

## **Pengembangan Sistem Tomografi Komputer Translasi-Rotasi dengan Sampling yang Efisien dan Metode Rekonstruksinya**

### ***Development System and Reconstruction Method of Translation-Rotation Computed Tomography Using Efficient Sampling***

Nuril Ukhrowiyah & Khusnul Ain  
Departemen Fisika, FSainTek, Universitas Airlangga Surabaya

#### **ABSTRACT**

Translation-rotation computed tomography system has been successfully built on this research. The system can be used for the scanning process with sampling method square and hexagonal. It also has been obtained interpolation and reconstruction methods are able to produce reconstruction images fast and accurate. Translation-rotation computed tomography system was built by assembling several instruments that have been made and have existed in the laboratory. Performance of the system was tested by scanning test object. Scanning process has been conducted with the circular test object from metal. Scanning process carried out by performing various of three resolutions, i.e. 31 pixels  $\times$  31 pixels, 63 pixels  $\times$  63 pixels and 127 pixels  $\times$  127 pixels. The sinogram data are square and hexagonal patterns. The sinograms are reconstructed by SCFBP (Summation Convolution Filtered Back Projection) and ART (Algebraic Reconstruction Technique) reconstruction method. Hexagonal sinogram pattern has been interpolated by vertical, horizontal and cross interpolation before reconstructed by ART and SCFBP reconstruction method. Reconstruction image of hexagonal pattern were analyzed by comparing the line profile and its rmsd value of the reconstruction image of square pattern. Performance of the constructed system in the research produced reconstruction image appropriated with objects test. The best interpolation for hexagonal sinogram pattern is cross interpolation. The ART methods produced image reconstruction better than SCFBP reconstruction methods.

Keyword : Computer tomography, efficient sampling, hexagonal patterns, square pattern

---

#### **PENDAHULUAN**

Tomografi komputer merupakan suatu teknik pencitraan yang memungkinkan struktur internal obyek dapat dicitrakan tanpa merusak atau membelah obyek secara fisik. Dengan tomografi komputer dapat dihasilkan citra (*image*) tampang lintang obyek tanpa harus memotong obyek tersebut, sehingga nilai besaran fisika dan distribusinya dalam ruang dapat diidentifikasi. Citra yang dihasilkan dengan teknik tomografi tidak mengandung informasi yang tumpang tindih pada arah lintasan sumber dan detektor sebagaimana yang terjadi pada teknik radiografi, sehingga citra struktur internal obyek dapat digambarkan secara lebih jelas, baik posisi maupun karakteristiknya. Teknologi ini telah digunakan di berbagai bidang, diantaranya untuk keperluan komersial (Suparta 2001, Suparta *et al.* 2002), penunjang unit Quality Control pada suatu proses produksi (Yulianti 2002) dan aplikasi medis (Sukisno 2002).

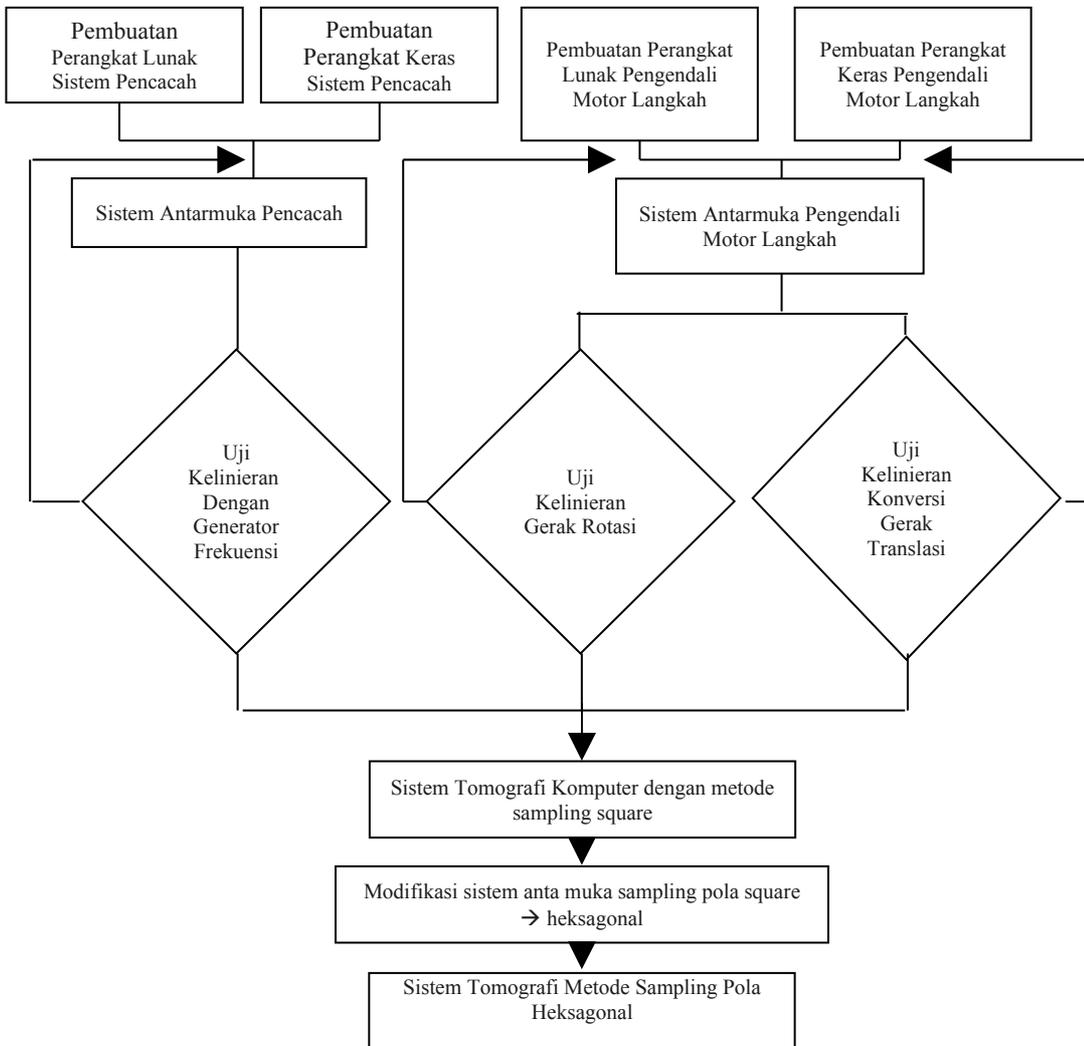
Grup Riset Fisika Citra FMIPA UGM telah berhasil mengembangkan sistem tomografi komputer translasi-rotasi. Pada sistem ini, sumber radiasi dan detektor digerakkan secara translasi dan rotasi, serta pengambilan datanya menggunakan metode sampling pola square. Dengan metode sampling ini, pengambilan data memerlukan waktu lama, dalam beberapa kasus dapat mencapai 35,5 jam (Sukisno 2002, Yulianti 2002).

Lamanya waktu pengambilan data dengan metode sampling pola square dapat dikurangi dengan memperbaiki metode sampling yang digunakan, yaitu dengan metode sampling pola heksagonal (Ukhrowiyah 2002). Metode sampling pola heksagonal membutuhkan jumlah data hanya separuh dari jumlah data yang diperlukan, namun kualitas citra yang dihasilkan relatif sama. Pemakaian jumlah data yang lebih sedikit dapat mengurangi waktu pengambilan data, yang berakibat pada pengurangan memori penyimpanan data, dosis radiasi yang diterima obyek, dan biaya operasional.

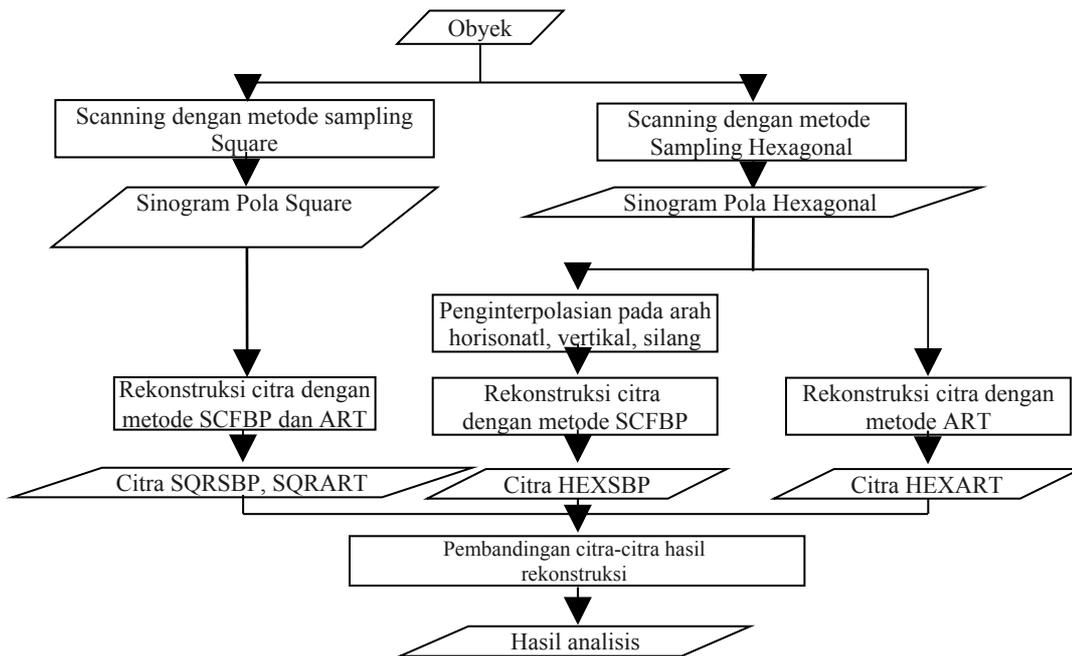
Penelitian ini membangun sistem tomografi komputer translasi rotasi yang pengambilan datanya menggunakan metode sampling pola heksagonal. Data yang diperoleh kemudian direkonstruksi untuk menghasilkan citra. Metode rekonstruksi yang umum digunakan adalah *Summation Convolution Filtered Back Projection* (SCFBP). Data yang dapat direkonstruksi dengan metode ini adalah data dengan pola square dari pengambilan data dengan metode sampling pola square. Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah data dengan pola heksagonal yang jumlah datanya hanya separuh dari jumlah data pada metode sampling pola square. Data dengan pola square didapatkan dari data pola heksagonal maka dilakukan interpolasi pada data dengan pola

heksagonal. Penelitian ini menggunakan interpolasi horisontal, linier dan silang untuk mendapatkan cara interpolasi yang tepat. Disamping itu pada penelitian juga dikembangkan metode rekonstruksi *Algebraic Reconstruction Technique* (ART). Citra hasil rekonstruksi dengan metode ART dan FBP dibandingkan untuk mendapatkan metode rekonstruksi yang tepat dan akurat.

Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah terbangunnya sistem tomografi komputer translasi rotasi sederhana, namun waktu pengambilan data cepat serta metode rekonstruksi cepat dan akurat dengan memanfaatkan peralatan di laboratorium Fisika Radiasi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.



Gambar 1. Diagram alir rancang bangun sistem tomografi komputer translasi-rotasi.



Gambar 2. Diagram alir pengujian kinerja sistem tomografi komputer translasi-rotasi

### METODE

#### Alat penelitian dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Detektor NaI (TI), HV (*High Voltage*), SCA (*Single Channel Analyzer*), Pencacah, *Digital Counter Leybold*, Generator Frekuensi, Unit panggung obyek translasi rotasi, Kolimator, Sumber radiasi <sup>137</sup>Cs (333 kBq), Satu unit PC MMX 233 dengan RAM 32 MB, dan Motor Langkah.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah obyek uji berbentuk lingkaran dengan tiga lubang di dalamnya. Bahan tersebut terbuat dari bahan bahan kuningan. Sedang kolimator yang digunakan berdiameter lubang 5 mm dari bahan timbal.

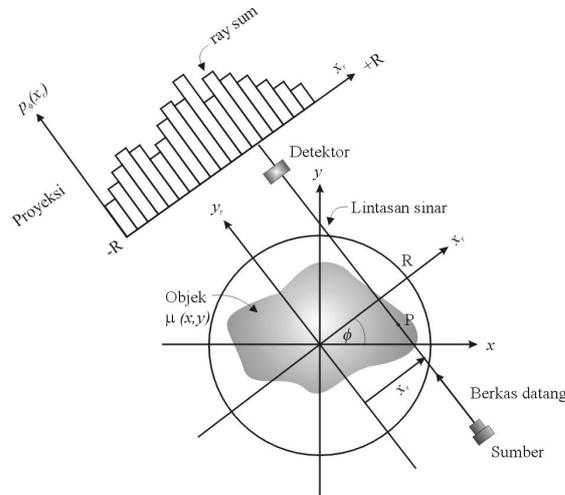
#### Prosedur penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu rancang bangun sistem tomografi komputer translasi-rotasi dan pengujian kinerja sistem tersebut. Prosedur penelitian untuk rancang bangun sistem tomografi komputer translasi-rotasi ditampilkan pada Gambar 1, sedang pengujian kinerja sistem ditampilkan pada Gambar 2. Penelitian dimulai dengan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak sistem pencacah, kemudian dibuat juga perangkat keras pengendali motor langkah beserta perangkat lunaknya yang menghasilkan sistem pengendali motor langkah. Baik sistem pencacah maupun sistem pengendali motor langkah harus diuji

linieritasnya. Sistem antarmuka pencacah diuji menggunakan generator frekuensi, dengan keluaran generator frekuensi dihubungkan secara paralel dengan sistem pencacah referensi sebagai acuannya. Sistem antarmuka pengendali motor langkah diuji linieritasnya dengan cara memberikan kombinasi input biner.

Apabila hasil uji menunjukkan linier maka sistem pencacah, sistem pengendali motor langkah, sumber radiasi, amplifier dan SCA dirakit menjadi satu kesatuan sehingga dihasilkan sistem tomografi komputer. Pada tahap ini sistem yang terbangun adalah sistem tomografi komputer translasi rotasi dengan metode sampling pola square. Sistem tomografi komputer translasi rotasi dengan metode sampling pola square kemudian dimodifikasi sistem antar muka pengendali motor langkahnya sehingga dihasilkan sistem tomografi komputer translasi rotasi dengan metode sampling pola heksagonal.

Prinsip kerja sistem tomografi komputer translasi rotasi secara skematis ditunjukkan pada Gambar 3. Pada posisi sejajar sumbu y, sumber radiasi dan detektor bersama-sama bergerak translasi sepanjang sumbu x, yaitu dari -R hingga +R. Sepanjang gerak translasi, pengambilan data dilakukan dengan lebar langkah  $\Delta x$ . Intensitas yang ditangkap detektor pada setiap kedudukan sumber-detektor disebut raysum. Kumpulan raysum sepanjang gerak translasinya disebut data proyeksi. Setiap selesai satu gerak translasi, posisi sumber-detektor diputar terhadap sumbu koordinat x-y, dengan langkah rotasi  $\Delta \phi$  dari kedudukan sudut 0 hingga  $\pi$ .



Gambar 3. Prinsip kerja sistem tomografi komputer translasi-rotasi (Wells 1994).

Penyinaran tunggal dari suatu obyek pada langkah translasi  $x_r$ , untuk kedudukan rotasi  $\phi$  menghasilkan *ray-sum* yang diberi notasi  $P_\phi(x_r)$ . Apabila intensitas radiasi yang dikenakan pada obyek adalah  $I_0$ , maka intensitas tersebut akan mengalami pelemahan secara eksponensial setelah melewati lintasan  $L_\phi(x_r)$ . Intensitas radiasi yang ditangkap detektor adalah  $I_L$ , maka intensitas setelah melewati obyek dituliskan dalam bentuk persamaan

$$I_L = I_0 \exp\left(- \int_{L_\phi(x_r)} \mu(x, y) ds\right) \quad (1)$$

dengan  $\mu(x, y)$  menyatakan nilai koefisien pelemahan linier bahan pada koordinat  $x$ - $y$ . *Ray-sum* pada sudut pandang  $\phi$  untuk kedudukan  $x_r$  didefinisikan sebagai

$$P_\phi(x_r) = \ln(I_0/I_L) = \int_{L_\phi(x_r)} \mu(x, y) ds \quad (2)$$

Pengujian kinerja sistem tomografi komputer translasi rotasi yang telah terbangun dilakukan dengan cara sistem ini digunakan untuk memayir obyek uji dan menganalisis citra yang dihasilkan. Obyek uji berupa obyek lingkaran berlubang berdiameter 20 mm yang di dalamnya terdapat tiga lubang dengan ukuran diameter masing-masing 8 mm, 5 mm dan 3 mm. Obyek uji discan dengan metode sampling square dan heksagonal. Hasil proses scanning ini berupa data sinogram pola square dan heksagonal. Sinogram-sinogram tersebut direkonstruksi dengan metode SFBP dan ART. Sebelum direkonstruksi dengan metode SFBP, sinogram pola heksagonal diinterpolasi dengan cara interpolasi vertikal, horizontal dan silang.

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

dilaksanakan sebelumnya (Suparta, *et al.*, 2000). Secara analitis proses SCFBP dapat ditulis sebagai

$$\mu(x, y) = \int_0^\pi p'(\phi, x_r) d\phi \quad (3)$$

$$p'(x_r, \phi) = \int_{-\infty}^\infty p(x'_r, \phi) h(x_f - x'_f) dx'_f = p(x'_r, \phi) * h(x_f - x'_f) \quad (4)$$

Fungsi  $h(x_i)$  merupakan fungsi pengkonvolusi.

Metode rekonstruksi ART yang digunakan untuk menyelesaikan data sinogram berpola heksagonal adalah metode iteratif (Ukhrowiyah & Ain 2004). Metode iteratif ini pertama kali diusulkan oleh Kaczmarz (Kack 1999). Pada tahun 1973 Herman, Lent dan Rowland menurunkan persamaan tersebut yaitu:

$$\mu_j^{(k+1)} = \mu_j^{(k)} + \frac{p_i - q_i}{\sum_{j=1}^N w_{ij}^2} w_{ij} \quad (5)$$

dengan  $q_i$  didefinisikan sebagai,

$$q_i = \sum_{j=1}^N \mu_j^{(k)} w_{ij} \quad (6)$$

Pada tahun 1973 Sweeney dan Vest menemukan bahwa untuk mempercepat konvergensi, perlu ditambahkan faktor damping pada metode ART, sehingga persamaan (5) menjadi,

$$\mu_j^{(k+1)} = \mu_j^{(k)} + \gamma \frac{p_i - q_i}{\sum_{j=1}^N w_{ij}^2} w_{ij} \quad (7)$$

Faktor damping  $\gamma$  memiliki nilai malar antara 0 hingga 1. Penghentian proses iterasi, digunakan

discrepancy yang merupakan nilai beda antara raysum terukur dan raysum semu yang dapat dinyatakan dengan

$$D = \sqrt{\frac{1}{M^2} \sum_{j=1}^M (p_j - q_j)^2} \quad (8)$$

Analisis hasil dilakukan dengan cara membandingkan citra-citra hasil rekonsruksi. Perbandingan citra-citra hasil rekonstruksi tersebut dilakukan secara visual dan numerik. Perbandingan secara visual dilakukan dengan melihat profil garis horisontal dari citra tersebut secara langsung. Sedang perbandingan secara numerik dilakukan dengan menghitung *root mean square difference* (rmsd). Perumusan rmsd secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$rmsd = \frac{1}{\mu_{max}} \left[ \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (\mu_{cit}[i, j] - \mu_{ref}[i, j])^2}{N'}} \right] \times 100\% \quad (9)$$

dengan  $\mu_{cit}[i, j]$  adalah pixel citra pada koordinat  $[i, j]$ ,  $\mu_{ref}[i, j]$  adalah obyek referensi pada koordinat  $[i, j]$  dan koordinat dibatasi sampai  $N'$  pixel yang terletak didalam obyek atau lingkaran citra (Herman 1980, Suparta 1999). Proses perbandingan citra-citra hasil rekonstruksi ini menggunakan program Image Comparator (Nugroho 2002).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Rancang bangun sistem antarmuka pencacah

Sistem antarmuka pencacah dalam penelitian ini digunakan untuk mencacah pulsa keluaran SCA. Sistem antarmuka pencacah ini terdiri dari dua bagian yaitu sistem pencacah dan sistem antarmuka PC. Pembuatan sistem pencacah diawali dengan membuat rancangan sistem pencacah. Sistem pencacah terdiri dari dua buah IC CD4040 12 bit yang dirangkai.

Hasil rangkaian dua buah IC tersebut adalah sistem pencacah 20 bit, yang kemudian dirangkai dengan sistem antarmuka PC. Sistem antarmuka PC yang digunakan adalah PPI 8255 yang dilengkapi dengan adres dekoder 74LS688.

Sistem antarmuka pencacah yang telah dibuat diuji linearitasnya terhadap sistem pencacah *Leybold*. Mekanisme uji linieritas pencacah adalah dengan memberi masukan *clock* frekuensi yang sama dari generator

frekuensi dalam selang dan waktu yang sama dalam rentang frekuensi 50 Hz sampai 100 kHz. Hasil cacahan dari masing-masing pencacah otomatis yang telah dibuat dan digital counter *Leybold* sebagai referensi dicatat. Linieritas counter ini melukiskan linieritas jumlah partikel radiasi yang nantinya akan tercacah oleh SCA.

Gambar 4 adalah hasil perbandingan nilai cacahan sistem antar muka terhadap sistem pencacah standard *Leybold*. Terlihat hasilnya cukup linier sehingga dapat digunakan sebagai pencacah dalam sistem tomografi komputer.

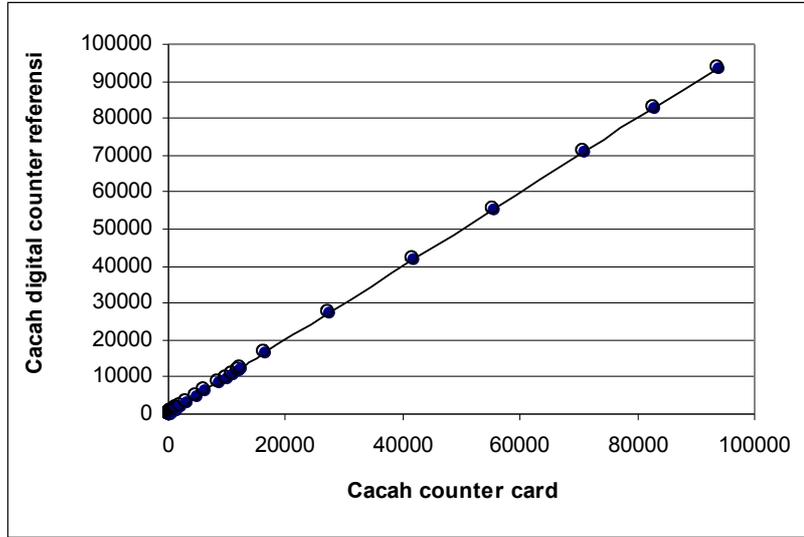
### Rancang bangun sistem pengendali motor langkah

Sistem pengendali motor langkah ini digunakan untuk menggerakkan meja pemayar secara translasi dan rotasi. Rangkaian pengendali motor langkah terdiri dari rangkaian *Darlington*. Agar lebih efisien dalam penelitian ini digunakan IC ULN 2803, yang memuat 8 buah rangkaian *Darlington*. Supply tegangan 15 volt dc diberikan pada IC ULN 2803. Input pengendali motor langkah dihubungkan komputer melalui port printer (LPT1) dengan alamat 378H.

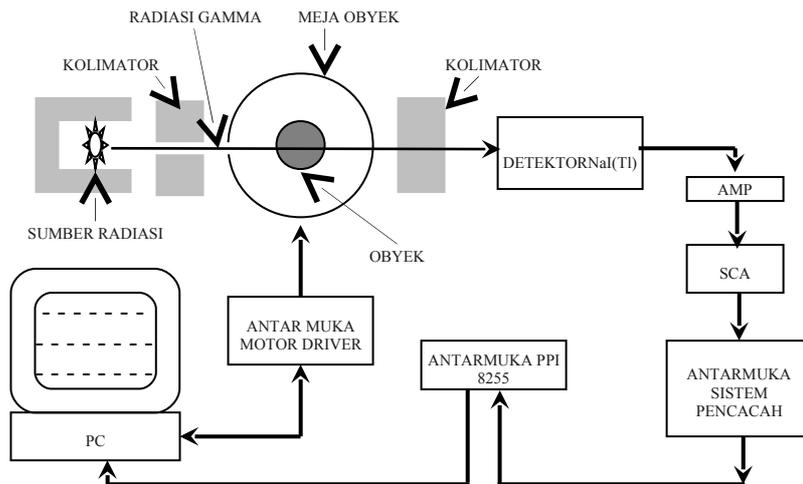
Pengujian sistem antarmuka pengendali motor langkah dilakukan dengan cara memberikan kombinasi input biner yang dikendalikan oleh komputer pada sistem antarmuka pengendali motor langkah hingga berputar 360 derajat. Untuk metode full step didapatkan gerakan tiap langkah sebesar 1,8 derajat. Sedangkan dengan menggunakan metode half step didapatkan gerakan tiap langkah sebesar 0,9 derajat.

Sistem pengendali motor langkah digunakan untuk menggerakkan meja pemayar secara translasi dan rotasi. Untuk itu dilakukan uji linieritas gerak rotasi motor langkah terhadap gerak rotasi meja obyek, serta linearitas hasil konversi gerak rotasi ke gerak translasi dari motor langkah terhadap gerak tranlasi meja obyek, dan uji kesesuaian gerak motor langkah terhadap urutan langkah pemayaran yang dikehendaki.

Pengujian ini dilakukan secara berulang-ulang dengan cara menggerakkan motor langkah untuk memastikan pengujian tersebut benar-benar akurat. Hasil pengujian langkah translasi yang dilakukan, yaitu tiap 200 kali kombinasi input dihasilkan langkah translasi sebesar 1 mm.



Gambar 4. Plot grafik data pengamatan uji linieritas counter card.



Gambar 5. Sistem tomografi komputer yang telah dibangun.

Hasil pengujian langkah rotasi yaitu tiap 200 kali kombinasi input dihasilkan rotasi sebesar 7,2 derajat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem antarmuka pengendali motor langkah cukup linier serta stabil sehingga dapat digunakan dalam sistem tomografi komputer translasi – rotasi.

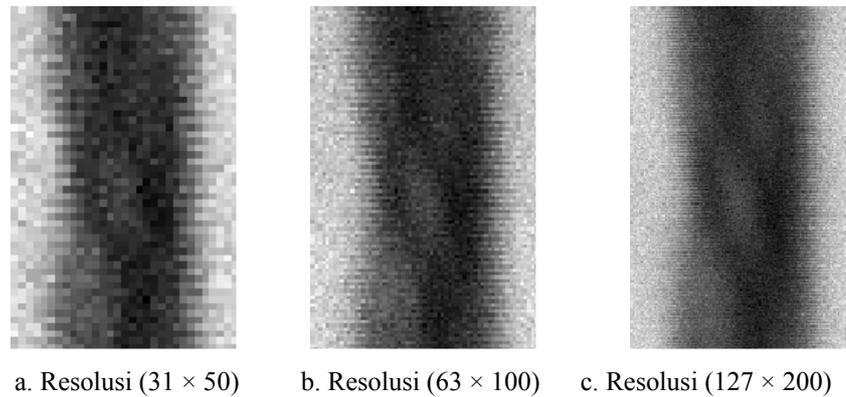
**Rancang bangun sistem tomografi komputer translasi – rotasi**

Sistem tomografi komputer translasi – rotasi dibangun dengan merangkai meja pemayar,

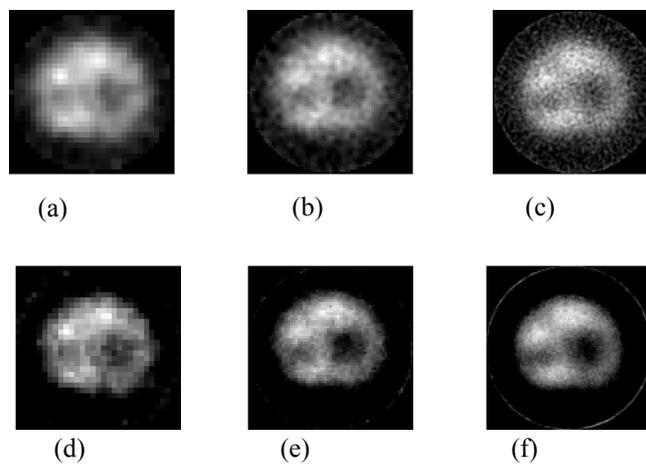
pengendali motor langkah, sistem antarmuka pencacah dan perangkat lunak pengendali sistem tomografi komputer. Sistem tomografi komputer yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 5.

**Hasil proses scanning (pemayaran)**

Proses pemayaran dilakukan terhadap obyek lingkaran berlubang berdiameter 20 mm yang di dalamnya terdapat tiga lubang dengan ukuran diameter masing-masing 8 mm, 5 mm dan 3 mm.



Gambar 6. Sinogram hasil proses pemayaran dengan pola square.



Gambar 7. Citra rekonstruksi dari sinogram obyek uji lingkaran dengan tiga lubang dari bahan kuningan dengan metode SCFBP dan ART.

Pemayaran dilakukan dengan menggunakan metode sampling pola square maupun heksagonal, tiga macam variasi resolusi sampling, yaitu resolusi rendah (31 piksel × 31 piksel), menengah (63 piksel × 63 piksel) dan tinggi (127 piksel × 127 piksel). Waktu yang dibutuhkan agar diperoleh data lengkap pada resolusi rendah adalah sekitar 2 jam, resolusi menengah sekitar 8 jam dan resolusi tinggi sekitar 32 jam.

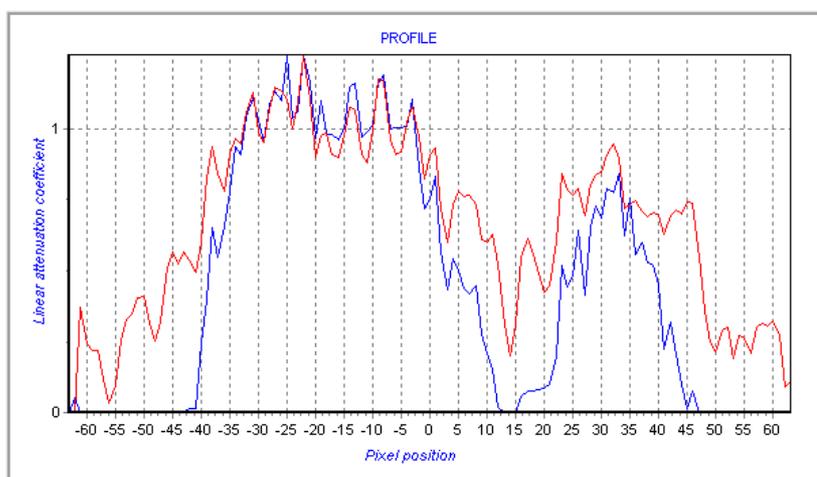
Proses sampling tersebut menghasilkan data sinogram pada Gambar 6. Perekonstruksian data eksperimen dengan aktivitas yang sangat rendah, filter Hamming dipilih dalam metode SCFBP. Tebakan awal yang tepat dilakukan pada metode iterasi ART.

Gambar 7 (a,b,c) menunjukkan citra rekonstruksi dengan metode SCFBP. Pada gambar tersebut terlihat bahwa secara visual

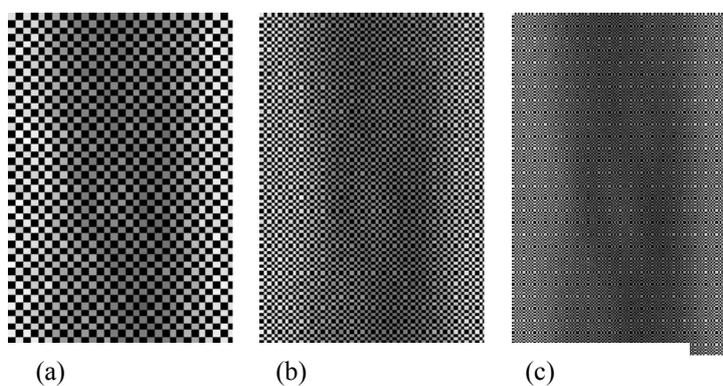
telah dihasilkan citra rekonstruksi dengan bentuk obyek seperti aslinya yaitu lingkaran dengan tiga lubang di dalamnya. Gambar 7 (d,e,f) memperlihatkan citra rekonstruksi dengan metode iterasi ART. Proses iterasi dihentikan dengan persamaan 8, yang secara teoritis akan diperoleh  $D = 0$ . Namun untuk data yang terpengaruh noise akibat fluktuatif radiasi, besarnya discrepancy ( $D$ ) dapat didekati dengan ralat akibat fluktuatif intensitas radiasi yang dituliskan dalam persamaan 10.

$$D \geq \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{\partial p}{\partial I} \sigma_I = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{1}{\sqrt{I}} \quad (10)$$

Dengan demikian persamaan (10) digunakan sebagai nilai penghenti proses iterasi dalam penelitian ini.



Gambar 8. Profil garis citra rekonstruksi lingkaran berlubang dengan metode SCFBP dan ART.



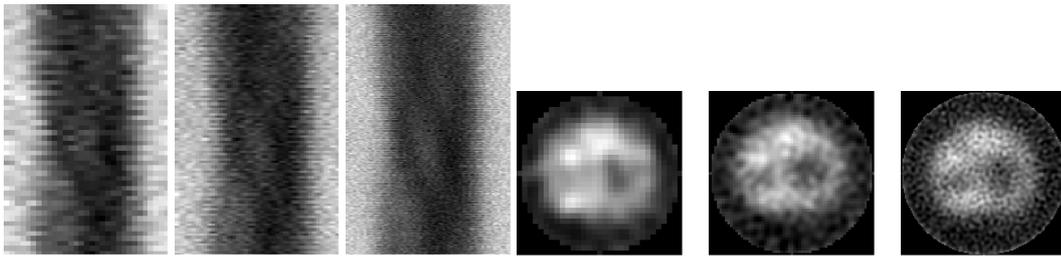
Gambar 9. Sinogram data heksagonal dari obyek uji lingkaran memiliki tiga lubang dari bahan kuningan (d) resolusi rendah (e) resolusi menengah (f) resolusi tinggi.

Secara visual tampak bahwa citra rekonstruksi dengan metode ART lebih mampu meredam noise jika dibandingkan dengan metode SCFBP. Metode ART juga dapat menghasilkan citra rekonstruksi yang lebih kontras jika dibandingkan dengan metode SCFBP yang terlihat pada tampilan profil garis pada Gambar 8, sehingga metode ART mampu menampilkan batas luar obyek dengan ukuran relatif sama dengan obyek sesungguhnya. Pada obyek lingkaran dihasilkan 80 piksel yang berarti sama dengan  $80 \times 0,25$  mm, yang sangat sesuai dengan ukuran diameter luarnya. Dari profil garis pada gambar 10 juga terlihat bahwa metode rekonstruksi ART lebih mampu membersihkan noise di luar obyek yang direkonstruksi.

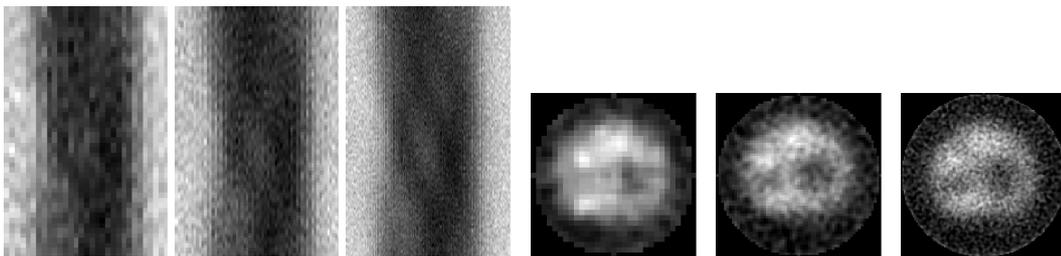
Sistem tomografi komputer translasi-rotasi dengan metode sampling heksagonal, dapat

diperoleh dengan cara melakukan modifikasi perangkat lunak sistem tomografi komputer translasi-rotasi dengan metode sampling square sehingga menjadi perangkat lunak Sistem tomografi komputer translasi-rotasi dengan metode sampling heksagonal. Perangkat lunak sistem tomografi dengan sampling heksagonal yang telah dibuat kemudian digunakan untuk melakukan proses pemayaran sehingga diperoleh data sinogram berpola heksagonal, yang ditampilkan pada Gambar 9.

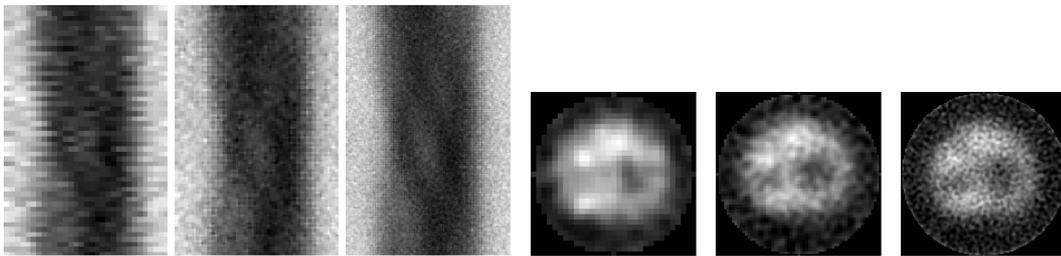
Perekonstruksian data sinogram berpola heksagonal dengan metode SCFBP, maka harus dilakukan interpolasi data terlebih dahulu. Interpolasi data dapat dilakukan dalam arah vertikal, horisontal atau silang. Hasil interpolasi beserta citra rekonstruksinya ditampilkan pada Gambar 10, 11, dan 12.



Gambar 10. Sinogram data intensitas dari interpolasi horizontal obyek uji lingkaran berlubang dari bahan kuningan beserta masing-masing citra rekonstruksinya dengan metode SCFBP.



Gambar 11. Sinogram data intensitas dari interpolasi vertikal obyek uji lingkaran berlubang dari bahan kuningan beserta masing-masing citra rekonstruksinya dengan metode SCFBP.



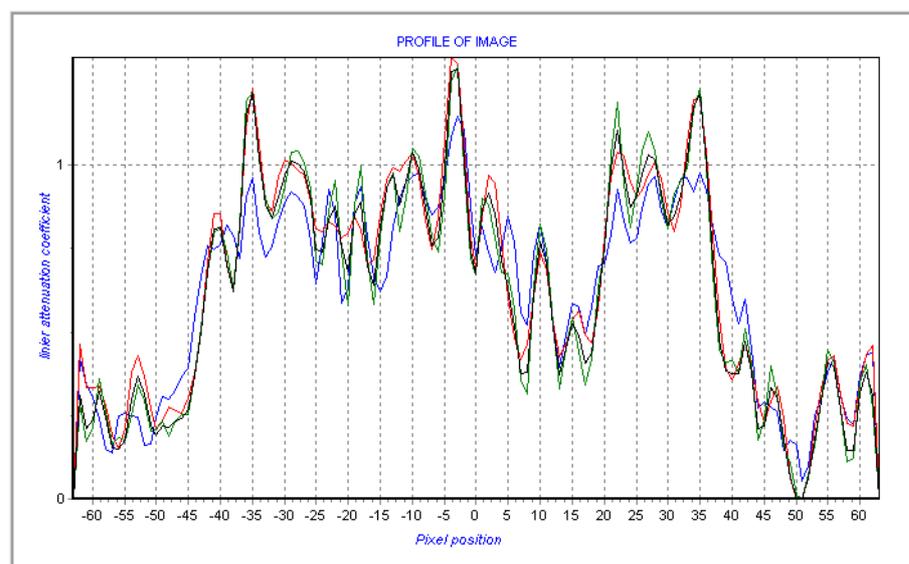
Gambar 12. Sinogram data intensitas dari interpolasi silang obyek uji lingkaran berlubang dari bahan kuningan beserta masing-masing citra rekonstruksinya dengan metode SCFBP.

Penentuan metode interpolasi yang paling akurat, dilakukan dengan seluruh citra rekonstruksi dihitung nilai rmsdnya dengan referensi citra rekonstruksi dari data square yang ditampilkan dalam Tabel 1, di mana menunjukkan bahwa nilai rmsd yang paling

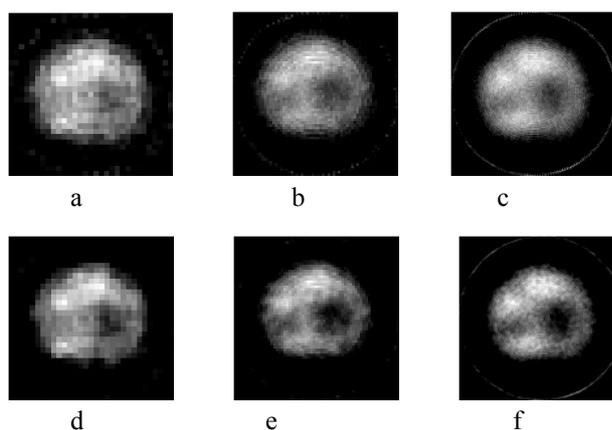
kecil selalu dimiliki oleh interpolasi silang. Hal itu menunjukkan bahwa dalam eksperimen ini metode interpolasi silang lebih baik jika dibandingkan dengan metode interpolasi vertikal yang telah diperoleh secara simulasi (Ukhrowiyah & Ain 2004).

Tabel 1. Nilai rmsd citra rekonstruksi dari tiga macam jenis interpolasi pada data sinogram berpola heksagonal terhadap citra referensi.

Obyek	Resolusi	Nilai rmsd (%)		
		Horisontal	Vertikal	Silang
Lingkaran berlubang	Rendah	3,268	3,539	3,078
	Menengah	4,544	4,359	4,047
	Tinggi	6,421	6,247	5,881



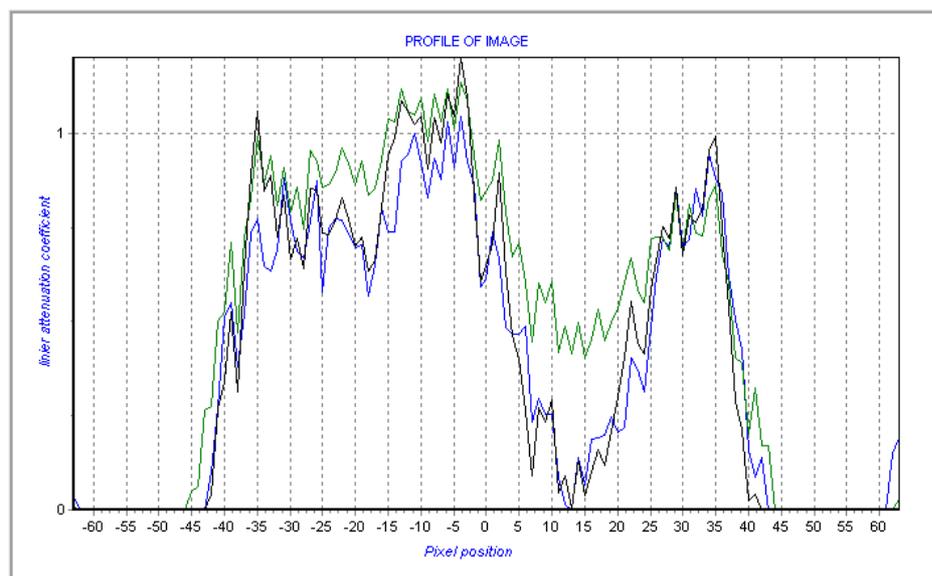
Gambar 13. Profil garis citra rekonstruksi obyek lingkaran berlubang dengan variasi interpolasi



Gambar 14. Citra rekonstruksi dengan metode ART dari sinogram pola heksagonal langsung dan yang telah diinterpolasi terlebih dahulu.

Tabel 2. Nilai rmsd citra rekonstruksi dari data berpola heksagonal langsung dan telah diinterpolasi yang direkonstruksi dengan metode ART.

Obyek	Resolusi	Nilai rmsd (%) dari data pola Hexagonal dengan metode ART	
		Tanpa interpolasi	Dengan interpolasi silang
Lingkaran berlubang	Rendah	6,596	4,644
	Menengah	5,945	4,133
	Tinggi	5,795	3,767



Gambar 15. Profil garis citra rekonstruksi benda uji lingkaran berlubang dengan metode ART pada data sonogram pola square, heksagonal dan heksagonal yang diinterpolasi.

Secara visual terlihat bahwa Gambar 14 (d), (e) dan (f) relatif lebih baik jika dibandingkan dengan Gambar 14 (a), (b) dan (c). Secara numerik juga terlihat pada Tabel 1, bahwa nilai rmsd citra rekonstruksi dari data interpolasi lebih kecil jika dibandingkan terhadap citra rekonstruksi dari data yang tanpa interpolasi. Profil garis citra rekonstruksi pada Gambar 15 juga memperlihatkan bahwa data heksagonal yang telah diinterpolasi menghasilkan citra rekonstruksi lebih baik jika dibandingkan dengan citra rekonstruksi langsung dari data heksagonal.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan yaitu dengan menggunakan peralatan laboratorium dan membuat pengendali motor langkah dan pencacah, berhasil dibangun sistem tomografi komputer translasi-rotasi dengan sampling data berpola square maupun sampling data berpola heksagonal. Jenis interpolasi yang paling baik dalam menangani data sinogram berpola heksagonal yang dihasilkan dari data bernois tinggi, adalah interpolasi silang. Perlakuan modifikasi tebakan citra awal metode

rekonstruksi ART mampu menghasilkan citra rekonstruksi tahan noise yang diakibatkan oleh rendahnya aktivitas sumber radiasi yang digunakan baik data berpola square maupun data berpola heksagonal.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ain K & Ukhrowiyah N. 2004. *Algebraic Iteration As Accurate Reconstruction Methods Computer Tomography System by Weight Value Alteration 'Cloud in Cell' Model*. Proceedings The first Jogja Regional Physics Conference, Yogyakarta.
- Kack AC & Slaney M. 1999. *Principles Computerized Tomographic Imaging*, IEEE Press, New York.
- Sukisno M. 2002. *Pengaruh Konsentrasi Media Kontras terhadap Unjuk Kerja Sistem Tomografi Komputer*. Tesis S-2. Universitas Gadjah Mada.
- Suparta GB, Nugroho W, Swakarma K & Yulianti D. 2002. *Tomography Technique for False Product Inspection*, The 3<sup>rd</sup> National Seminar of Indonesian Association on Nondestructive Testing (AUTRI). Jakarta.
- Suparta GB. 1999. *Focussing Computed Tomography Scanner*. PhD Thesis. Monash University. Victoria. Australia.

- Suparta GB. 2000. *Perangkat Tomografi Komputer untuk Laboratorium*, Laporan Penelitian, DIKS-UGM, Universitas Gadjah Mada.
- Suparta GB. 2001. *Pengembangan Layanan Komersial Uji Nirusak Menggunakan Tomografi Komputer di Jurusan Fisika FMIPA UGM*. Laporan, Program SEMI-QUE III, P2MPT Dirjen DIKTI, Depdiknas.
- Suparta GB, Kusminarto & W Nugroho. 2000, *Tomografi Komputer untuk Laboratorium*, Prosiding Simposium Fisika Nasional XVIII. Himpunan Fisika Indonesia. Serpong.
- Ukhrowiyah N & K Ain. 2004 *Metode Rekonstruksi Iterasi Aljabar Untuk Data Pola Heksagonal Pada Sistem Tomografi Komputer*. Laporan Penelitian Dosen Muda, Lembaga Penelitian Universitas Airlangga, Surabaya.
- Ukhrowiyah N. 2002. *Kajian Tentang Metode Sampling Pada Sistem Tomografi Komputer Translasi-Rotasi*, Tesis S-2. FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Wells P, J Davis & M Morgan. 1994. Computed Tomography. *Material Forum*. **18**:111-113.
- Yulianti D. 2002. *Metode Pemetaan Kerapatan Bahan Cair dengan Tomografi Komputer*. Tesis S-2. Universitas Gadjah Mada.