

PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK REKONSTRUKSI CITRA 3 DIMENSI DARI LEMBARAN CITRA HASIL REKONSTRUKSI 2 DIMENSI

Mohamad Amin, Fitri S, Wahyuni ZI, dan Demon H.
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir - BATAN
Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang Selatan 15310
amin123@batan.go.id

ABSTRAK

PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK REKONSTRUKSI CITRA 3 DIMENSI DARI LEMBARAN CITRA HASIL REKONSTRUKSI 2 DIMENSI. Perancangan perangkat lunak rekonstruksi citra 3 dimensi (3D) dari lembaran-lembaran citra hasil rekonstruksi 2 dimensi (2D) adalah suatu bagian perancangan perangkat lunak untuk memvisualisasi citra hasil radiografi sinar x pada laboratorium Non Destructive Evaluation yang sedang dikembangkan di PRFN BATAN. Metode perancangan yang digunakan yaitu dengan menghitung nilai koefisien atenuasi linier per piksel dari masing-masing lembaran citra hasil rekonstruksi 2D. Kemudian koefisien atenuasi linier per piksel dari masing-masing lembaran tadi diurutkan berdasarkan nomor lembarannya dan dijumlahkan mengikuti sudut arah dari berkas sinar x. Nilai total dari masing-masing koefisien atenuasi linier tersebut selanjutnya ditransformasikan ke dalam bentuk citra 3D. Proses rekonstruksi dari citra 2D ke dalam bentuk citra 3D direpresentasikan dalam bentuk diagram alir. Hasil perancangan adalah suatu diagram alir yang menggambarkan aliran proses untuk mendapatkan citra hasil rekonstruksi 3D dari citra hasil rekonstruksi 2D.

Kata kunci: perancangan, rekonstruksi citra 3D, koefisien atenuasi linier, lembaran citra

ABSTRACT

DESIGNING 3D IMAGE RECONSTRUCTION SOFTWARE FROM THE SLICES OF 2D IMAGE RECONSTRUCTION. Designing 3 image reconstruction software from the slices of 2D reconstructed image is a part of software engineering to visualize an image resulted from x ray radiography in the Non Destructive Evaluation (NDE) laboratory that is being developed in PRFN BATAN. The design method used is by calculating the linier attenuation of each pixel of image from every 2D image slice. The linier attenuation coefficient of each pixel of each slice is ordered based on its slice number and then added by following the x ray direction angle. The total value of linier attenuation coefficient of pixels is then transformed into gray values of 3D image. The reconstruction process from 2D to 3D is presented in a flowchart. The design results are some flowcharts that describe the process flow to get 3D reconstruction image from 2D image.

Keywords: designing, 3D image reconstruction, linier attenuation coefficient, image slice.

1. PENDAHULUAN

Citra yang diperoleh dari hasil radiografi sinar x umumnya masih merupakan citra dasar berbentuk 2 dimensi (2D). Citra ini hanya memperlihatkan salah satu penampang sisi saja dari objek. Citra 2D seperti ini biasanya hanya dapat digunakan untuk mengamati adanya cacat dalam suatu objek. Dengan kata lain, citra 2D tersebut belum dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan bentuk geometri dari cacat objek. Oleh karena itu, dibutuhkan sekurang-kurangnya sebuah citra 2D lagi untuk menentukan lokasi cacat objek. Citra 2D tersebut harus bersilangan dengan citra 2D yang pertama. Sementara itu, untuk mendapatkan bentuk geometri dari cacat objek secara utuh, maka dibutuhkan suatu citra yang dapat menampilkan objek tersebut

dalam bentuk 3D. Citra tersebut adalah citra 3D, yaitu citra yang dapat menampilkan geometri objek dalam bentuk volume dalam koordinat ruang.

Untuk membentuk citra 3D, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mendapatkan citra 2D objek hasil proyeksi sinar x dari sejumlah sudut berbeda di sekeliling sisi-sisi objek. Ada dua teknik radiografi yang dapat digunakan untuk mendapatkan citra-citra 2D tersebut. Cara pertama adalah dengan memutar objek pada sumbu tegaknya dengan sudut putar tertentu sebelum melakukan proses radiografi. Cara ini dilakukan berulang-ulang sehingga sudut putar mencapai 180° atau 360° . Cara kedua adalah dengan memutar mesin sinar x dan panel pendeteksinya pada sudut tertentu sementara objek diletakkan di antara keduanya. Cara ini juga dilakukan berkali-kali hingga gerakan putar mesin sinar x dan panel pendeteksinya mencapai sudut 180° atau 360° .

Citra-citra 2D objek hasil proyeksi kemudian digunakan sebagai masukan dari algoritma rekonstruksi, seperti algoritma *Radon* [9], *Back Projection* [10], *Age braic Reconstruction Technique* [11] dan sejumlah variannya, untuk direkonstruksi menjadi lembaran-lembaran citra 2D dengan tampilan berupa sejumlah irisan penampang lintang objek. Citra-citra 2D hasil rekonstruksi ini memperbaiki ketepatan dalam penentuan lokasi cacat yang terdapat di dalam objek, tetapi citra-citra 2D tersebut belum dapat digunakan masuk menampilkan ukuran cacat secara langsung. Oleh karena itu, citra-citra 2D hasil rekonstruksi tersebut perlu diproses lebih lanjut untuk melihat volume cacat di dalam objek.

Untuk melihat volume cacat di dalam objek, citra-citra 2D hasil rekonstruksi disusun secara berurutan sedemikian rupa sehingga diperoleh citra dengan tampilan 3D. Dengan citra 3D, lokasi cacat objek, ukuran serta bentuk geometri cacat dari objek dapat ditentukan sekaligus.

Hingga saat ini telah banyak dijumpai perangkat lunak radiografi yang dapat menampilkan citra objek dalam bentuk 3D. Perangkat lunak-perangkat lunak tersebut antara lain, Benjamin Schmid [1], Mark Sutton[2], Sante [3], Matlab [4]. Namun demikian, perangkat lunak-perangkat lunak tersebut lebih diaplikasikan untuk tujuan medis. Sementara itu, beberapa perangkat lunak tomografi untuk industri yang dapat digunakan untuk menampilkan citra 3D dari suatu objek sudah tersedia, tetapi masih mahal dan umumnya dipasarkan bersama mesin radiographynya, seperti *Advantech Alliance* [5], *efXCT*[6], *3D Services* [7] dari *Avonix Imaging*, *XYLON CT* [8] dari *XYLON*, dan lain-lain.

Selain alasan normatif tersebut, perancangan perangkat lunak citra 3D dari suatu objek hasil radiografi berdasarkan beberapa alasan ilmiah, yaitu, beberapa makalah yang berhubungan dengan citra 3D dari suatu objek hasil radiografi hanya membahas cara menampilkan citra objek dalam bentuk 3D dengan meletakkan setiap citra secara berurutan. Makalah lain menampilkan citra 3D dari permukaan objek saja. Sementara makalah sisanya menampilkan objek 3D secara transparan tetapi tidak berhubungan dengan koefisien atenuasi linier sel-sel piksel dari objek hasil radiografi. Oleh karena itu, di dalam makalah ini, kami mengusulkan suatu cara menampilkan citra 3D secara transparan dengan cara mengecilkan nilai total koefisien atenuasi linier dari objek. Pengecilan nilai total koefisien atenuasi linier dilakukan dengan mengalikannya dengan suatu konstanta positif yang bernilai antara 0 dan 1. Hipotesis awal yang mendasari usulan ini adalah bahwa dengan mengalikan nilai total koefisien atenuasi linier tersebut dengan konstanta yang bernilai diantara 0 dan 1, sebagian intensitas sinar radiasi yang melewati sel-sel objek yang direpresentasikan sebagai piksel-piksel citra dari objek akan diserap dan sebagian lainnya akan dilewatkan.

2. DASAR TEORI

Landasan teori yang menjadi latar belakang perancangan perangkat lunak 3D

di atas berasal dari hukum Lambert-Beer yang direpresentasikan dalam bentuk persamaan matematika yang disederhanakan seperti berikut:

$$I_o = I_i e^{-\mu x} \quad (1)$$

Dimana : I_o = Intensitas cahaya awal
 I_i = Intensitas cahaya
 μ = koefisien atenuasi linier
 x = ketebalan benda

Menurut hukum Lambert-Beer, intensitas cahaya I_i akan meluruh menjadi I_o ketika cahaya tersebut melewati suatu medium berketebalan x dan berkoefisien atenuasi linier sebesar μ . Formula ini juga berlaku untuk sinar radiasi nuklir, seperti berkas sinar x, berkas sinar gamma, dan berkas neutron.

Intensitas cahaya dalam citra dinyatakan dalam tingkat keabuan (*gray level*). Nilai dari tingkat keabuan tersebut bermacam-macam, tergantung pada kemampuan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Ada perangkat keras dan lunak yang hanya memiliki kemampuan dalam pengolahan dan penyajian tingkat keabuan hingga 8 bit saja, tetapi ada juga yang dapat mengolah dan menampilkan tingkat keabuan hingga beberapa puluh bit.

Selanjutnya, jika intensitas sinar melewati sejumlah n medium non homogen berketebalan sama, misalkan x , maka nilai koefisien atenuasi linier (μ_m) dari media tersebut adalah

$$\mu_m = \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (2)$$

Dimana : n = jumlah medium non homogen (bilangan bulat mulai dari 1)

Dari Pers. (2) tersebut diketahui bahwa total nilai koefisien atenuasi linier media tergantung pada nilai koefisien atenuasi linier masing-masing medium penyusunnya.

Arah kedatangan sinar pada objek juga mempengaruhi penampilan citra dari suatu objek. Jika arah sinar datang tepat dalam keadaan sejajar dengan garis normal pada penampang lintang depan atau penampang lintang samping objek, maka objek pada citra hanya terlihat penampangnya saja. Objek pada citra akan terlihat dalam bentuk 3D, jika sudut datangnya sinar pada objek tidak membentuk garis sejajar dengan garis normal dari penampang lintang depan atau penampang lintang samping objek. Untuk menentukan arah kedatangan sinar pada objek, dalam makalah ini digunakan persamaan transformasi titik piksel terhadap arah sudut datang sinar dalam ruang 3D. Dengan kata lain, titik piksel diputar ke arah sudut tertentu di dalam ruang 3D. Representasi matematis dari persamaan transformasi piksel terhadap sudut tertentu dalam ruang 3D diformulasikan sebagai berikut,

$$P^s \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = P \left[\begin{bmatrix} x(\Phi) \\ y(\Phi) \\ z(\Phi) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x(\Psi) \\ y(\Psi) \\ z(\Psi) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x(\Omega) \\ y(\Omega) \\ z(\Omega) \end{bmatrix} \right] = P \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\Phi) & -\sin(\Phi) \\ 0 & \sin(\Phi) & \cos(\Phi) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(\Psi) & 0 & \sin(\Psi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\Psi) & 0 & \cos(\Psi) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(\Omega) & -\sin(\Omega) & 0 \\ \sin(\Omega) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3)$$

Pers. (3) menunjukkan bahwa nilai piksel $P(x,y,z)$ akan berpindah ke titik $P'(x',y',z')$ setelah diputar pada sumbu x, sumbu y, dan sumbu z masing-masing sejauh $\Phi^\circ, \Psi^\circ, \Omega^\circ$. Titik ini berhubungan pula dengan arah sinar yang digunakan dalam merekonstruksi citra 3D.

3. TATA KERJA

Tatakerja perancangan perangkat lunak rekonstruksi citra 3D dari lembaran citra hasil rekonstruksi 2D, terdiri dari langkah-langkah berikut:

- 1) Mentransformasi nilai keabuan pada piksel-piksel citra 2D ke dalam nilai koefisien atenuasi linier. Langkah kerja transformasi adalah sebagai berikut:
 - a. Lembaran-lembaran *file* citra 2D hasil tomografi pertama-tama disusun secara berurutan sesuai dengan urutan irisan penampang lintang objek.
 - b. Nama-nama *file* citra 2D yang telah diurut tersebut kemudian diberi nomor pada akhir nama file secara berurutan dimulai dari angka 1, kemudian 2, 3, dan seterusnya nomor urut bertambah 1 hingga *file* citra 2D yang terakhir.
 - c. Selanjutnya, *file-file* citra 2D tersebut dibaca secara berurutan, kemudian nilai dari tiap-tiap piksel pada tiap citra ditransformasi ke dalam bentuk nilai koefisien atenuasi linier. Tebal piksel diasumsikan sama dengan lebar piksel. Proses transformasi dilakukan dengan menggunakan bantuan Persamaan (1) dan (2).
 - d. *File-file* citra 2D hasil transformasi pada langkah 3 kemudian diletakkan secara berurutan di dalam suatu *array* 3D. Indeks pertama pada *array* tersebut menyatakan ukuran lebar citra, indeks kedua menyatakan tinggi ukuran citra, dan indeks ketiga menyatakan urutan letak citra 2D. Nilai-nilai dalam *array* kemudian disimpan dengan nama *file* yang sama yang diberi tambahan nomor urut pada setiap nama *file* sesuai indeks urutan letak citra 2D .
- 2) Membuat bingkai koordinat 3D dengan sumbu x positif mengarah ke sisi kanan pengamat, sumbu y positif mengarah ke atas, sementara sumbu z positif mendekati pengamat. Ketiga sumbu saling tegak lurus satu sama lain. Langkah kerja dari pembuatan bingkai koordinat 3D sebagai berikut:
 - a) Baca jumlah *file* citra 2D hasil transformasi dan simpan pada pengubah j.
 - b) Baca lebar *file* citra 2D hasil transformasi dan simpan pada pengubah l.
 - c) Baca tinggi *file* citra 2D hasil transformasi dan simpan pada pengubah t.
 - d) Kalikan masing-masing pengubah dengan nilai 1.5 dan simpan pada pengubah j1, l1, dan t1 secara berurutan.
 - e) Buat bingkai koordinat 3D dengan ukuran sesuai poin d). Misal ***bingkai3D(l1,t1,j1)***.
- 3) Melakukan rotasi sumbu x, y atau z dari tiap-tiap citra 2D hasil langkah pertama. Hasil piksel-piksel hasil rotasi diletakkan pada sumbu x, y, atau z yang bersesuaian. Langkah kerja rotasi sumbu x, y atau z dari tiap-tiap citra 2D hasil transformasi pada langkah pertama adalah sebagai berikut:
 - a) Lakukan iterasi baca posisi titik dari piksel-piksel citra 2D hasil transformasi mulai dari *file* 2D urutan pertama.
 - b) Bagi posisi titik-titik piksel ke dalam sumbu-sumbu x, y, dan z. Misal, posisi piksel yang akan dirotasi dari citra 2D yang pertama terletak pada pojok kiri atas, yaitu sumbu x=1, y=t, dan z=1, maka titik piksel hasil rotasi misal $(x',y',z')=zRot(\Phi)*yRot(\Psi)*xRot(\Omega)*(x-0.5*l, y-0.5*t, z-0.5*j)$

- c) Pindahkan nilai piksel citra 2D dari titik sebelum dilakukan rotasi ke titik setelah dilakukan rotasi di dalam **bingkai3D**. Misal **bingkai3D** $(\text{floor}(x'+0.5*I1), \text{floor}(y'+0.5*t1), \text{floor}(z'+0.5*j1)) = \text{citra2D}(x, y)$.
- d) Kembali ke poin 1 hingga semua file citra 2D selesai dirotasi.
- e) Simpan isi **bingkai3D** masing-masing ke dalam *file-file* yang berurutan.
- 4) Menjumlahkan nilai koefisien atenuasi linier dari tiap piksel dalam *file* yang berbeda tetapi memiliki nilai titik x dan y sama.
- 5) Mentransformasikan balik ke bentuk nilai keabuan.
- 6) Menampilkan citra hasil rekonstruksi dengan bentuk visualisasi citra 3D.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

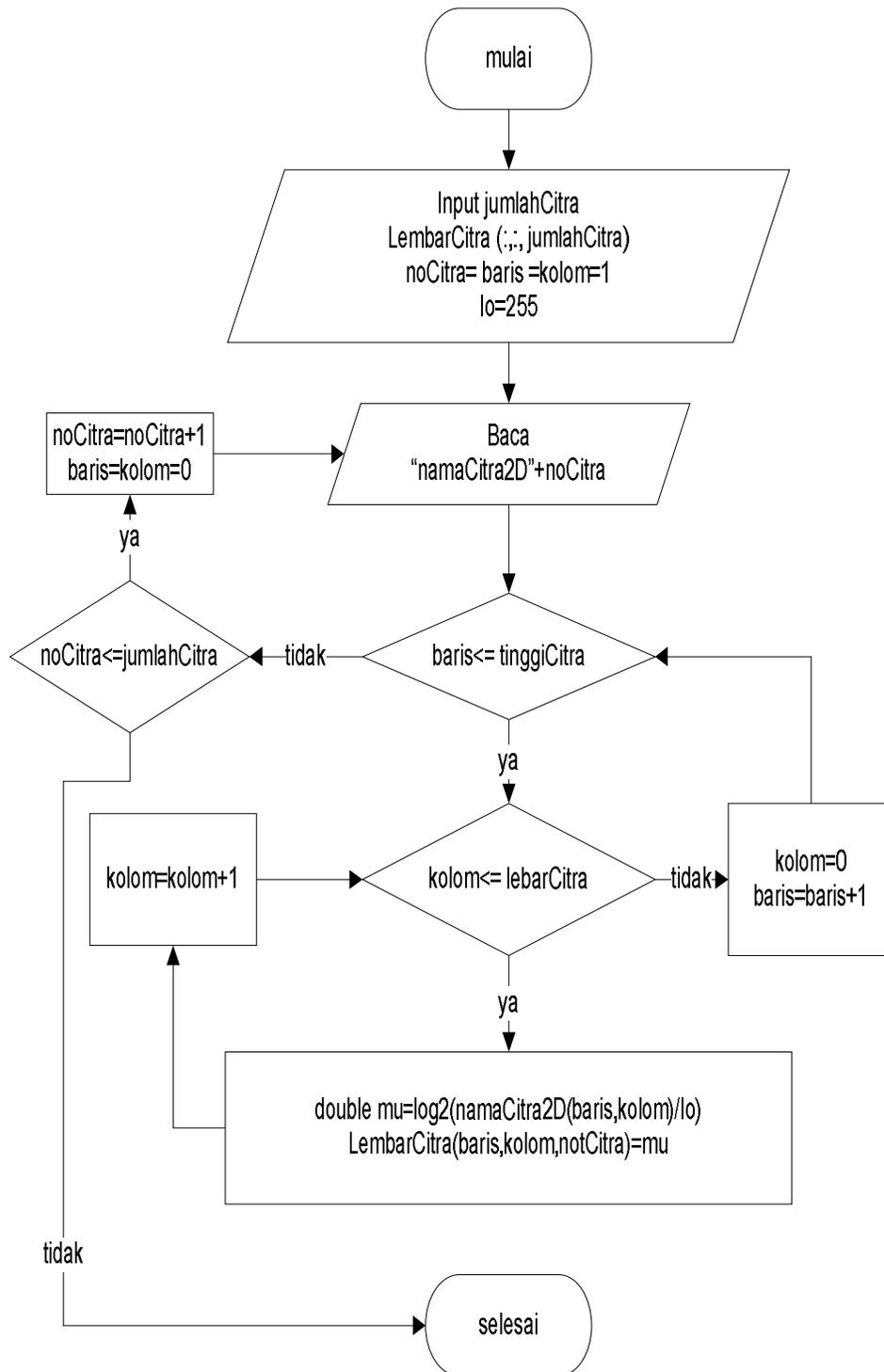
Hasil perancangan perangkat lunak rekonstruksi citra 3D dari lembaran-lembaran citra 2D hasil rekonstruksi algoritma tomografi disajikan dalam bentuk diagram alir sederhana. Ada empat diagram alir yang digunakan dalam perancangan perangkat lunak rekonstruksi citra 3D seperti diperlihatkan dalam Gambar 1, Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

Proses rekonstruksi citra dalam diagram alir dalam Gambar 1, adalah proses transformasi nilai piksel pada lembaran-lembaran citra 2D hasil rekonstruksi tomografi dari bentuk nilai keabuan ke dalam bentuk nilai koefisien atenuasi linier. Proses transformasi ini berlangsung secara berulang-ulang dan berakhir ketika nilai dari setiap piksel pada lembaran-lembaran citra 2D tersebut telah berubah menjadi nilai koefisien atenuasi linier. Lembaran-lembaran citra 2D tersebut selanjutnya disimpan di dalam suatu larik (*array*) 3D dengan nama tertentu. Dalam makalah ini nama larik tersebut dimisalkan **lembarCitra**.

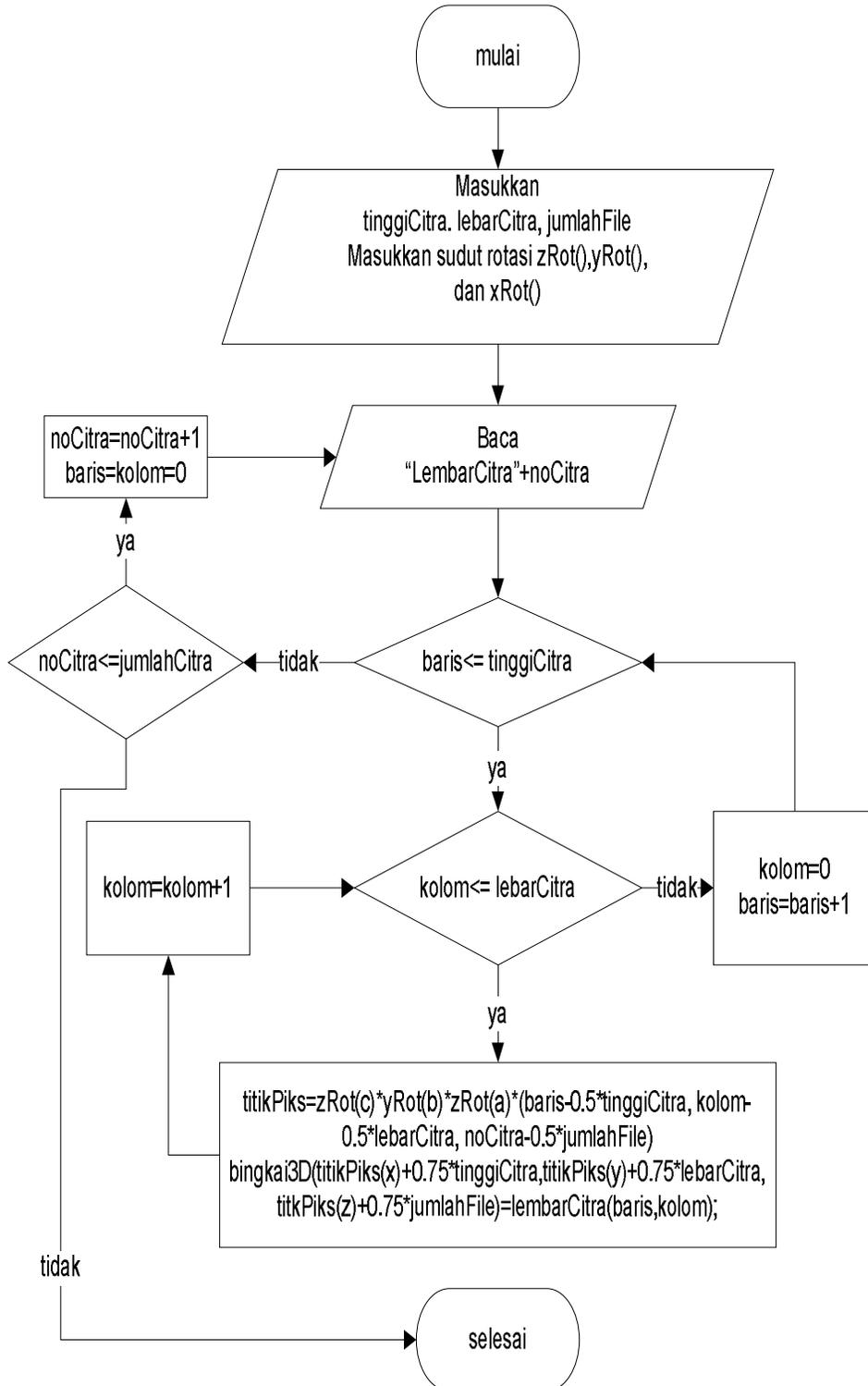
Proses rekonstruksi citra selanjutnya adalah merotasi titik-titik piksel dari koefisien atenuasi linier pada semua lembaran-lembaran citra 2D ke titik-titik piksel yang baru berdasarkan pada sudut-sudut putar dari sumbu x, y, dan z (Gambar 2). Rotasi titik-titik piksel dilakukan dengan cara mencari titik tengah piksel-piksel yang merupakan titik pusat rotasi sumbu x dan y, serta titik tengah lembaran dari citra 2D yang merupakan titik pusat rotasi sumbu z. Hasil rotasi kemudian diletakkan di dalam suatu larik 3D yang berukuran satu setengah (1,5) kali dari ukuran larik **lembarCitra** pada diagram alir dalam Gambar 1. Nama larik untuk menyimpan hasil rotasi dalam makalah ini dimisalkan sebagai **bingkai3D**.

Nilai piksel-piksel yang merupakan representasi koefisien atenuasi linier sel-sel objek; yang telah berada pada larik-larik dalam **bingkai3D**, dijumlahkan ke arah sumbu z berdasarkan kesamaan letak posisi titik piksel pada sumbu x dan y. Proses penjumlahan koefisien atenuasi linier diperlihatkan dalam diagram alir pada Gambar 3. Hasil penjumlahan koefisien atenuasi linier di dalam makalah ini dimisalkan diletakkan dalam matriks **totalAtenuasi**. Nilai total koefisien atenuasi linier tersebut dapat dikalikan dengan konstanta untuk mendapatkan citra yang lebih transparan.

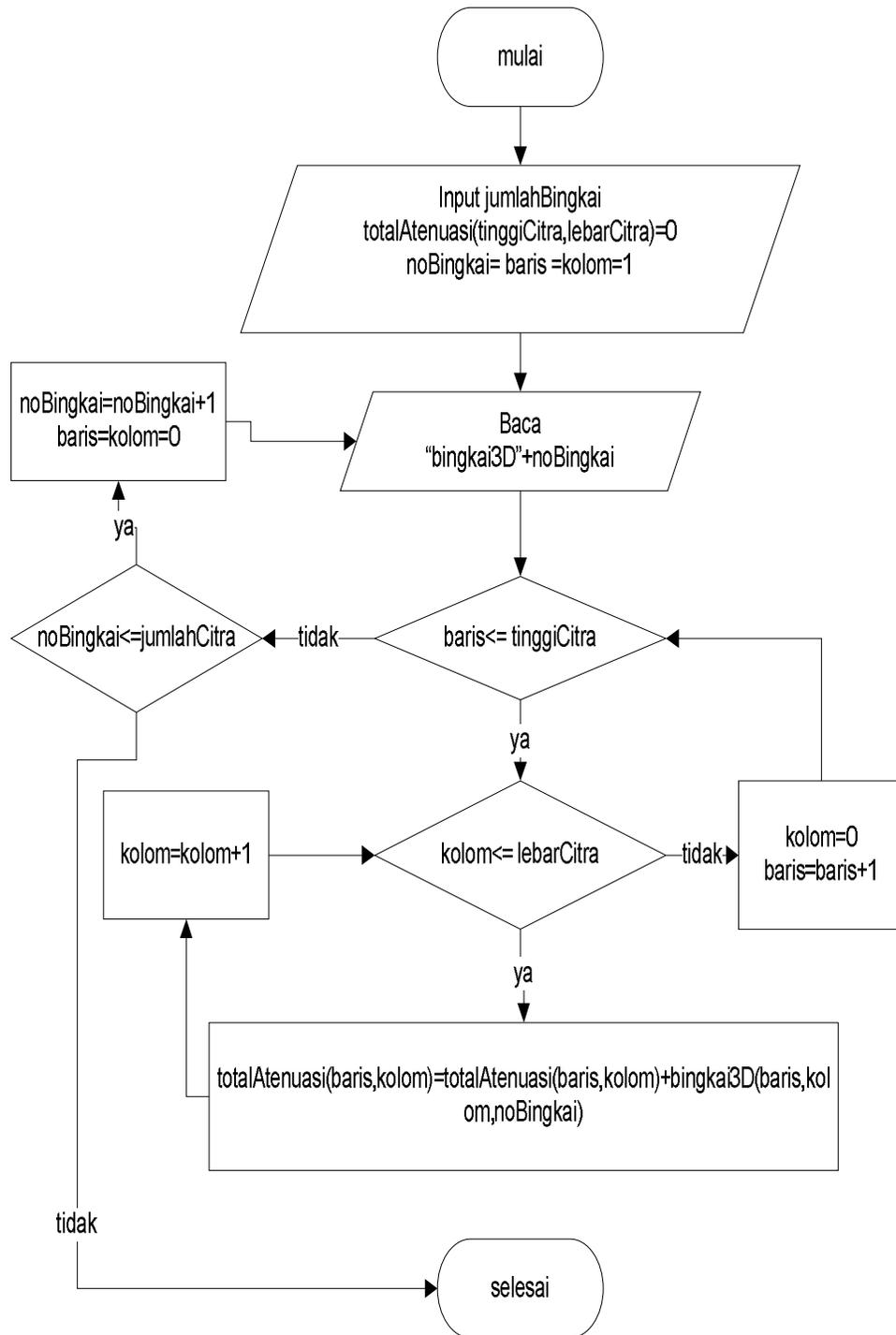
Untuk mendapatkan bentuk visualisasi citra 3D seperti yang diinginkan, nilai total atenuasi yang berada dalam matriks **totalAtenuasi** harus ditransformasikan kembali ke bentuk nilai keabuan dengan menggunakan Pers.1. Proses transformasi dari **totalAtenuasi** ke nilai keabuan dideskripsikan menggunakan diagram alir dalam Gambar 4. Nilai hasil transformasi **totalAtenuasi** di dalam makalah ini diasumsikan disimpan di dalam matriks dengan nama **proj3D**.



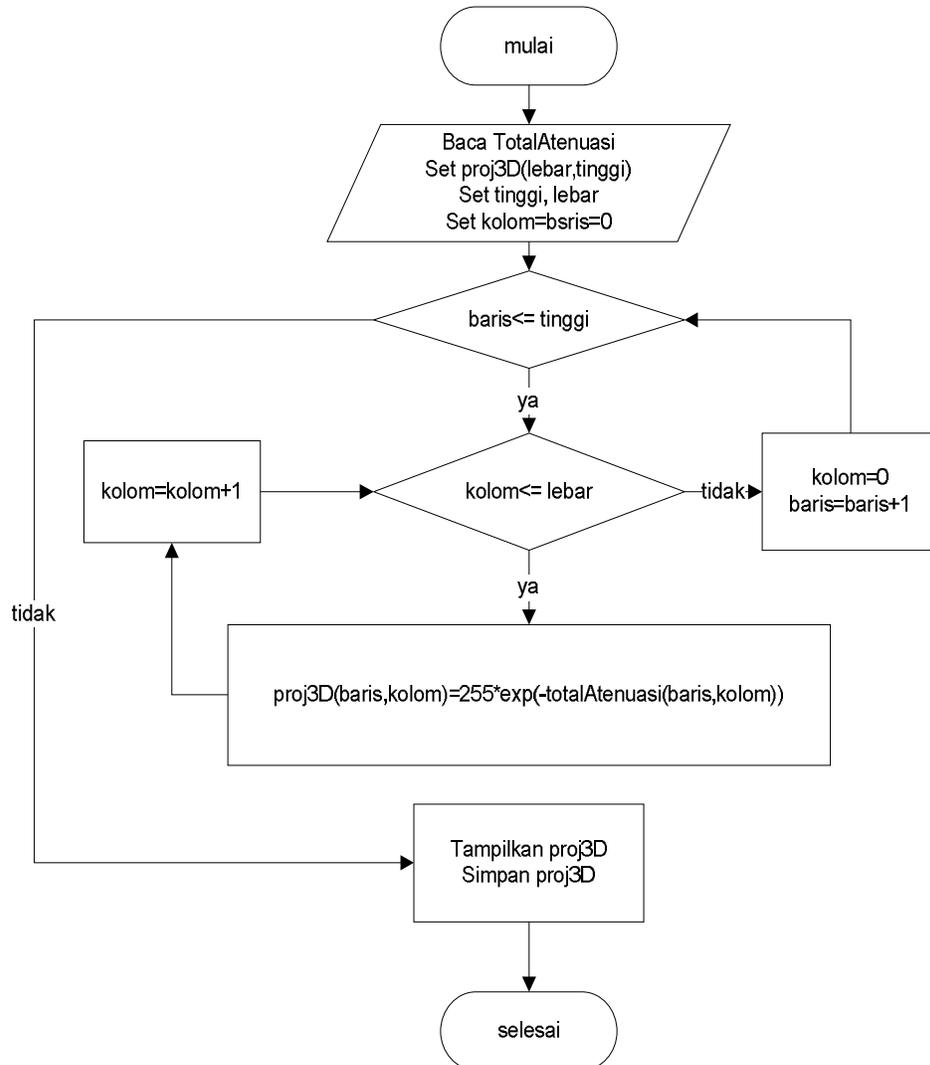
Gambar 1. Diagram alir proses transformasi nilai piksel pada lembaran citra 2D hasil rekonstruksi dari nilai keabuan ke koefisien atenuasi linier



Gambar 2. Diagram alir proses rotasi nilai koefisien atenuasi linier dari titik x,y,z ke titik x', y', z dan menyimpannya di **bingkai3D**



Gambar 3. Diagram alir proses penjumlahan nilai koefisien linier pada lembaran-lembaran citra 2D dalam bingkai3D ke arah sumbu z, berdasarkan kesamaan dari titik x,y piksel.



Gambar 4. Diagram alir proses transformasi balik dari *totalAtenuasi* ke nilai keabuan

5. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan perangkat lunak rekonstruksi citra 3D dari lembaran citra hasil rekonstruksi 2D ada 4 proses iterasi berurutan yang diperlukan untuk menghasilkan citra 3D, yang terdiri dari:

1. Proses iterasi untuk mengubah nilai piksel-piksel yang ada pada lembaran-lembaran citra 2D hasil rekonstruksi dari nilai keabuan ke dalam bentuk nilai koefisien atenuasi linier.
2. Proses iterasi untuk merotasi piksel-piksel berdasarkan arah pengamatan atau arah sinar x.
3. Proses iterasi untuk menghitung nilai total atenuasi ke arah sumbu z terhadap piksel-piksel yang memiliki kesamaan letak titik-titik pada sumbu x dan y. Nilai ini kemudian dikalikan dengan konstanta untuk mendapatkan citra yang lebih transparan.
4. Proses iterasi untuk mengembalikan nilai total atenuasi ke nilai keabuan dan kemudian menampilkannya dalam bentuk citra

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Benjamin Schmid, Diakses tanggal 10 November 2015, *Image J 3D Viewer*, <http://imagej.nih.gov/ij/plugins/3d-viewer/>.
2. Mark Sutton. Diakses tanggal 10 November 2015, *SPIERSview 2.20 Manual*, <http://spiers-software.org/>.
3. Anonim, diakses tanggal 12 November 2015, *Sante CT 3D Viewer*, SanteSoft, <http://www.santesoft.com/win/>.
4. Anonim, diakses tanggal 13 November 2015, *3D Visualization*, Matlab, <http://mathworks.com/>.
5. Anonimus, diakses tanggal 15 November 2015, _____, Advantech Alliance, <http://www.advantech.my/ProductsRT.htm>.
6. Anonim, diakses tanggal 16 November 2015, *efXCT*, North Start Imaging , <http://4nsi.com/software/efx-ct>.
7. Anonim, diakses tanggal 11 November 2015, *3D Services*, Avonix Imaging, <http://www.avoniximaging.com/inspection-services/3d-services>.
8. Anonim, diakses tanggal 16 November 2015, *XYLON CT*, XYLON, <http://www.yxlon.com/Products/CT-systems>.
9. Sigurdur H, diakses tanggal 18 November 2015, *Radon Transform*, Radonbook, Second Edition, www.math.mit.edu/~helgason/Radonbook.pdf.
10. Samit Basu, 2000, *$O(N^2 \log_2 N)$ Filtered Backprojection Reconstruction Algorithm for Tomography*, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 9, NO. 10, OCTOBER 2000.
11. Raparia D, Alessi J, Kponou A, 1998, *The Algebraic Reconstruction Technique*, IEEE.