4.3.b</b>	Sinogram hasil scanning SEGITIGA (a) Pola OddTetra (b) Pola EvenTetra	2 6
<b>Gambar 4.3.c</b>	Sinogram hasil scanning MODUL2 (a) Pola OddTetra (b) Pola EvenTetra	2 6
<b>Gambar 4.4</b>	Citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal	2 7
<b>Gambar 4.5.a</b>	Profil Garis Horizontal objek MODUL1	3 2
<b>Gambar 4.5.b</b>	Profil Garis Horizontal objek SEGITIGA	3 3
<b>Gambar 4.5.c</b>	Profil Garis Horizontal objek MODUL2	3 3

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 4.1.a</b> Perbandingan nilai <i>rmsd</i> (%) antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap objek sintetik referensi untuk MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.	29
<b>Tabel 4.1.b</b> Perbandingan nilai <i>e<sub>max</sub></i> (%) antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap objek sintetik referensi untuk MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.	29
<b>Tabel 4.2.a</b> Perbandingan nilai <i>rmsd</i> (%) antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square untuk MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.	30
<b>Tabel 4.2.b</b> Perbandingan nilai <i>e<sub>max</sub></i> (%) antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square untuk MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.	30
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan antara citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal terhadap citra hasil	31

rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal  
untuk MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2





## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
<b>Lampiran 1</b> Listing Program	38
<b>Lampiran 2</b> Uji Analisis Varians Dua Arah Berdasarkan Peringkat Friedman	46

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Tomografi berasal dari bahasa Yunani, yaitu tomos yang berarti bagian dan graphein yang berarti menulis. Sedangkan tomografi secara kasar berarti penulisan, penggambaran, atau pencitraan bagian-bagian benda. Jadi secara umum pengertian sistem tomografi adalah proses pencitraan suatu obyek dengan rekonsruksi tanpa membelah atau merusak objek (Suparta, dkk, 2000).

Pada penelitian ini digunakan sistem tomografi komputer yang masih sederhana yaitu tomografi komputer generasi pertama. Karena sistem ini masih dianggap sebagai sistem tomografi komputer yang paling akurat dibandingkan dengan tomografi komputer generasi yang lebih modern, walaupun untuk proses mendapatkan data memerlukan waktu yang lama (Suparta, 1999). Pada sistem ini detektor dan sumber digerakkan secara translasi-rotasi, sehingga sistem ini juga disebut tomografi komputer translasi-rotasi.

Banyaknya langkah translasi dan rotasi pada saat pengambilan data bergantung pada metode sampling yang digunakan. Metode sampling yang umum digunakan adalah metode sampling pola square. Namun metode sampling pola square ini mempunyai kelemahan, yaitu memerlukan data yang banyak sehingga waktu scanningnya lama dalam beberapa kasus dapat mencapai 35,5 jam (Sukisno, 2002 dan Yulianti, 2002). Metode sampling pola square kemudian diperbaiki dengan metode sampling pola heksagonal (Ukhrowiyah, 2002). Pada

penelitian ini diperoleh bahwa jumlah data yang diperlukan setengah dari jumlah data pada metode sampling pola square. Metode rekonstruksi yang digunakan untuk data dengan pola heksagonal sama dengan pola square, hanya saja untuk data dengan pola heksagonal diinterpolasi terlebih dulu secara vertikal dengan fungsi sinc Kernel untuk menghasilkan data dengan pola square.

Pada pola heksagonal, proses scanning dilakukan dengan cara mengambil langkah translasi sama dengan lebar kolimator ( $w$ ). Secara eksperimen pengambilan data relatif lebih sulit dilakukan jika dibandingkan dengan proses scanning dengan metode sampling pola square. Kesulitan ini terletak pada gerakan mekanik pengambilan datanya. Yaitu, pada posisi sudut awal, sumber-detektor bergerak translasi ke kanan sebesar  $w$ . Pada gerakan terakhir dalam satu proyeksi, sumber-detektor berhenti bergerak translasi menunggu objek berotasi sebesar  $\Delta y_{\phi}$ . Untuk translasi berikutnya pencacahan dilakukan pada posisi sudut kedua, dimana pada awal translasi sumber-detektor bergerak  $w/2$ , kemudian untuk selanjutnya sumber detektor akan bergerak translasi sebesar  $w$ . Pada akhir translasi pada posisi sudut kedua sumber-detektor bergerak dengan langkah sebesar  $w/2$ . Dan proses ini akan terus berulang secara selang-seling antar proyeksi sampai sudut rotasi mencapai  $180^{\circ}$ . Jadi, kesulitan ini terletak pada otomatisasi gerakan mekanik saat langkah translasi, yang pengambilan datanya berbeda untuk setiap proyeksinya.

Pada penelitian akan dicoba untuk mengatasi kesulitan tersebut dengan mengkaji suatu metode sampling yang baru, yaitu metode sampling tetragonal. Pada metode sampling tetragonal ini, jumlah datanya sama dengan jumlah data

pola heksagonal, tetapi besar langkah translasi dan rotasi berbeda. Yaitu langkah translasi  $w/2$  dan langkah rotasi  $\Delta y_{\phi}=w$ .

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang dikemukakan tersebut, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah metode sampling pola tetragonal dapat digunakan pada sistem tomografi komputer translasi rotasi?
2. Bagaimana kualitas citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal, heksagonal dan square terhadap objek referensi?
3. Bagaimana kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal terhadap kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square?
4. Bagaimana kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal terhadap kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengkaji apakah metode sampling pola tetragonal dapat digunakan pada sistem tomografi komputer translasi rotasi.
2. Membandingkan kualitas citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal, heksagonal dan square terhadap objek referensi.

3. Membandingkan kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal terhadap kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square.
4. Membandingkan kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal terhadap kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal

#### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan secara simulasi. Sistem tomografi komputer yang digunakan adalah tomografi komputer generasi pertama, dengan metode rekonstruksi SCFBP (*Summation Convolution Filtered Back Projection*).

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

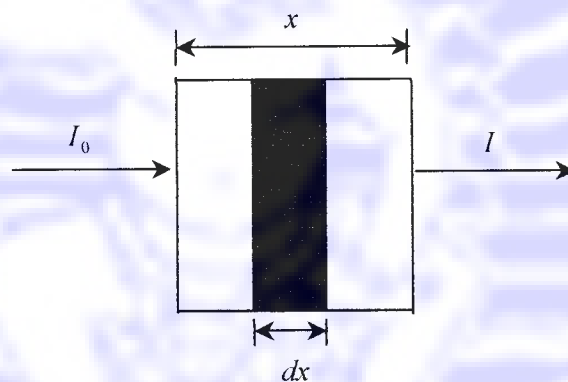
Dari penelitian ini akan diperoleh metode sampling yang lebih efisien, dengan menggunakan data proyeksi yang lebih sedikit dan secara eksperimen tidak sulit dilakukan, namun diperoleh kualitas citra hasil rekonstruksi yang relatif sama dengan metode sampling pola square dan pola heksagonal.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Koefisien Atenuasi Radiasi dalam Bahan

Citra yang diperoleh melalui proses scanning suatu objek dalam sistem tomografi komputer menggambarkan besaran fisika yang terkait dengan fenomena interaksi radiasi yang diberikan objek tersebut (Suparta, dkk, 2000). Besaran fisika tersebut adalah koefisien atenuasi linear suatu bahan. Seberkas sinar radiasi yang melewati bahan penyerap akan mengalami atenuasi, yang secara skematis dijelaskan pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Pelemahan radiasi pada elemen tipis  $dx$  dalam bahan setebal  $x$ . Koefisien atenuasi radiasi dilambangkan dengan  $\mu$ . Hubungan intensitas sinar radiasi sebelum dan sesudah melewati bahan dinyatakan sebagai:

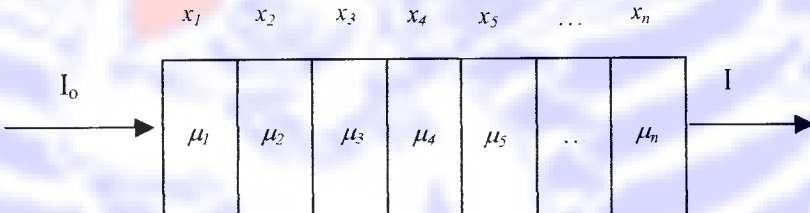
$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

atau

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x \quad (2.2)$$

dengan  $I_0$  adalah intensitas awal,  $I$  adalah intensitas akhir,  $\mu$  adalah koefisien atenuasi linear, sedangkan tanda negatif menunjukkan bahwa intensitas akan menurun dengan meningkatnya ketebalan bahan.

Bila bahan tidak homogen, terdiri dari beberapa bahan penyusun dilewati radiasi seperti gambar 2.2, maka bahan tersebut akan mengalami beberapa pelemahan yang berbeda sepanjang ketebalan bahan penyusun, sesuai dengan persamaan:

$$I = I_0 e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3 + \dots + \mu_n x_n)} \quad (2.3)$$


The diagram illustrates the attenuation of radiation through a non-homogeneous object. An incident beam of intensity  $I_0$  enters a series of  $n$  layers. Each layer  $i$  has a thickness  $x_i$  and a linear attenuation coefficient  $\mu_i$ . The layers are labeled  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \dots, \mu_n$  from left to right. The final transmitted intensity is  $I$ .

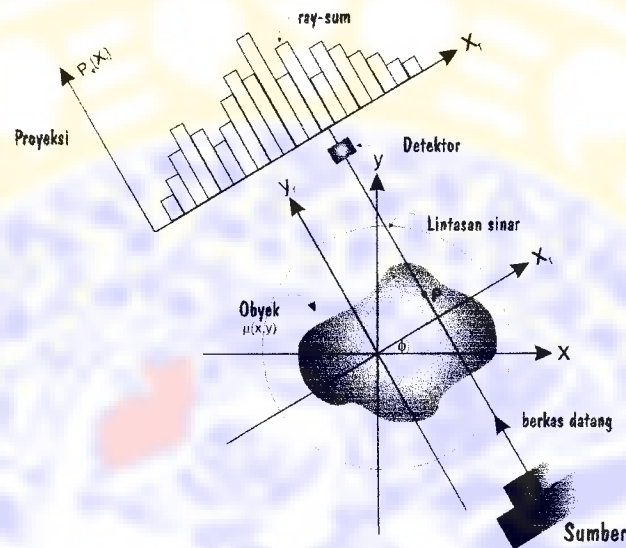
**Gambar 2.2** Pelemahan radiasi pada obyek tidak homogen

## 2.2 Prinsip Kerja Sistem Tomografi Komputer

Sistem tomografi komputer yang paling sederhana adalah tomografi komputer generasi pertama atau translasi rotasi (Wells dkk, 1997). Tomografi komputer generasi pertama terdiri dari sebuah sumber dan sebuah detektor yang digerakkan secara translasi dan rotasi, sehingga didapatkan informasi yang lengkap.

Pada tomografi komputer, terdapat dua proses yaitu proses pengambilan data yang dilakukan dengan menscan objek dan proses rekonstruksi. Selama proses scanning, sumber-detektor digerakkan secara translasi dan rotasi. Proses

scanning pada sistem tomografi komputer translasi rotasi secara skematik dapat dilukiskan pada gambar 2.3.



**Gambar2.3** Susunan Tomografi Komputer Generasi Pertama (Wells, 1994)

Pada gambar 2.3, gerak translasi dilakukan dengan interval  $\Delta x_r$  dengan posisi sumber dan detektor diletakkan saling tegak lurus dengan objek. Pada posisi yang segaris dan sejajar sumbu  $y$ , sumber radiasi dan detektor secara bersama-sama bergerak translasi menurut sumbu  $x$  sepanjang daerah pemayaran, yaitu dari kedudukan  $-R$  sampai  $+R$ , dengan  $R$  adalah radius daerah pemayaran. Pada setiap satu posisi sumber dan detektor akan diperoleh satu data intensitas yang diterima oleh detektor. Logaritma perbandingan intensitas radiasi sebelum melewati objek dan sesudah melewati objek didefinisikan sebagai *raysum* dan dinyatakan dengan persamaan (Wells, 1994):

$$P_{\phi}(x_r) = \ln(I_0 / I) = \int_{-R}^{+R} \mu(x_r, y_r) dy_r \quad (2.4)$$

dengan  $I_0$  = intensitas sumber radiasi yang ditangkap detektor tanpa objek



$I$  = intensitas yang ditangkap detektor setelah melewati objek

$\mu$  = koefisien atenuasi linear

$x_r$  = jarak tegak lurus antara berkas dengan posisi awal

Kumpulan raysum sepanjang gerak translasinya pada sudut rotasi yang sama disebut data proyeksi. Setiap selesai satu gerakan translasi, posisi sumber detektor diputar terhadap sumbu koordinat  $xy$ , dengan langkah rotasi  $\Delta\phi$  dari kedudukan sudut 0 sampai  $2\pi$  radian. Pengambilan data hanya dilakukan pada interval 0 sampai  $\pi$  radian, karena proyeksi yang didapat dari interval  $\pi$  sampai  $2\pi$  radian memiliki kesesuaian dengan 0 sampai  $\pi$  radian.

Jika seluruh raysum yang diperoleh dari proses scanning direpresentasikan ke dalam ruang radon  $(x_r, \phi)$  (Suparta, dkk, 2000), maka akan diperoleh sinogram. Jadi sinogram merupakan hasil transformasi objek dari ruang kartesian ke ruang radon.

### 2.3 Metode Sampling

Jumlah raysum yang terdapat dalam satu proyeksi ditentukan oleh radius daerah pemyaran  $R$  dan panjang langkah pencuplikan  $\Delta x_r$ , dengan hubungan

$$N = \frac{2R}{\Delta x_r} \quad (2.5)$$

dalam hal ini  $N$  = jumlah raysum pada setiap data proyeksi

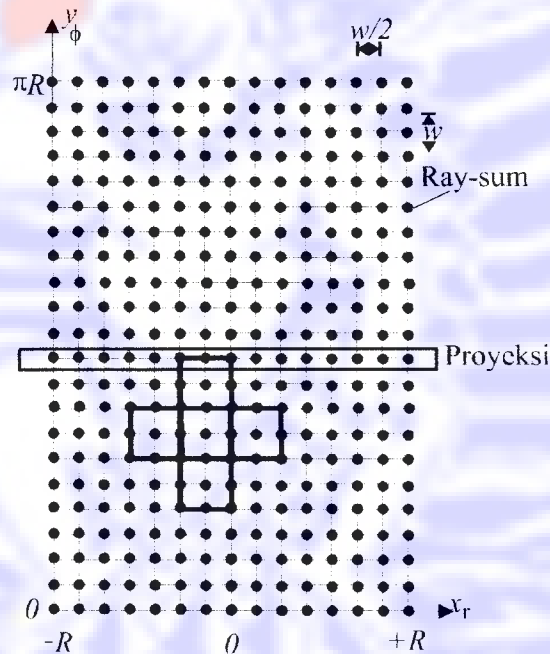
Adapun jumlah proyeksi dalam satu sinogram ( $M$ ) adalah:

$$M = \frac{\pi}{\Delta\phi} = \frac{\pi R}{\Delta y_\phi} \quad (2.6)$$

dengan  $M$  menyatakan jumlah data proyeksi yang diperoleh selama pemayaran, dengan  $\Delta y_\phi = R\Delta\phi$ .

Untuk memperoleh sinogram yang paling mendekati objek yang ditransformasikan, nilai  $\Delta x_r$  dan  $\Delta\phi$  tidak dapat dipilih sembarang. Karena nilai resolusi citra yang dihasilkan antara lain bergantung pada langkah translasi dan rotasi (Suparta, dkk., 2000).

### 2.3.1 Metode Sampling Pola Square



Gambar 2.4 Sampling sinogram dengan metoda pola square

Proses pengambilan data yang umum dilakukan adalah dengan menggunakan metode sampling pola square. Pada metode sampling pola square seperti ditunjukkan pada gambar 2.4, proyeksi sinogram didapatkan dengan langkah rotasi  $\Delta\phi$  atau  $\Delta y_\phi (= R\Delta\phi)$  adalah sama dengan langkah translasi,  $\Delta x_r$ ,

$w$ . Dimana  $R$  adalah jari-jari obyek lingkaran dan  $w$  adalah lebar berkas radiasi (*beam width*) yang bergantung pada lebar kolimator detektor.

Jumlah translasi atau jumlah raysum pada setiap data proyeksi sebesar  $N_S = 2R/\Delta x_r = 4R/w$  dan jumlah rotasi atau jumlah data proyeksi yang diperoleh selama pemayaran sebesar  $M_S = \pi R/\Delta y_\phi = 2\pi R/w$ .

Sehingga, jumlah data yang diperlukan pada proses sampling pola square adalah:

$$M_S N_S = \frac{8\pi R^2}{w^2} \quad (2.7)$$

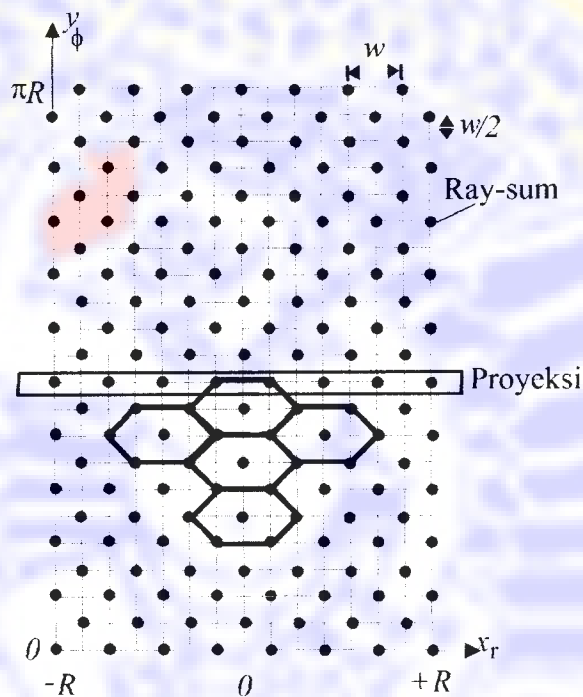
### 2.3.2 Metode Sampling Pola Heksagonal

Metode sampling pola heksagonal seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 sebenarnya sama dengan proses sampling pola square. Hanya saja pada proses sampling pola heksagonal langkah translasi diambil sebesar  $\Delta x_r = w$  yang merupakan dua kali dari panjang langkah translasi pada pemayaran pola square. Sedangkan langkah rotasinya tetap yaitu  $\Delta y_\phi = w/2$  (Ain, K., 2002). Pada metode sampling pola heksagonal, jumlah raysum pada setiap data proyeksi yang dibutuhkan adalah  $N = 2R/\Delta x_r$  dengan  $\Delta x_r = w$ , sehingga  $N_H = 2R/w$ .

Sedangkan jumlah data proyeksi yang dibutuhkan adalah sama dengan jumlah data proyeksi pada proses sampling pola square, yaitu  $M_H = \pi R/\Delta y_\phi = 2\pi R/w$ . Dengan demikian jumlah data yang diperlukan pada proses sampling heksagonal adalah:

$$M_H N_H = \frac{4\pi R^2}{w^2} \quad (2.8)$$

Dari jumlah data yang diperlukan pada proses sampling ini, dapat dilihat bahwa jumlah data sampling pola heksagonal adalah setengah dari sampling pola square.



Gambar 2.5 Sampling sinogram dengan metoda pola heksagonal

### 2.3.3 Metode Sampling Pola Tetragonal

Metode sampling pola tetragonal seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 secara prinsip sama dengan proses sampling pola square dan heksagonal. Pada proses sampling pola tetragonal langkah translasi sama dengan panjang langkah translasi pola square, yaitu sebesar  $\Delta x_r = w/2$ . Sedangkan langkah rotasinya dua kali langkah rotasi heksagonal dan square, yaitu  $\Delta y_\phi = w$ . Pada proses sampling

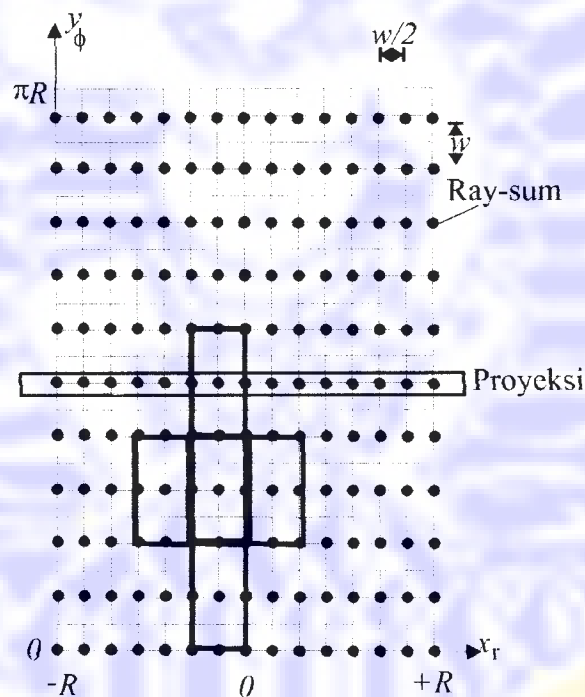
tetragonal, jumlah raysum pada setiap data proyeksi yang dibutuhkan adalah  $N = 2R/\Delta x_r$  dengan  $\Delta x_r = w/2$ , sehingga  $N_T = 4R/w$ .

Sedangkan jumlah data proyeksi yang dibutuhkan adalah  $M_T = \pi R/\Delta y_\phi = \pi R/w$ .

Dengan demikian jumlah data yang diperlukan adalah

$$M_T N_T = \frac{4\pi R^2}{w^2} \quad (2.9)$$

Dari jumlah data yang diperlukan pada proses sampling tetragonal, dapat dilihat bahwa jumlah data sampling tetragonal sama dengan pola heksagonal, yaitu setengah dari sampling pola square.



Gambar 2.6 Sampling sinogram dengan metode pola tetragonal

## 2.4 Rekonstruksi Citra Tomografi

Rekonstruksi adalah proyeksi balik dari ruang sinogram (ruang radon) ke ruang citra 2D (ruang kartesian) (Suparta, dkk, 2000). Rekonstruksi citra pada

prinsipnya mengolah data proyeksi hasil scanning objek untuk menghasilkan citra. Sedangkan pengertian data proyeksi sendiri adalah sederetan proyeksi objek dari berbagai sudut.

Citra yang diperoleh melalui proses scanning suatu objek dalam sistem tomografi komputer menggambarkan besaran fisika yang terkait dengan fenomena interaksi radiasi yang diberikan objek tersebut (Suparta, dkk, 2000). Titik-titik pada citra apabila ditampilkan dalam warna tiap piksel akan memiliki warna sesuai dengan besaran fisis, atau ditampilkan dalam skala keabuan. Tiap piksel memiliki tingkat keabuan (*gray level*) tertentu sesuai dengan nilai besaran fisis di titik tersebut. Dengan demikian citra mampu memberikan informasi mengenai struktur internal objek.

Metoda rekonstruksi yang umum digunakan adalah metoda penjumlahan proyeksi balik tersaring secara konvolusi (*summation convolution filtered back projection*, SCFBP) (Suparta, dkk, 2000). Proses rekonstruksi SCFBP terdiri dari dua bagian proses, yaitu proses balik dari ruang sinogram (radon) ke ruang citra (kartesian) dan proses konvolusi oleh filter terhadap proyeksi, yang dilangsungkan sebelumnya. Secara analitis proses SCFBP dapat ditulis sebagai

$$\mu(x, y) = \int_0^{\pi} p'(\phi, x_r) d\phi \quad (2.10)$$

dengan

$$p'(x_r, \phi) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x'_r, \phi) h(x_r - x'_r) dx'_r = p(x'_r, \phi) * h(x_r - x'_r) \quad (2.11)$$

Fungsi  $h(x_r)$  merupakan fungsi pengkonvolusi. Bentuk diskrit komputasional persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai:

$$\mu[i, j] = \Delta\phi \sum_{m=0}^{M-1} p'[i \cos(m\Delta\phi) + j \sin(m\Delta\phi), m] \quad (2.12)$$

$$p'[n, m] = \Delta x_r \sum_{n'=-N}^{+N} p[n', m] h[n - n'] \quad (2.13)$$

dimana indeks piksel  $[i, j]$  menunjukkan posisi piksel pada daerah citra rekonstruksi dengan variasi  $-\frac{1}{2} < [i, j] < +\frac{1}{2}$ . Indeks raysum  $[n, m]$ , menunjukkan indeks raysum ke- $n$  dan proyeksi ke- $m$ . Dimana  $n$  bervariasi  $-\frac{1}{2} < n < +\frac{1}{2}$  dan  $m$  bervariasi  $0 \leq m \leq M-1$ . Dalam kajian ini filter yang dipilih adalah filter konvolusi Ram-Lak.

Dengan faktor pembobot:

$$h(n\Delta x_r) = \begin{cases} \frac{1}{4x_r^2}, n = 0 \\ 0, n = \text{genap} \\ \frac{-1}{n^2 \pi^2 \Delta x_r^2}, n = \text{ganjil} \end{cases}$$

Secara deskriptif, proses rekonstruksi dapat dijelaskan sebagai berikut: pertama setiap data yang direkonstruksi disaring (dikonvolusi) dengan filter Ram-Lak. Kemudian proyeksi tersaring diproyeksibalikkan ke ruang kartesian ke setiap piksel sebagai bentuk diskrit citra.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari sampai Juli 2005, bertempat di Laboratorium Radiasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga.

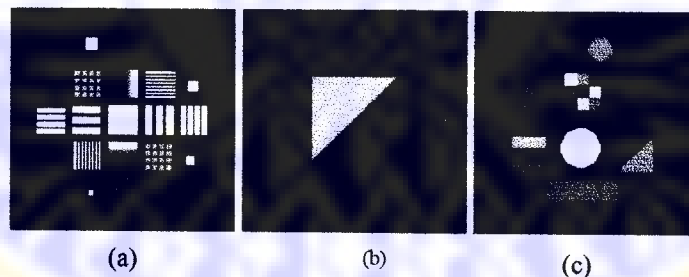
#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer dengan spesifikasi pentium IV dengan RAM 128 MB. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah C++ Builder 4.0. Software yang digunakan program ScanHex, program ScanTetragonal, program CT Imager, program Interpolator Sinc dan program Image Comparator.

Program Scan Hex untuk mendapatkan sinogram dengan data pola square dan data pola heksagonal. Program ScanTetragonal yang dibuat dalam penelitian ini digunakan untuk mendapatkan sinogram data pola tetragonal. Program InterpolatorSinc digunakan untuk menginterpolasi sinogram pola heksagonal dan sinogram pola tetragonal agar didapatkan data dengan pola square. Program CT Imager 1.0 digunakan untuk merekonstruksi sinogram pola square, sinogram pola heksagonal dan sinogram pola tetragonal agar didapatkan citra hasil rekonstruksi. Program Image Comparator digunakan untuk membedakan citra-citra hasil rekonstruksi.



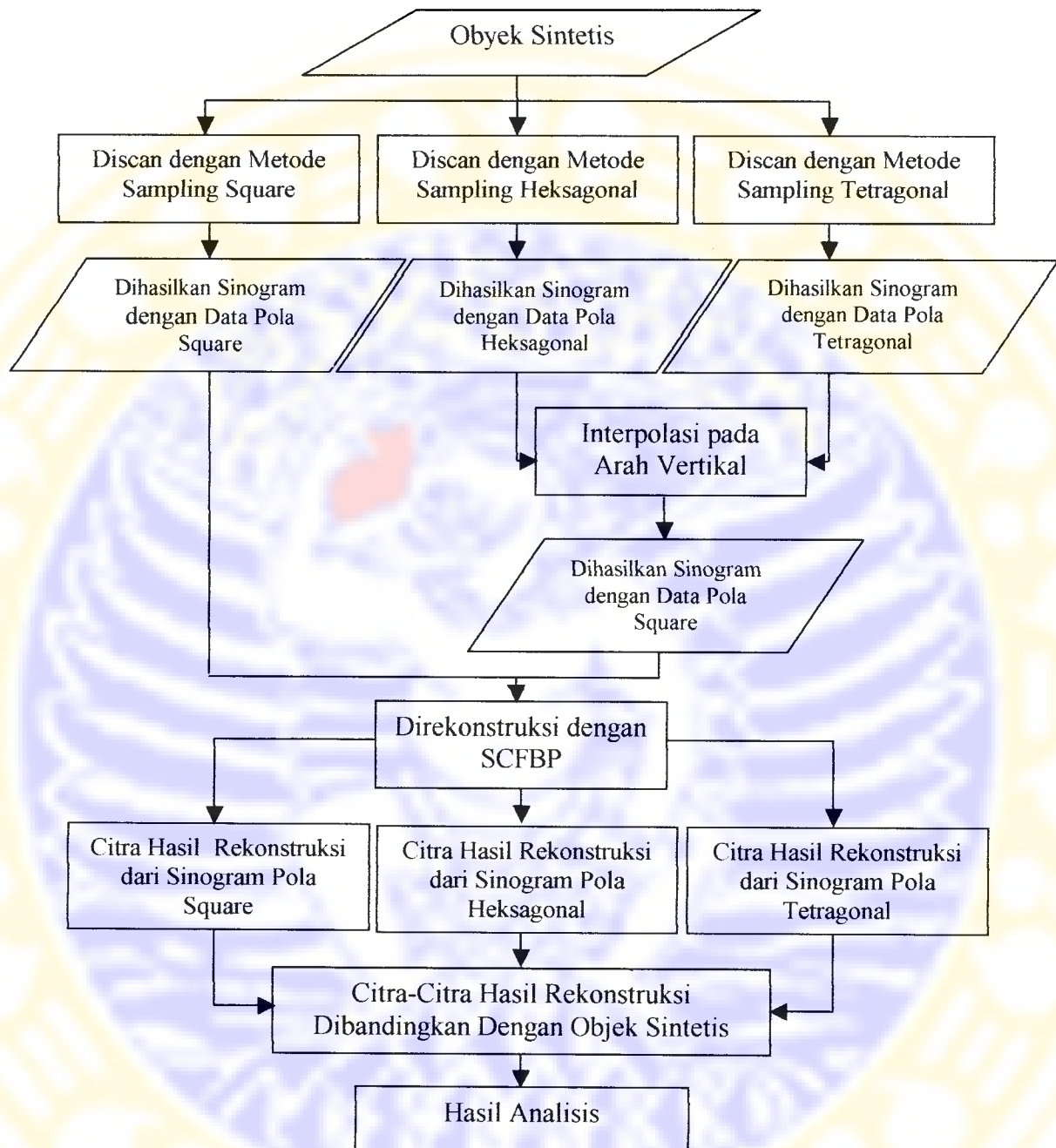
Bahan yang digunakan adalah objek sintetik dengan nama MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2. Objek sintetik adalah objek yang berupa data numerik dalam bentuk matriks dengan orde  $127 \times 127$  piksel. Objek sintetik direpresentasikan dengan skala keabuan. Warna paling terang (putih) menunjukkan nilai  $\mu$  maksimum pada obyek tersebut dan warna paling gelap (hitam) menunjukkan nilai  $\mu$  minimum. Objek sintetik MODUL1 dan MODUL2 terdiri dari representasi nilai koefisien atenuasi linear yang bervariasi dalam sebuah lingkaran. Sedangkan objek sintetik SEGITIGA terdiri dari nilai koefisien atenuasi linear yang seragam, yaitu 45 dalam sebuah lingkaran. Seperti yang terlihat pada gambar 3.1. Objek MODUL1 dan SEGITIGA sudah dibuat pada penelitian sebelumnya, sedangkan MODUL2 dibuat pada penelitian ini dengan menggunakan Microsoft Excel. Data-data yang dibuat pada penelitian ini berupa elemen-elemen matriks dalam kolom-kolom Excel sheet yang berisikan nilai-nilai  $\mu$  linear.



**Gambar 3.1** Objek Sintetik  
(a) MODUL1 (b) SEGITIGA (c) MODUL2

### 3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara simulasi. Adapun prosedur penelitian ditunjukkan pada blok diagram gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Blok diagram prosedur penelitian dengan simulasi

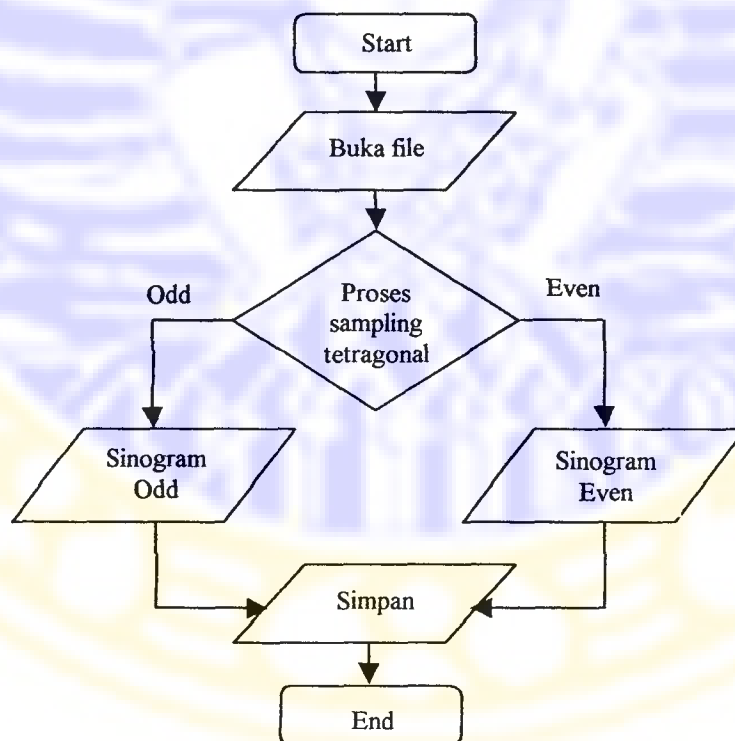
Objek sintetik *discan* dengan metode sampling pola square, metode sampling pola heksagonal, dan metode sampling pola tetragonal. Dari proses *scanning* akan didapatkan sinogram dengan data pola square, sinogram dengan data pola heksagonal dan sinogram dengan data pola tetragonal. Untuk mendapatkan

sinogram dengan data pola square dan sinogram dengan data pola heksagonal digunakan program Scan Hex (Ukhrowiyah dan Ain, 2003). Sedangkan sinogram dengan data pola tetragonal didapatkan dengan program yang dibuat dalam penelitian ini.

Algoritma sampling data dari proses *scanning* dengan metode sampling pola tetragonal adalah sebagai berikut:

1. Ambil objek sintetik dengan ekstensi \*.dat
2. Pilih metode sampling tetragonal
3. Hitung raysum, jika ganjil maka ambil baris ganjil ( $k\%2=1$ )  
Dan jika genap maka ambil baris genap ( $k\%2=0$ )
4. Simpan sinogram dengan ekstensi \*.att

Dari algoritma diatas dapat dibuat kedalam flow chart, seperti gambar 3.3



Gambar 3.3 Flow Chart Program ScanTetragonal

Pada penelitian ini sampling data pola tetragonal dilakukan pada dua bagian, yaitu bagian odd dan bagian even. Bagian odd dan even adalah pola pengambilan data pada bagian proyeksi ganjil atau genap pada proses *penscanning* data.

Sinogram dengan data pola square, kemudian di rekonstruksi dengan metode rekonstruksi SCFBP dengan menggunakan program CT Imager (Suparta, 1999). Sinogram dengan data pola heksagonal dan sinogram dengan data pola tetragonal juga di rekonstruksi dengan SCFBP, namun terlebih dulu dilakukan interpolasi data untuk mengisi kekosongan data pada sinogram pola heksagonal dan tetragonal tersebut agar didapatkan data pola square. Interpolasi data dilakukan dengan *InterpolatorSinc* dengan jumlah suku 19 sesuai dengan yang didapatkan pada penelitian sebelumnya (Ukhrowiyah dan Ain, 2003). Dari proses rekonstruksi akan didapatkan citra hasil rekonstruksi. Kualitas citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal kemudian dianalisis dengan membedakan citra-citra hasil rekonstruksi tersebut terhadap objek sintetik referensi dengan menggunakan *Image Comparator* (Nugroho W. dan Suparta, 2002).

### **3.4 Analisis Citra Hasil Rekonstruksi**

Kualitas citra hasil rekonstruksi ditentukan dengan membedakan citra hasil rekonstruksi terhadap objek sintetik. Pembedaan dilakukan secara visual dan numerik. Pembedaan secara visual dilakukan dengan cara melihat secara langsung dengan mata citra hasil rekonstruksi dan profil garis horisontalnya. Yang menjadi

acuan melihat dengan mata adalah kabur dan tidaknya citra hasil tetragonal dibandingkan dengan citra objek sintetis, citra hasil pola square dan citra hasil pola heksagonal.

Sedangkan profil garis horisontal adalah nilai-nilai koefisien atenuasi ( $\mu$ ) pada satu baris citra yang digambarkan, dan dapat dilihat pada program Image Comparator dengan membandingkan citra-citra hasil rekonstruksi pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap citra objek sintetis referensinya.

Pembedaan secara numerik dilakukan dengan dua cara, yaitu: pertama adalah dengan menghitung *root mean square difference* (*rmsd*) yang mengukur kemiripan distribusi koefisien atenuasi linear ( $\mu$ ), kedua adalah dengan menghitung *maximum error* ( $e_{max}$ ) yang mengukur perbedaan terbesar koefisien atenuasi linear ( $\mu$ ). Dengan menghitung *rmsd* dan  $e_{max}$  dapat ditentukan citra hasil rekonstruksi yang terbaik. Yaitu semakin mirip citra hasil rekonstruksinya dengan citra objek sintetis, maka nilai *rmsd* dan  $e_{max}$  semakin kecil. Kedua parameter tersebut dinormalisasi dengan menggunakan  $\mu$  maksimum dan didefinisikan sebagai berikut:

$$rmsd = \frac{1}{\mu_{max}} \left[ \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (\mu_{cit}[i, j] - \mu_{ref}[i, j])^2}{N}} \right] \times 100\% \quad (3.1)$$

$$e_{max} = \frac{\max |\mu_{cit}[i, j] - \mu_{ref}[i, j]|}{\mu_{max}} \times 100\% \quad (3.2)$$

dengan

$\mu_{cit}[i, j]$  adalah piksel citra pada koordinat  $[i, j]$

$\mu_{ref}[i, j]$  adalah objek referensi atau piksel citra pada koordinat  $[i, j]$

dan koordinat dibatasi sampai  $N'$  piksel yang terletak didalam objek atau lingkaran citra.

Pembedaan secara numerik dilakukan dengan melihat nilai *rmsd* dan *e<sub>max</sub>* antara citra-citra hasil rekonstruksi pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap objek sintetik referensi dengan menggunakan program Image Comparator.

Sedangkan untuk mengetahui apakah antara citra-citra hasil rekonstruksi adalah identik, maka dilakukan uji analisis varians dua arah berdasarkan peringkat Friedman (Daniel, 1989). Adapun persamaan-persamaan yang digunakan untuk menghitung uji statistik ini adalah:

$$X_r^2 = \frac{12}{bk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3b(k+1) \quad (3.3)$$

Apabila dijumpai angka sama, maka nilai  $X_r^2$  harus dibagi dengan persamaan 3.4.

$$1 - \sum T_i / bk(k^2 - 1) \quad (3.4)$$

Dengan  $T_i = \sum t_i^3 - \sum t_i$  dan  $t_i$  adalah banyaknya nilai pengamatan yang sama untuk suatu peringkat dalam blok ke-i.

Kaidah pengambilan keputusan dalam uji ini adalah: Apabila  $b$  dan  $k$  kecil maka perlu membandingkan nilai  $X_r^2$  dengan nilai-nilai kritis yang sesuai dalam tabel distribusi eksak  $X_r^2$  untuk tabel-tabel dengan dua hingga sembilan kumpulan tiga buah peringkat untuk mendapatkan taraf nyata. Jika  $X_r^2$  hasil perhitungan lebih besar daripada atau sama dengan  $X_r^2$  dalam tabel untuk  $b$ ,  $k$  dan

$\alpha = p$ , maka tolak  $H_0$  pada taraf nyata. Untuk nilai-nilai  $b$  dan/atau  $k$  yang tidak tercantum dalam tabel distribusi eksak untuk  $X_r^2$  maka guna mengetahui taraf nyata boleh dibandingkan  $X_r^2$  hasil perhitungan dengan nilai-nilai  $X_r^2$  dalam tabel distribusi kai-kuadrat dengan derajat bebas  $k-1$ . Tolaklah  $H_0$  pada taraf nyata apabila  $X_r^2$  yang telah dihitung dari data lebih besar daripada atau sama dengan nilai  $X_{r(1-\alpha)}^2$  dalam tabel untuk derajat bebas  $k-1$ .

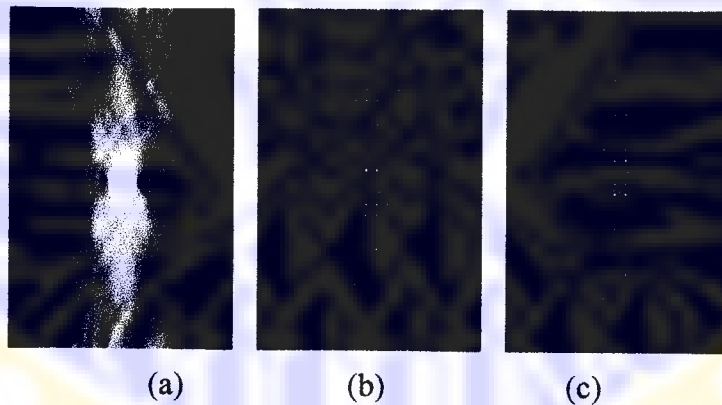
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditunjukkan hasil-hasil penelitian secara simulasi yang terdiri dari program sampling data dengan metode sampling pola tetragonal, proses rekonstruksi dan analisa hasil.

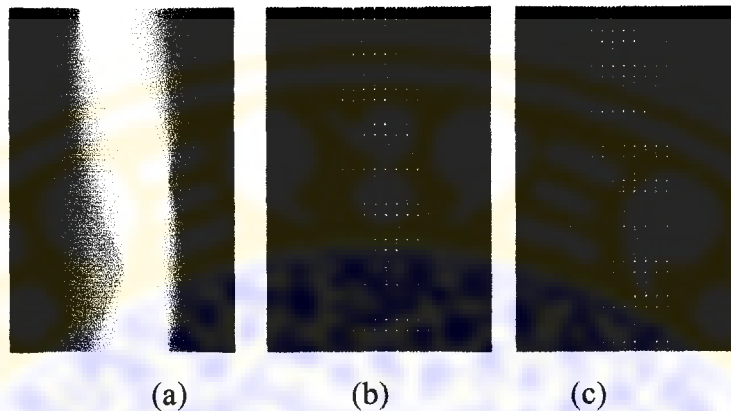
#### 4.1 Sinogram Hasil Sampling Data

Sampling data pola square dan heksagonal dalam penelitian ini digunakan sebagai pembanding terhadap metode sampling data pola tetragonal. Obyek sintetik pada gambar 3.1, di scan dengan program ScanHex sehingga dihasilkan sinogram data pola square dan pola heksagonal. Sinogram-sinogram hasil scanning ditunjukkan pada gambar 4.1.

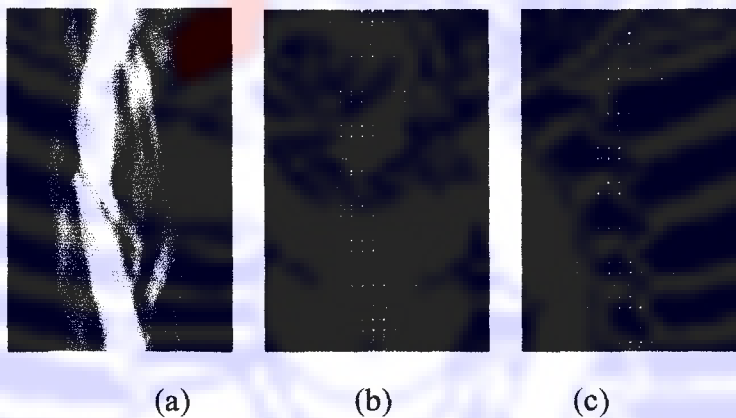


**Gambar 4.1.a** Sinogram hasil scanning MODUL1  
(a) Pola Square (b) Pola OddHex (c) Pola EvenHex





**Gambar 4.1.b** Sinogram hasil scanning SEGITIGA  
(a) Pola Square (b) Pola OddHex (c) Pola EvenHex

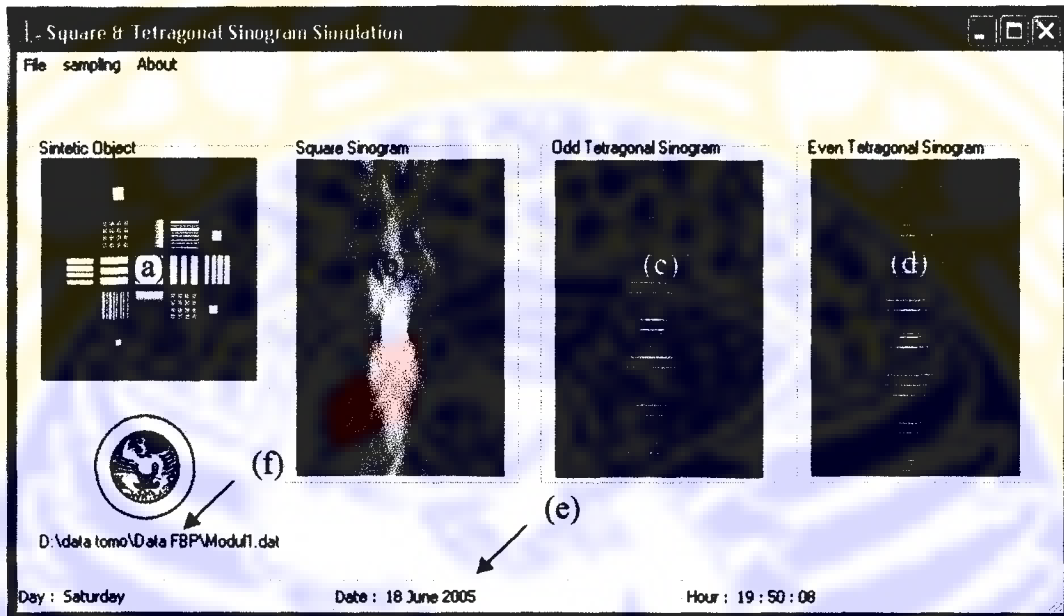


**Gambar 4.1.c** Sinogram hasil scanning MODUL2  
(a) Pola Square (b) Pola OddHex (c) Pola EvenHex

Sinogram data pola tetragonal diperoleh dari proses scanning objek sintetik gambar 3.1 dengan program ScanTetragonal yang dibuat dalam penelitian ini. Adapun tampilan program ScanTetragonal ditunjukkan pada gambar 4.2, sedangkan listing program ditunjukkan pada lampiran 1. Komponen-komponen dari program ini adalah sebagai berikut:

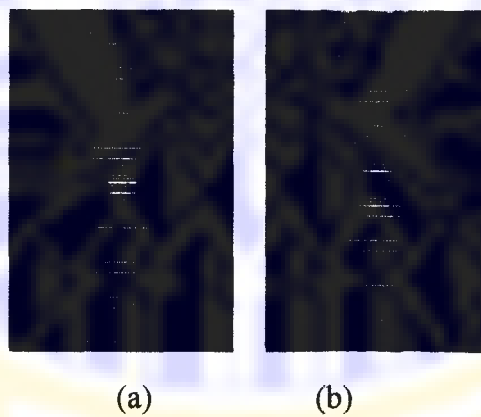
- a. Objek sintetik
- b. Area sinogram pola square
- c. Area sinogram pola odd tetragonal
- d. Area sinogram pola even tetragonal

- e. Status bar menunjukkan hari, tanggal dan waktu pengaktifan simulasi
- f. Label directory menunjukkan file obyek yang dibuka

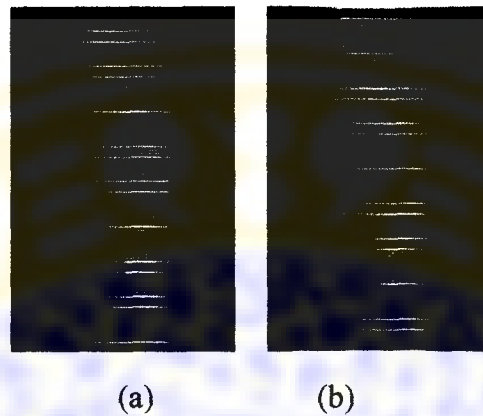


**Gambar 4.2** Tampilan program ScanTetragonal

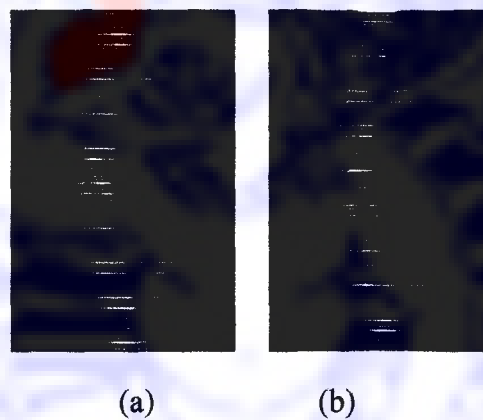
Sinogram-sinogram dengan data pola tetragonal hasil proses scanning dengan program ScanTetragonal ditunjukkan pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3.a** Sinogram hasil scanning MODUL1  
(a) Pola OddTetra (b) Pola EvenTetra



**Gambar 4.3.b** Sinogram hasil scanning SEGITIGA  
(a) Pola OddTetra (b) Pola EvenTetra

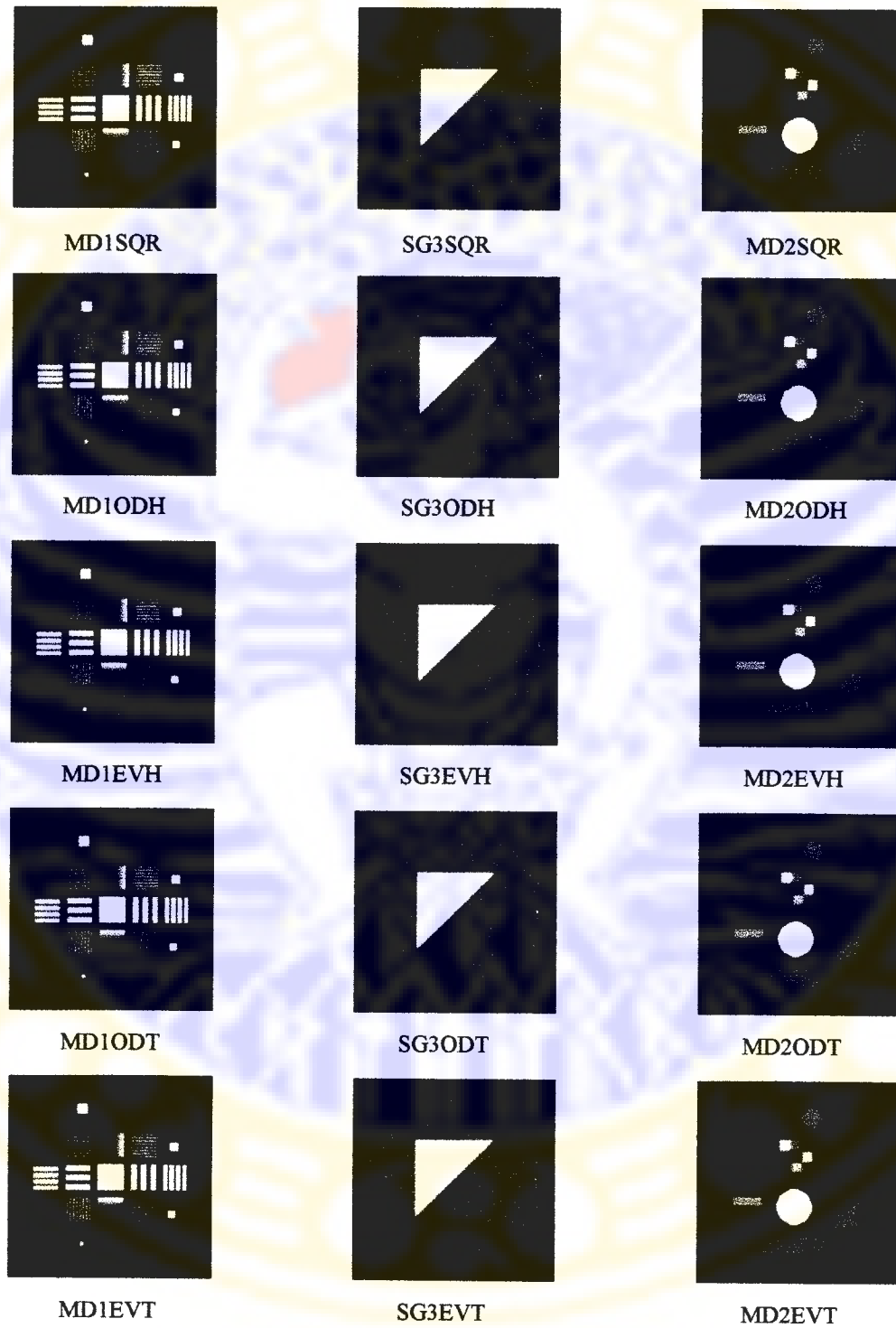


**Gambar 4.3.c** Sinogram hasil scanning MODUL2  
(a) Pola OddTetra (b) Pola EvenTetra

#### 4.2 Citra Hasil Rekonstruksi

Sinogram hasil scanning dengan data pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal direkonstruksi dengan metode rekonstruksi SCFBP yang sudah ada, yaitu program CT Imager 1.0 agar diperoleh citra-citra hasil rekonstruksi. Pada sinogram dengan data pola heksagonal dan pola tetragonal terdapat data yang hilang jika dibandingkan dengan sinogram data pola square, maka sebelum direkonstruksi sinogram dengan data pola heksagonal dan sinogram dengan data pola tetragonal tersebut diinterpolasi lebih dulu agar didapatkan data pola square.

Adapun citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram- sinogram gambar 4.1 dan 4.3 ditunjukkan pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal

Pemberian nama citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram pola square untuk MODUL1 adalah MD1SQR, SEGITIGA adalah SG3SQR dan MODUL2 adalah MD2SQR. Pemberian nama sinogram pola heksagonal untuk obyek MODUL1 adalah MD1xH, SEGITIGA adalah SG3xH dan MODUL2 adalah MD2xH. Sedangkan pemberian nama sinogram pola tetragonal untuk obyek MODUL1 adalah MD1xT, SEGITIGA adalah SG3xT dan MODUL2 adalah MD2xT, dengan x adalah pola odd atau even.

#### 4.3 Analisis Hasil dan Pembahasan

Metode sampling pola tetragonal dalam penelitian ini diuji unjuk kerjanya apakah dapat digunakan sebagai metode sampling yaitu dengan melihat kualitas citra yang dihasilkan. Kualitas citra yang dihasilkan dilihat dengan cara membedakan citra hasil rekonstruksi dari sinogram yang dihasilkan dengan metode sampling pola tetragonal terhadap objek sintetik referensi, citra hasil rekonstruksi pola square dan pola heksagonal. Perbedaan kualitas citra dilakukan secara numerik dan secara visual. Perbedaan secara numerik dilakukan dengan menghitung nilai *rmsd* dan  $e_{max}$ . Sedangkan secara visual dilakukan dengan membedakan citra-citra hasil rekonstruksi dan profil garis horisontalnya.

Hasil-hasil perbedaan numerik citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan metode sampling pola tetragonal terhadap objek sintetik referensi, citra hasil rekonstruksi pola square dan pola heksagonal untuk objek MODUL1, MODUL2, dan SEGITIGA diperlihatkan pada tabel 4.1, tabel 4.2 dan tabel 4.3.

Hasil perbedaan antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap objek sintetik untuk obyek MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2 ditunjukkan pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1.a** Perbandingan nilai  $rmsd$  (%) antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap objek sintetik referensi untuk obyek MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.

Obyek	Metode Sampling				
	Square	OddHex	EvenHex	OddTetra	EvenTetra
MODUL1	5,415	5,760	5,755	5,874	5,926
SEGITIGA	1,559	1,595	1,594	1,595	1,606
MODUL2	2,724	2,803	2,797	2,767	2,875

**Tabel 4.1.b** Perbandingan nilai  $e_{max}$  (%) antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap objek sintetik referensi untuk obyek MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.

Obyek	Metode Sampling				
	Square	OddHex	EvenHex	OddTetra	EvenTetra
MODUL1	25,381	27,802	28,543	30,541	28,929
SEGITIGA	32,880	38,228	38,150	37,595	38,782
MODUL2	27,958	28,004	27,620	28,076	27,549

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square memiliki nilai  $rmsd$  dan  $e_{max}$  paling kecil jika dibandingkan terhadap nilai  $rmsd$  dan  $e_{max}$  citra hasil rekonstruksi yang tersampling dengan pola heksagonal dan pola tetragonal. Yaitu MODUL1 5,415% dan 25,381%, SEGITIGA 1,559% dan 32,880%, MODUL2 2,724% dan 27,958%. Hal ini menunjukkan bahwa citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square paling mendekati dengan objek sintetik referensi. Walaupun dilihat

dari nilai  $rmsd$  dan  $e_{max}$  citra hasil rekonstruksi sinogram pola square paling mendekati objek sintetik tetapi setelah dilakukan uji analisis varians dua arah dengan peringkat Friedman (di Lampiran 2.a) menunjukkan bahwa antara metode sampling pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal saling identik.

Secara eksperimen objek sintetik tidak ada, sehingga untuk melihat kualitas citra dipakai acuan sinogram pola square. Tabel 4.2 menunjukkan hasil perbedaan citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square.

**Tabel 4.2.a** Perbandingan nilai  $rmsd$  (%) antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square untuk objek MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.

Obyek	Metode Sampling			
	OddHex	EvenHex	OddTetra	EvenTetra
MODUL1	1,134	1,310	1,729	1,849
SEGITIGA	0,243	0,238	0,304	0,301
MODUL2	0,435	0,422	0,518	0,567

**Tabel 4.2.b** Perbandingan nilai  $e_{max}$  (%) antara citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data, pola heksagonal dan pola tetragonal terhadap citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square untuk objek MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.

Obyek	Metode Sampling			
	OddHex	EvenHex	OddTetra	EvenTetra
MODUL1	7,710	7,980	8,312	8,531
SEGITIGA	7,049	6,945	6,214	7,778
MODUL2	3,779	3,289	3,394	4,250

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal memiliki nilai  $rmsd$  dan  $e_{max}$  lebih kecil

jika dibandingkan terhadap citra hasil rekonstruksi dengan data pola tetragonal. Walaupun dilihat dari nilai  $rmsd$  dan  $e_{max}$  citra hasil rekonstruksi dari sinogram pola heksagonal mendekati citra hasil rekonstruksi dari sinogram pola square, tetapi setelah dilakukan uji analisis varians dua arah dengan peringkat Friedman (di Lampiran 2.b) diketahui bahwa antara metode sampling pola heksagonal dan pola tetragonal saling identik pula. Dengan demikian antara metode sampling pola tetragonal baik odd maupun even identik dengan metode sampling pola heksagonal odd dan even. Metode-metode sampling data pola heksagonal dan pola tetragonal menunjukkan hasil yang relatif sama dengan metode sampling square. Walaupun jumlah data sinogram pola heksagonal dan pola tetragonal hanya setengah dari jumlah data sinogram pola square.

Jumlah data untuk metode sampling pola tetragonal dengan pola heksagonal adalah sama, tetapi secara teori untuk aplikasi eksperimen dengan metode sampling pola tetragonal akan lebih mudah daripada metode sampling pola heksagonal. Untuk itu perlu dilakukan pembedaan kualitas citra hasil rekonstruksi dari metode sampling pola tetragonal terhadap metode sampling pola heksagonal.

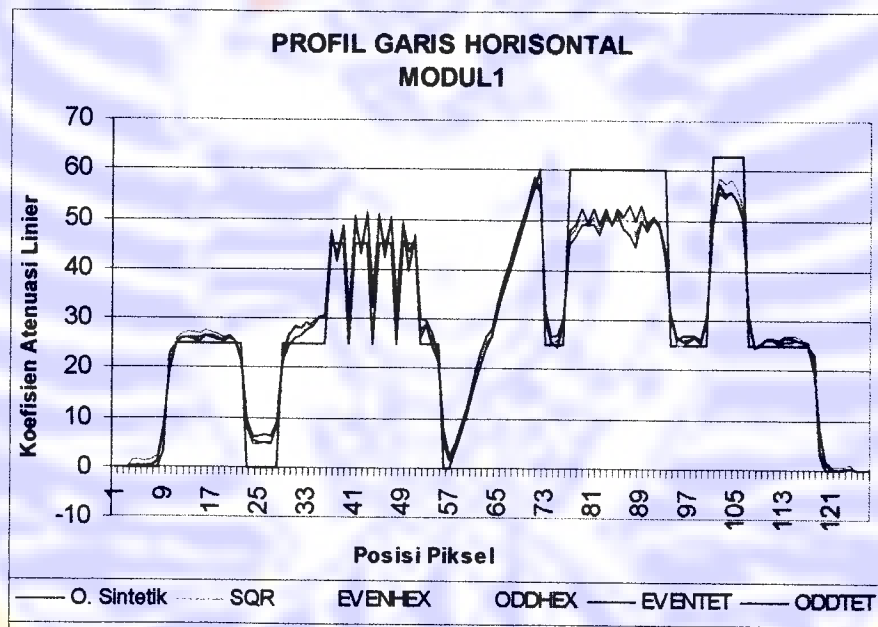
**Tabel 4.3** Perbandingan antara citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal terhadap citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal untuk objek MODUL1, SEGITIGA dan MODUL2.

No	Sampling	$rmsd(\%)$	$e_{max}(\%)$
1	MD1ODH – MD1ODT	1,333	7,599
2	MD1EVH – MD1EVT	1,323	7,542
3	SG3ODH – SG3ODT	0,281	1,661
4	SG3EVH – SG3EVT	0,281	0,662
5	MD2ODH – MD2ODT	0,453	3,571
6	MD2EVH – MD2EVT	0,451	3,558

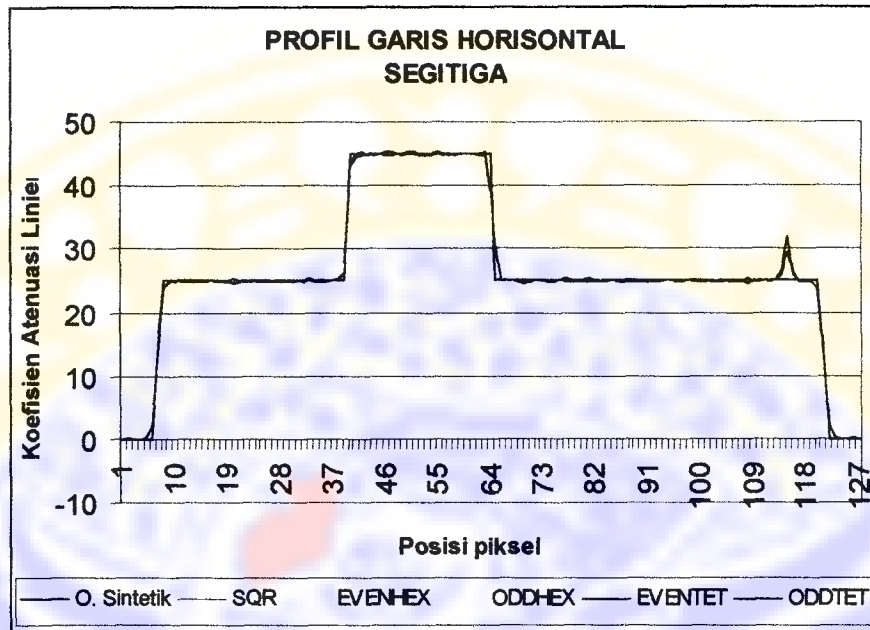


Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola odd heksagonal terhadap pola odd tetragonal adalah relatif sama. Demikian pula citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola even heksagonal terhadap pola even tetragonal didapatkan hasil yang sama.

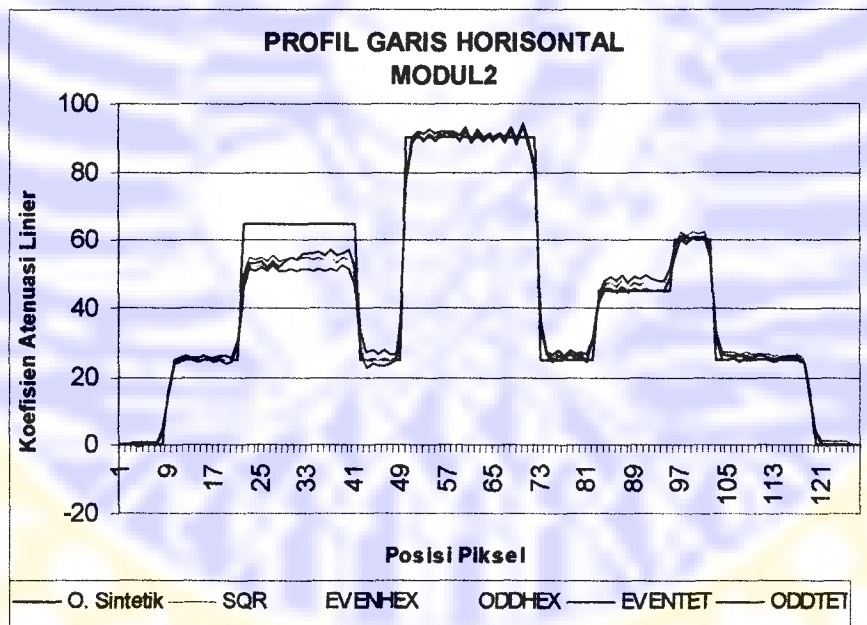
Pembedaan secara visual dilakukan dengan melihat secara langsung citra-citra hasil rekonstruksi ditunjukkan pada gambar 4.4 dan profil garis horisontal yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5.a Profil Garis Horisontal Objek MODUL1



**Gambar 4.5.b** Profil Garis Horizontal Obyek SEGITIGA.



**Gambar 4.5.c** Profil Garis Horizontal Obyek MODUL2

Dari hasil pembedaan antara citra hasil rekonstruksi pola square pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa secara visual lebih kabur daripada obyek sintetik.

Hal ini didukung oleh profil garis horisontal pola square pada gambar 4.5 mendekati profil garis horisontal objek sintetik. Citra hasil rekonstruksi dari sinogram pola heksagonal dan pola tetragonal pada gambar 4.4 dilihat dari tingkat keaburannya tidak berbeda jauh jika dibandingkan terhadap citra hasil rekonstruksi pola square. Hal ini didukung oleh gambar 4.5 bahwa antara profil garis horisontal pola heksagonal, pola tetragonal saling berhimpit dengan profil garis horisontal pola square.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Telah dapat dimodifikasi program proses scanning dengan metode sampling pola heksagonal menjadi metode sampling pola tetragonal pada sistem tomografi komputer translasi rotasi. Citra hasil rekonstruksi sinogram dari proses scanning dengan program ini memiliki kualitas yang relatif sama dengan obyek sintetis. Dengan demikian metode sampling tetragonal dapat digunakan sebagai metode sampling pada sistem tomografi komputer.
2. Kualitas citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square, data pola heksagonal dan data pola tetragonal relatif sama terhadap obyek referensi. Hal ini ditunjukkan dengan profil garis horisontal citra hasil rekonstruksi pola square, pola heksagonal dan pola tetragonal mendekati profil garis horisontal obyek sintetis. Di samping itu juga ditunjukkan oleh nilai-nilai *rmsd*-nya yang kecil.
3. Kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal adalah sama dengan kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola square. Hal ini ditunjukkan antara profil garis horisontal citra hasil rekonstruksi pola tetragonal terhadap profil garis horisontal citra hasil rekonstruksi pola square saling mendekati, serta nilai *rmsd*-nya saling identik.

4. Kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola tetragonal adalah sama dengan kualitas citra hasil rekonstruksi dari sinogram dengan data pola heksagonal. Hal ini ditunjukkan dengan berhimpitnya profil garis horisontal citra hasil rekonstruksi pola tetragonal terhadap profil garis horisontal citra hasil rekonstruksi pola heksagonal, serta nilai *rmsd*-nya saling identik.

## 5.2 Saran

Agar didapatkan hasil yang benar-benar sesuai dengan yang diharapkan, yaitu adanya kesesuaian antara metode sampling pola tetragonal terhadap metode sampling pola heksagonal, maka perlu dilakukan penelitian secara eksperimen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ain, K., 2003, *Metode Rekonstruksi Aljabar Proses Cepat Untuk Data Raysum Berbasis Sampling Piksel*, Thesis S2, UGM, Yogyakarta.
- Daniel, W.W., 1989, *Statistik NonParametrik Terapan*, PT. Gramedia, Jakarta.
- Sukisno, M., 2002, *Pengaruh Konsentrasi Media Kontras terhadap Unjuk Kerja Sistem Tomografi Komputer Translasi-Rotasi*, Thesis S2, UGM, Yogyakarta.
- Suparta, G.B., 1999, *Focusing Computed Tomography Scanner*, PhD Thesis, Monash University, Australia.
- Suparta, G.B., Kusminarto dan W. Nugroho, 2000, *Tomografi Komputer Untuk Laboratorium*, Prosiding SFN XVIII – HFI, Serpong, 25-27 April 2000.
- Ukhrowiyah, N., 2002, *Kajian tentang Metode Sampling pada Sistem Tomografi Komputer Translasi Rotasi*, Thesis S2, UGM, Yogyakarta.
- Ukhrowiyah, N. dan K. Ain, 2003, *Pembuatan Simulator Sistem Tomografi Komputer dengan Metode Sampling Pola Heksagonal*, Laporan DIK RUTIN, Universitas Airlangga, Surabaya.
- Wells, P., Davis, J. dan Morgan, M., 1994, *Computed Tomography*, Material Forum, 18, 111-133.
- Wells, P., Smith R. And GB. Suparta, 1997, *Sampling the Sinogram in Computed Tomography*, Material Evaluation, 55(7), 772-776.
- Yulianti, D., 2002, *Metode Pemetaan Kerapatan Bahan Cair dengan Menggunakan Tomografi Komputer*, Thesis S2, UGM, Yogyakarta.

## LAMPIRAN 1 Listing Program

**PROGRAM SQUARE & TETRAGONAL****SINOGRAM SIMULATION**

```

//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "Unitcitra.h"
#include "Unit1.h"

//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TMukaUtama *MukaUtama;
////////////////////
//function
////////////////////
//-----
bool __fastcall TMukaUtama::savedata(float *img[TMX], char *namafile)
{
    FILE *pfp;
    pfp=fopen(namafile, "\w+");
    fprintf(pfp, "%d %3d\n", nray, ncol);
    for(int ray=1; ray<=(nray); ray++){
        for(int col=1; col<=(ncol); col++){
            fprintf(pfp, "%10.2f", img[ray][col]);
            fprintf(pfp, "\n");
        }
    }
    fclose(pfp);
    return 1 ;
}
//-----
bool __fastcall TMukaUtama::TampilCitra(float*img[TMX], TImage*Image)
{
    float temp;
    max_test=img[1][1];
    min_test=img[1][1];
    for(int baris=1; baris<=nray; baris++){
        for(int kolom=1; kolom<=ncol; kolom++){
            if(max_test<img[baris][kolom])max_test=img[baris][kolom];
            if(min_test>img[baris][kolom])min_test=img[baris][kolom];
            total=total+img[baris][kolom];
        }
    }
}

```

```

    }
    width=Image->Width;
    height=Image->Height;
    dx=(float)width/ncol;
    dy= (float)height/ncol;
    for(int i=1;i<=width;i++){
        py=i/dy;
        for(int j=1;j<=height;j++){
            px=j/dx;
            temp=(img[px+1][py+1]-min_test)*255/(max_test-min_test);
            SetPixel(Image->Canvas->Handle,i,j,RGB(temp,temp,temp));
        }
    }
    return 1;
}
//-----
bool __fastcall TMukaUtama::TampilCitra2(float*img[TMX],TImage*Image)
{
    float temp;
    max_test=img[1][1];
    min_test=img[1][1];
    nray=int(ncol*pi/2)-1;
    for(int baris=1;baris<=nray;baris++){
        for(int kolom=1;kolom<=ncol;kolom++){
            if(max_test<img[baris][kolom])max_test=img[baris][kolom];
            if(min_test>img[baris][kolom])min_test=img[baris][kolom];
            total=total+img[baris][kolom];
        }
    }
    width=Image->Width;
    height=Image->Height;
    dx=(float)width/ncol;
    dy= (float)height/nray;
    for(int i=1;i<=width;i++){
        py=i/dy;
        for(int j=1;j<=height;j++){
            px=j/dx;
            temp=(img[px+1][py+1]-min_test)*255/(max_test-min_test);
            SetPixel(Image->Canvas->Handle,i,j,RGB(temp,temp,temp));
        }
    }
    return 1;
}
//-----

bool __fastcall TMukaUtama::readCTdata(float*img[TMX],char*namafile)

```



```

{
FILE *pfp;
float data,dat;
pfp=fopen(namafile,"r");
fscanf(pfp,"%d %d \n",&nray,&ncol);
for(int baris_ke=0;baris_ke<=(nray+1);baris_ke++){
img[baris_ke]=(float*)fcalloc(ncol+2,sizeof(float));
}
for(int p=1;p<=nray;p++){
for(int q=1;q<=ncol;q++){
fscanf(pfp,"%f",&data);
dat=(float)(data);
img[p][q]=dat;
}
}
fscanf(pfp,"\n");
}
fclose(pfp);
return 1;
}
//-----
__fastcall TMukaUtama::TMukaUtama(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
ImageCitra->Picture=NULL;status=0;
}
//-----

void __fastcall TMukaUtama::OpenClick(TObject *Sender)
{
if (BukaFile->Execute()){
FileAsli=BukaFile->Files->Strings[0].c_str();
read=readCTdata(citra,FileAsli.c_str());
if(read!=0){
ImageCitra->Picture=NULL;status=0;
LabelDirector->Caption=FileAsli;
status=TampilCitra(citra,MukaUtama->ImageCitra);
}
}
}
//-----

void __fastcall TMukaUtama::TutupClick(TObject *Sender)
{
Close();
}
//-----

```

```

void __fastcall TMukaUtama::sederhanaClick(TObject *Sender)
{
Image1->Picture=NULL;status1=0;
float a,b,x,y,jarak,w,p,r,r2dalam,r1,sinteta,costeta;
int nteta,R,k,xb,pusat,xai,yai;
float dteta,teta,R1,xa,ya,w11,w12,w21,w22,xc,panjang1,panjang2;
float dx,dy,dx1,dy1,b00,b01,b10,b11;
int px,py;
nray=int(ncol*pi/2)-1;
for(int baris_ke=0;baris_ke<=(nray+1);baris_ke++){
citra2[baris_ke]=(float*)falloc(ncol+2,sizeof(float));
}
nteta=nray;
dteta=pi/nteta;
pusat=(ncol+1)/2;
for(int k=1;k<=nteta;k++){
teta=(float)(k-1)*dteta;
sinteta=sin(teta);
costeta=cos(teta);
for(int i=1;i<=ncol;i++){
for(int j=1;j<=ncol;j++){
a=float(j-pusat);
b=float(pusat-i);
r2dalam=(a*a+b*b);
if(r2dalam<=(ncol-0.5)*(ncol-0.5)/4)
{
xa=a*costeta+b*sinteta;
ya=-a*sinteta+b*costeta;
xai=int(xa);
yai=int(ya);
px = 1; py = 1;
dx = xa-xai;
if (dx<0.0) px = -1;
dy = ya-yai;
if (dy<0.0) py = -1;
dx = fabs(dx);
dy = fabs(dy);
dx1 = fabs(1.0-dx);
dy1 = fabs(1.0-dy);
b00 = (dx1*dy1)*citra[yai+pusat][xai+pusat];
b01 = (dx1*dy)*citra[yai+pusat+py][xai+pusat];
b10 = (dx*dy1)*citra[yai+pusat][xai+pusat+px];
b11 = (dx*dy)*citra[yai+pusat+py][xai+pusat+px];
citra2[k][j]+=(b00+b01+b10+b11)/ncol;
}
}
}
}

```

```

    }
}
status1=TampilCitra2(citra2,Image1);
}
//-----

void __fastcall TMukaUtama::simpleimageClick(TObject *Sender)
{
    if (status1!=1)Application->MessageBox("Sorry, There is no data input!",
        "Warning",MB_OK|MB_ICONWARNING);
    else if(SimpanFile->Execute()){
        FileAsli=SimpanFile->Files->Strings[0].c_str();
        save=savedata( citra2, FileAsli.c_str());
    }
}
//-----

void __fastcall TMukaUtama::modifiedimageClick(TObject *Sender)
{
    if (status2!=1)Application->MessageBox("Sorry, There is no data input!",
        "Warning",MB_OK|MB_ICONWARNING);
    else if(SimpanFile->Execute()){
        FileAsli=SimpanFile->Files->Strings[0].c_str();
        save=savedata( citra3, FileAsli.c_str());
    }
}
//-----

void __fastcall TMukaUtama::odd1Click(TObject *Sender)
{
    Image2->Picture=NULL;status2=0;
    float a,b,x,y,jarak,w,p,r,r2dalam,r1,sinteta, costeta;
    int nteta,R,k,xb,pusat,xai,yai,m;
    float dteta,teta,R1,xa,ya,w1l,w12,w21,w22,xc,panjang1,panjang2;
    float dx,dy,dx1,dy1,b00,b01,b10,b11;
    int px,py;
    nray=int(ncol*pi/2)-1;
    for(int baris_ke=0;baris_ke<=(nray+1);baris_ke++){
        citra3[baris_ke]=(float*)fcalloc(ncol+2,sizeof(float));
        //citra4[baris_ke]=(float*)fcalloc(ncol+2,sizeof(float));
    }
    nteta=nray;
    dteta=pi/nteta;
    pusat=(ncol+1)/2;
    for(int k=1;k<=nteta;k++){
        teta=(float)(k-1)*dteta;
        sinteta=sin(teta);

```

```

costeta=cos(teta);
for(int i=1;i<=ncol;i++){
  for(int j=1;j<=ncol;j++){

if(k%2==1)
{citra3[k][j]=0;}
else
{
  a=float(j-pusat);
  b=float(pusat-i);
  r2dalam=(a*a+b*b);
  if(r2dalam<=(ncol-0.5)*(ncol-0.5)/4)
  {
    xa=a*costeta+b*sinteta;
    ya=-a*sinteta+b*costeta;
    xai=int(xa);
    yai=int(ya);
    px = 1; py = 1;
    dx = xa-xai;
    if (dx<0.0) px = -1;
    dy = ya-yai;
    if (dy<0.0) py = -1;
    dx = fabs(dx);
    dy = fabs(dy);
    dx1 = fabs(1.0-dx);
    dy1 = fabs(1.0-dy);
    b00 = (dx1*dy1)*citra[yai+pusat][xai+pusat];
    b01 = (dx1*dy)*citra[yai+pusat+py][xai+pusat];
    b10 = (dx*dy1)*citra[yai+pusat][xai+pusat+px];
    b11 = (dx*dy)*citra[yai+pusat+py][xai+pusat+px];
    citra3[k][j]+=(b00+b01+b10+b11)/ncol;
  }
}
}
}
}

status2=TampilCitra2(citra3,Image2);
}
//-----

void __fastcall TMukaUtama::even1Click(TObject *Sender)
{
Image3->Picture=NULL;status3=0;
float a,b,x,y,jarak,w,p,r,r2dalam,r1,sinteta,costeta;

```

```

int nteta,R,k,xb,pusat,xai,yai,m;
float dteta,teta,R1,xa,ya,w11,w12,w21,w22,xc,panjang1,panjang2;
float dx,dy,dx1,dy1,b00,b01,b10,b11;
int px,py;
nray=int(ncol*pi/2)-1;
for(int baris_ke=0;baris_ke<=(nray+1);baris_ke++){
citra4[baris_ke]=(float*)fcalloc(ncol+2,sizeof(float));
//citra4[baris_ke]=(float*)fcalloc(ncol+2,sizeof(float));
}
nteta=nray;
dteta=pi/nteta;
pusat=(ncol+1)/2;
for(int k=1;k<=nteta;k++){
teta=(float)(k-1)*dteta;
sinteta=sin(teta);
costeta=cos(teta);
for(int i=1;i<=ncol;i++){
for(int j=1;j<=ncol;j++){

if(k%2==0)
{citra4[k][j]=0;}
else
{
a=float(j-pusat);
b=float(pusat-i);
r2dalam=(a*a+b*b);
if(r2dalam<=(ncol-0.5)*(ncol-0.5)/4)
{
xa=a*costeta+b*sinteta;
ya=-a*sinteta+b*costeta;
xai=int(xa);
yai=int(ya);
px = 1; py = 1;
dx = xa-xai;
if (dx<0.0) px = -1;
dy = ya-yai;
if (dy<0.0) py = -1;
dx = fabs(dx);
dy = fabs(dy);
dx1 = fabs(1.0-dx);
dy1 = fabs(1.0-dy);
b00 = (dx1*dy1)*citra[yai+pusat][xai+pusat];
b01 = (dx1*dy)*citra[yai+pusat+py][xai+pusat];
b10 = (dx*dy1)*citra[yai+pusat][xai+pusat+px];
b11 = (dx*dy)*citra[yai+pusat+py][xai+pusat+px];
citra4[k][j]+=(b00+b01+b10+b11)/ncol;

```

```
    }  
    }  
    }  
}  
  
status3=TampilCitra2(citra4,Image3);  
}  
//-----  
  
void __fastcall TMukaUtama::EvenHexSino1Click(TObject *Sender)  
{  
    if (status3!=1)Application->MessageBox("Sorry, There is no data input!",  
        "Warning",MB_OK|MB_ICONWARNING);  
    else if(SimpanFile->Execute()){  
        FileAsli=SimpanFile->Files->Strings[0].c_str();  
        save=savedata( citra4, FileAsli.c_str());  
    }  
}  
//-----  
  
void __fastcall TMukaUtama::Timer1Timer(TObject *Sender)  
{  
    StatusBar1->Panels->Items[0]->Text =  
    FormatDateTime ("Day : ' dddd", Now ());  
    StatusBar1->Panels->Items[1]->Text =  
    FormatDateTime ("Date : ' d mmmm yyyy", Now ());  
    StatusBar1->Panels->Items[2]->Text =  
    FormatDateTime (" Hour : ' hh : mm : ss", Now ());  
}  
//-----  
  
void __fastcall TMukaUtama::About1Click(TObject *Sender)  
{  
    Form1->Show();  
}  
//-----
```

## LAMPIRAN 2.a Uji Analisis Varians Dua Arah Berdasarkan Peringkat Friedman

**Citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram-sinogram pola square,  
heksagonal dan tetragonal dibandingkan terhadap  
obyek sintetik referensi.**

Tabel 2.a.1 Nilai-nilai *rmsd* dari ketiga obyek sintetik

Obyek	Metode Sampling				
	Square	OddHex	EvenHex	OddTetra	EvenTetra
<b>Modul1</b>	5,415	5,760	5,755	5,874	5,926
<b>Segitiga</b>	1,559	1,595	1,594	1,595	1,606
<b>Modul2</b>	2,724	2,803	2,797	2,767	2,875

Hipotesis

$H_0$ : Kelima metode sampling memberikan hasil-hasil yang identik

$H_1$ : Sekurang-kurangnya salah satu metode cenderung memberikan nilai-nilai yang lebih besar daripada sekurang-kurangnya salah satu metode yang lain.

Dari data diatas digunakan  $b = 3$  dan  $k = 5$

$$X_r^2 = \frac{12}{bk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3b(k+1) \quad (2.a.1)$$

Jika ada nilai yang sama maka  $X_r^2$  harus dikoreksi menggunakan persamaan 2.a.2 dan 2.a.3.

$$T_i = \sum t_i^3 - \sum t_i \quad (2.a.2)$$

$$1 - \sum T_i / bk(k^2 - 1) \quad (2.a.3)$$

**Tabel 2.a.2** Data tabel L.1.a.1 sesudah diganti dengan peringkat-peringkat sebelum perhitungan statistik uji Friedman

Obyek	Metode Sampling				
	Square	OddHex	EvenHex	OddTetra	EvenTetra
Modul1	1	3	2	4	5
Segitiga	1	3,5	2	3,5	5
Modul2	1	4	3	2	5

$R_{SQR} = 3$      $R_{OH} = 10,5$      $R_{EH} = 7$      $R_{OT} = 9,5$      $R_{ET} = 15$

Dengan menggunakan persamaan L.2.a.1 diperoleh nilai  $X_r^2$  sebagai berikut:

$$X_r^2 = \frac{12}{3.5(5+1)} \cdot (3^2 + 10,5^2 + 7^2 + 9,5^2 + 15^2) - (3.3(5+1))$$

$$X_r^2 = \frac{12}{90} \cdot 483,5 - 54$$

$$X_r^2 = 10,47$$

Karena dijumpai dua angka yang sama, maka  $X_r^2$  harus dikoreksi menggunakan persamaan 2.a.2 dan 2.a.3, sehingga diperoleh nilai faktor koreksi sebesar 0,9833.

$$T_2 = 2^3 - 2 = 6$$

$$1 - \frac{6}{3.5(5^2 - 1)} = 0,9833$$



Nilai  $X_r^2$  yang telah dikoreksi akibat angka sama adalah

$$X_r^2 = \frac{10,47}{0,9833} = 10,64$$

**Keputusan:**

Dengan menggunakan tabel distribusi kai-kuadrat, diperoleh nilai  $X_r^2$  sebesar 10,64 dan nilai ini lebih kecil daripada 11,143 dengan nilai  $\alpha = 0,025$ .

Berdasarkan hipotesis yang diajukan disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima.

## LAMPIRAN 2.b Uji Analisis Varians Dua Arah Berdasarkan Peringkat Friedman

**Citra-citra hasil rekonstruksi dari sinogram-sinogram heksagonal dan tetragonal dibandingkan terhadap citra hasil rekonstruksi dari sinogram pola square.**

Tabel 2.b.1 Nilai-nilai *rmsd* dari ketiga obyek sintetik

Obyek	Metode Sampling			
	OddHex	EvenHex	OddTetra	EvenTetra
<b>Modul1</b>	1,134	1,310	1,729	1,849
<b>Segitiga</b>	0,243	0,238	0,304	0,301
<b>Modul2</b>	0,435	0,422	0,518	0,567

Hipotesis

$H_0$ : Keempat metode sampling memberikan hasil-hasil yang identik

$H_1$ : Sekurang-kurangnya salah satu metode cenderung memberikan nilai-nilai yang lebih besar daripada sekurang-kurangnya salah satu metode yang lain.

Dari data diatas digunakan  $b = 3$  dan  $k = 4$

**Tabel 2.b.2** Data tabel 2.b.1 sesudah diganti dengan peringkat-peringkat sebelum perhitungan statistik uji Friedman

Obyek	Metode Sampling			
	OddHex	EvenHex	OddTetra	EvenTetra
Modul1	1	2	3	4
Segitiga	2	1	4	3
Modul2	2	1	3	4
	$R_{OH} = 5$	$R_{EH} = 4$	$R_{OT} = 10$	$R_{ET} = 10$

Dari data diatas diperoleh  $b = 3$ ;  $k = 4$

Dengan menggunakan persamaan 2.a.1 diperoleh nilai  $X_r^2$  sebagai berikut:

$$X_r^2 = \frac{12}{3.4(4+1)} \cdot (5^2 + 4^2 + 10^2 + 10^2) - (3.3(4+1))$$

$$X_r^2 = \frac{12}{60} \cdot 241 - 45$$

$$X_r^2 = 3,2$$

**Keputusan:**

Dengan menggunakan tabel distribusi eksak  $X_r^2$  untuk tabel-tabel dengan dua hingga sembilan kumpulan tiga buah peringkat diperoleh nilai  $X_r^2$  sebesar 3,2 dan nilai ini lebih kecil daripada 3,4 dengan nilai  $\alpha = p = 0,446$ . Berdasarkan hipotesis yang diajukan disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima