

PENGARUH PERUBAHAN FAKTOR EKSPOSI TERHADAP NILAI CT NUMBER

Tina Meilinda, Eko Hidayanto dan Zaenal Arifin

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail:meilindatina@gmail.com

ABSTRACT

CT Number value had been conducted with various of exposure factor on CT. Testing was conducted to test the CT Number value changes with various of exposure factors then compare it with the recommended tolerance.

Testing was done by using some objects there are water phantom, plastic water phantom, chicken blood, chicken (breast part) and chicken bone (thigh). Performed with two scanning, axial and helical scanning methods. Various of exposure factors used the voltage 80 kVp to 140 kVp, current 100 mA to 180 mA and exposure time 0.6 second to 2 second. Collimator with a large selection and slice thickness 5 mm.

From the test results have known that changes of the exposure factors will affect CT Number value. CT Number value obtain from the test results by using water phantom -2,50 HU until -4,99 HU, plastic water phantom -6,99 HU until +6,99 HU, blood +31,01 HU until +36,70 HU, chicken (soft tissue) +48,33 HU until +66,61 HU and bone +800,15 HU until +1188,28 HU. The value is still well within the recommended tolerances are for water phantom and plastic water phantom 0 ± 7 HU, blood +30 HU to +45 HU, soft tissue +37 HU to +300 HU and bone +700 HU to +3000 HU.

Keywords: *CT Number, exposure factors, plastic water phantom, axial scanning and helical scanning.*

ABSTRAK

Telah dilakukan pengujian Pengaruh Perubahan Faktor Eksposi terhadap Nilai CT Number. Pengujian dilakukan untuk menguji perubahan nilai CT Number dengan variasi faktor eksposi kemudian membandingkannya dengan rentang toleransi yang direkomendasikan.

Objek yang digunakan fantom air, plastic water phantom, darah ayam, daging ayam (bagian dada) dan tulang ayam (bagian paha) metode axial dan helical scanning. Variasi faktor eksposi untuk tegangan tabung 80 kVp sampai 140 kVp, arus tabung 100 mA sampai 180 mA dan waktu eksposi 0,6 detik sampai 2 detik. Lebar kolimator dengan pilihan large dan tebal irisan 5 mm.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa perubahan faktor eksposi akan mempengaruhi nilai CT Number. Nilai CT Number yang diperoleh dari hasil pengujian dengan menggunakan fantom air -2,50 HU sampai dengan -4,99 HU, plastic water phantom -6,99 HU sampai dengan +6,99 HU, darah +31,01 HU sampai dengan +36,70 HU, daging +48,33 HU sampai dengan +66,61 HU dan tulang +800,15 HU sampai dengan +1188,28 HU. Namun nilainya berada dalam rentang toleransi yang direkomendasikan yaitu untuk fantom air dan plastic water phantom 0 ± 7 HU, darah +30 HU sampai +45 HU, daging +37 HU sampai +300 HU dan tulang +700 HU sampai +3000 HU.

Kata kunci: *CT Number, faktor eksposi, plastic water phantom, axial scanning dan helical scanning.*

PENDAHULUAN

CT Scan (*Computed Tomography Scanning*) merupakan salah satu alat imaging yang memanfaatkan radiasi pengion berupa sinar-X. Pada. Dengan CT Scan akan lebih banyak kelainan pada organ tubuh manusia yang dapat terdeteksi dimana dengan alat imejing konvensional tidak dapat terlihat. CT Scan dapat mencitrakan objek 3D yang tersusun atas irisan-irisan gambar

(*tomography*) yang dihasilkan dari perhitungan algoritma komputer.

Quality Control (QC) pada CT Scan terdiri dari penerimaan dan pemasangan awal (*acceptance testing and commissioning*), pengawasan kinerja secara rutin (*routine performance evaluation*) dan saat alat tidak berfungsi sebagaimana mestinya/*malfunction (error corection tests)*. Salah satu jaminan kualitas CT Scan adalah uji konsistensi CT Number.^[1]

Penelitian Pengaruh Perubahan Faktor Eksposi terhadap Nilai CT Number bukan merupakan *Quality Control Routine Performance Evaluation* yang menurut AAPM Report No. 74 dilakukan harian. Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu cara pembuktian atau pengujian pada darah, daging (jaringan lunak) dan tulang yang mirip dengan manusia yaitu ayam. Karena ayam memiliki komposisi (elemen penyusun) dan massa jenis yang mirip dengan manusia.

Perumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah menguji pengaruh perubahan faktor eksposi (tegangan, arus dan waktu) pada nilai CT Number dengan menggunakan metode *axial* dan *helical scanning* dengan menggunakan fantom air, *plastic water phantom*, darah ayam, daging ayam (bagian dada) dan tulang ayam (bagian paha).

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menguji perubahan CT Number dengan variasi faktor eksposi dan mengetahui perbedaan CT Number hasil penelitian dengan toleransi yang direkomendasikan pada pesawat CT Scan dengan perubahan faktor eksposi.

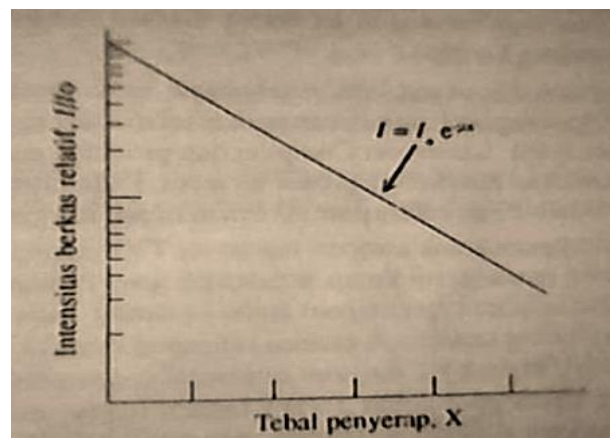
Penurunan Intensitas Radiasi Sinar-X

Apabila radiasi elektromagnetik masuk kedalam bahan perisai, maka sebagian dari radiasi tersebut akan terserap oleh bahan. Sebagai akibatnya, intensitas radiasi setelah memasuki bahan penyerap lebih kecil dibandingkan intensitas mula-mula. Proses pelemahan intensitas radiasi elektromagnetik dalam suatu bahan perisai bersifat eksponensial mengikuti persamaan (2.1).^[2]

$$\begin{aligned}
 dI &\sim I \\
 dI &\sim dx \\
 dI &= -\mu I dx \\
 \mu &= -\frac{dI/I}{dx} \\
 \frac{dI}{I} &= -\mu dx \\
 \int_{I_0}^I \frac{dI}{I} &= -\mu \int_0^x dx \\
 \ln I \Big|_{I_0}^I &= -\mu x \Big|_0^x \\
 \ln I - \ln I_0 &= -\mu x
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ln \frac{I}{I_0} &= -\mu x \\
 \frac{I}{I_0} &= e^{-\mu x} \\
 I &= I_0 e^{-\mu x} \tag{2.1}
 \end{aligned}$$

dengan I adalah intensitas radiasi elektromagnetik setelah melalui bahan, I₀ adalah intensitas radiasi elektromagnetik sebelum melalui bahan, μ adalah koefisien serapan linier bahan dan x adalah tebal bahan.^[2] Gambar 2.1 penyerapan radiasi elektromagnetik oleh bahan perisai digambar dalam kertas semilog.



Gambar 2.1 Penyerapan radiasi elektromagnetik oleh bahan perisai digambar dengan kertas semilog^[3]

Untuk beberapa tujuan, seringkali tebal bahan perisai tidak dinyatakan dalam tebal linier dengan satuan panjang (cm, mm dan sebagainya), tetapi dinyatakan dalam tebal kerapatan dengan satuan gr/cm². Jika besaran itu yang digunakan maka koefisien serapan bahan perisai dinyatakan dalam koefisien serapan massa (μ_m) dengan satuan cm²/gr. Secara numerik hubungan antara keduanya adalah pada persamaan (2.2).^[2]

$$\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)} = \mu_m \text{ (cm}^2\text{/gr)} \times \rho \text{ (gr/cm}^3\text{)} \tag{2.2}$$

dengan μ adalah koefisien serapan bahan (cm⁻¹), μ_m adalah koefisien serapan massa (cm²/gr) dan ρ adalah massa jenis bahan (gr/cm³). Massa jenis bahan dapat diperoleh melalui persamaan (2.3).^[2]

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.3)$$

dengan ρ adalah massa jenis bahan (gr/cm^3), m adalah massa bahan (gr) dan V adalah volume bahan (cm^3).

Selain kedua koefisien serapan tersebut, sering juga digunakan koefisien serapan atomik (μ_b), yaitu fraksi berkas radiasi elektromagnetik yang diserap oleh sebuah atom tunggal atau dapat pula dikatakan suatu kemungkinan bahwa sebuah atom bahan perisai akan berinteraksi dengan satu berkas radiasi. Koefisien serapan atomik dirumuskan pada persamaan (2.4).^[2]

$$\mu_b(\text{cm}^2) = \frac{\mu (\text{cm}^{-1})}{N (\text{atom}/\text{cm}^3)} \quad (2.4)$$

dengan N adalah jumlah atom penyerap per cm^3 . Koefisien serapan atomik ini hampir selalu menunjukkan penampang lintang (*cross section*) dengan satuan barn, yang nilainya :

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

Koefisien serapan atomik sering kali disebut juga sebagai *microscopic cross section* (σ), sedang koefisien serapan linier sering dikenal dengan istilah *macroscopic cross section* ($\Sigma = N\sigma$).

Penyerapan radiasi elektromagnetik oleh bahan perisai melalui tiga proses utama yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan maka nilai μ juga ditentukan oleh ketiga proses tersebut. Radiasi elektromagnetik dengan energi kurang dari 1,02 MeV, koefisien serapan bahan total di dalam bahan hanya ditentukan oleh efek fotolistrik dan hamburan Compton, sedangkan pada energi sangat tinggi (di atas 10 MeV) hanya ditentukan oleh proses produksi pasangan.^[2]

Parameter CT Scan

Terdapat beberapa parameter pada CT Scan agar dapat menampilkan *output* gambar yang optimal.^[4]

1) *Slice thickness*, adalah tebalnya irisan atau potongan dari objek yang diperiksa. Ukuran yang tebal akan menghasilkan gambar

dengan detail yang rendah sebaliknya dengan ukuran yang tipis akan menghasilkan detail-detail yang tinggi. Bila ketebalan meninggi akan timbul gambaran-gambaran yang mengganggu (*artefak*) dan bila terlalu tipis *noise* akan meningkat. Pemilihan *slice thickness* pada saat pembuatan gambar CT Scan mempunyai pengaruh langsung terhadap resolusi spasial yang dihasilkan. Dengan *slice thickness* yang meningkat (tipis) maka rasolusi spasial gambar semakin baik, demikian sebaliknya. Namun pengaruh yang berbeda terhadap dosis radiasi yang diterima oleh pasien. Semakain tipis irisan, dosis radiasi semakin tinggi dan berlaku sebaliknya.

- 2) *Range* adalah perpaduan atau kombinasi dari beberapa *slice thickness* dengan ketebalan irisan berbeda pada masing-masing *range* tetapi masih dalam satu volume investigasi.
- 3) Volume investigasi adalah keseluruhan lapangan dari objek yang diperiksa.
- 4) Faktor eksposi adalah faktor-faktor yang berpengaruh terhadap eksposi antara lain tegangan tabung (kV), arus tabung (mA) dan waktu eksposi (detik). Kualitas gambar dipengaruhi oleh produksi sinar-X yang berarti pula dipengaruhi oleh tegangan tabung (kV), arus tabung (mA) dan waktu eksposi (detik).
- 5) *Field Of View* (FOV) adalah lebar maksimal dari gambaran yang akan direkonstruksi.
- 6) *Gantry tilt* adalah sudut yang dibentuk antara bidang vertikal dan *gantry* (tabung sinar-X dan detektor).
- 7) Rekonstruksi matriks adalah deretan baris dan kolom dari *picture element* (*pixel*) dalam proses perekonstruksian gambar. Rekonstruksi matriks berfungsi untuk merekonstruksi gambar.
- 8) Rekonstruksi algoritma adalah prosedur matematis (algoritma) yang digunakan dalam merekonstruksi gambar. Semakin tinggi resolusi algoritma yang dipilih maka akan semakin tinggi pula resolusi gambar yang akan dihasilkan.
- 9) *Window width* adalah rentang nilai CT Number yang dikonversi menjadi *gray levels* untuk ditampilkan dalam TV monitor dengan satuan *Hounsfield Unit* (HU) yang

diambil dari nama penemu CT Scan yaitu Godfrey Hounsfield. HU adalah satuan radiodensitas kuantitatif pada CT Scan untuk mendeteksi adanya cairan, tumor, ataupun darah *abnormal* dalam tubuh. CT Number berhubungan dengan koefisien serapan bahan (μ) pada jaringan dan dapat dihitung melalui persamaan (2.5).^[4]

$$CT\ Number = \frac{\mu_j - \mu_a}{\mu_a} \times 1000 \quad (2.5)$$

dengan μ_j adalah koefisien serapan jaringan, μ_a adalah koefisien serapan air dan 1000 adalah *scaling factor* (faktor kontras). Tabel 2.1 menunjukkan nilai skala Hounsfield. *Window width* berpengaruh terhadap kontras, semakin besar *window width* maka suatu citra kontrasnya akan kurang baik, sedangkan semakin kecil *window width* maka suatu citra kontrasnya akan semakin terang.

Tabel 2.1 Skala Hounsfield (De Vos, 2009)

Tipe Jaringan	CT-Number (HU)
Udara	-1000
Paru-paru	-500
Lemak	-100 sampai -50
Air	0
Ginjal	+30
Darah	+30 sampai +45
Otot	+10 sampai +40
Materi abu-abu	+37 sampai +45
Materi putih	+20 sampai +30
Liver	+40 sampai +60
Daging	+37 sampai +300
Tulang	+700 sampai +3000

CT Number ditetapkan pada basis relatif dengan atenuasi air sebagai sumber. CT Number untuk air adalah 0, tulang +700 HU sampai +3000 HU dan udara -1000 HU. Untuk memudahkan dalam pengubahan (konversi), penyesuaian tingkatan *brighness* dengan CT Number harus ditetapkan. Semua nilai yang lainnya menunjukkan variasi dari bayangan abu-abu (*gray*). Hubungan antara CT Number dan

bayangan keabu-abuan merupakan variabel dan dapat disebut sebagai *windowing*.

Ketika Hounsfield menemukan CT Scan, dia menggunakan berkas sinar homogen. Tujuan CT adalah menghitung koefisiensi serapan bahan, yang menandai adanya jumlah atenuasi yang terjadi. Oleh karena itu ini merupakan pengukuran kuantitatif unit per sentimeter (cm^{-1}) dari sini dihasilkan persamaan linier. Persamaan (2.1) penurunan intensitas radiasi dapat dipecahkan untuk mencari nilai μ seperti pada persamaan (2.11).^[5]

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x$$

$$\mu = -\frac{1}{x} \ln \frac{I}{I_0} \quad (2.6)$$

Dimana \ln adalah bilangan logaritma. Masalah pada CT adalah untuk menentukan atenuasi dalam jaringan dan informasi ini dapat digunakan untuk merekonstruksi gambar pada irisan jaringan. Atenuasi adalah pengurangan intensitas berkas sinar radiasi saat melewati objek, beberapa foton akan diserap akan tetapi yang lainnya akan dihamburkan. Atenuasi tergantung pada jumlah elektron, nomor atom, kepadatan jaringan, dan energi radiasi yang digunakan.^[5]

10) *Window level* adalah nilai tengah dari *window* yang digunakan untuk penampilan gambar. *Window level* akan mengendalikan nilai densitas, *window level* nilainya sebanding dengan nilai densitas suatu citra.^[4]

METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian untuk fantom air setiap hasil pencitraan diambil 9 lokasi *Region Of Interest* (ROI) yaitu pusat, tepi atas, tepi kanan, tepi bawah, tepi kiri, area kuadran I, area kuadran II, area kuadran III dan area kuadran IV dengan ukuran ROI berdiameter 522,03 mm^2 . Sedangkan untuk *plastic water phantom* diambil 9 lokasi ROI yaitu pusat, tepi kanan,

tepi kiri, tepi atas, tepi kanan atas, tepi kiri atas, tepi bawah, tepi kanan bawah dan tepi kiri bawah dengan diameter ROI 1,02 mm². Kemudian untuk darah ayam, daging ayam (bagian dada) dan tulang ayam (bagian paha), setiap hasil pencitraan diambil 3 lokasi ROI dengan ukuran ROI berdiameter 0,00 mm².

Prinsip penganalisaan data adalah diskriptif statistik yang dilakukan dengan cara menghitung nilai rata-rata atau *mean* dari CT Number dengan menggunakan fasilitas *Region Of Interest* (ROI) yang terdapat pada perangkat monitor pada pesawat CT-scan. Untuk fantom air diambil 9 lokasi ROI dengan diameter 522,03 mm² yaitu pusat, tepi atas, tepi kanan, tepi bawah, tepi kiri, kuadran I, kuadran II, kuadran III dan kuadran IV. Sedangkan untuk *plastic water phantom* diambil 9 lokasi ROI yaitu pusat, tepi kanan, tepi kiri, tepi atas, tepi kanan atas, tepi kiri atas, tepi bawah, tepi kanan bawah dan tepi kiri bawah dengan diameter ROI 1,02 mm². Kemudian untuk darah ayam, daging ayam bagian dada dan tulang ayam bagian paha masing-masing diambil 3 lokasi ROI dengan diameter 0,00 mm² (karena ukuran objek yang ditampilkan pada layar monitor sangat kecil).

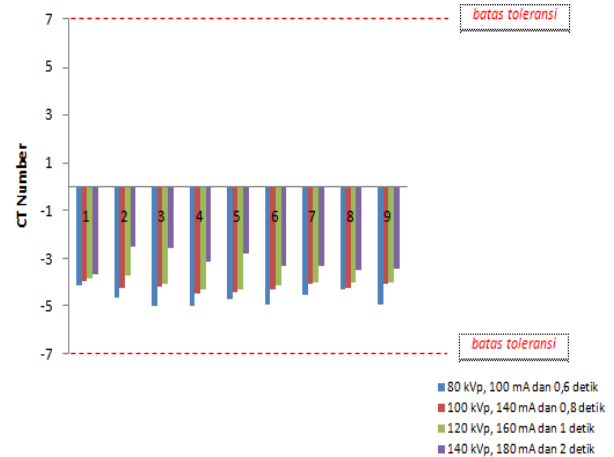
Pada akhir penelitian akan didapatkan nilai CT Number yang terukur pada setiap hasil pencitraan. Nilai CT Number tersebut akan dibandingkan dengan nilai CT Number yang ada pada referensi. Kemudian akan dilakukan analisa apakah nilai CT Number tersebut konstan atau berubah sesuai dengan perubahan faktor eksposi yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fantom air memiliki nilai CT Number 0 HU dengan rentang toleransi yaitu 0 ± 7 HU.^[6] Pada penelitian ini digunakan lebar kolimator dengan pilihan *large*, *slice thickness* 5 mm dengan diameter *Region Of Interest* (ROI) yang berbeda-beda pada setiap objek. Faktor eksposi divariasikan sebagai berikut :

- 1) Faktor eksposi untuk tegangan 80 kVp, arus 100 mA dan waktu 0,6 detik.
- 2) Faktor eksposi untuk tegangan 100 kVp, arus 140 mA dan waktu 0,8 detik.
- 3) Faktor eksposi untuk tegangan 120 kVp, arus 160 mA dan waktu 1 detik.

- 4) Faktor eksposi untuk tegangan 140 kVp, arus 180 mA dan waktu 2 detik.

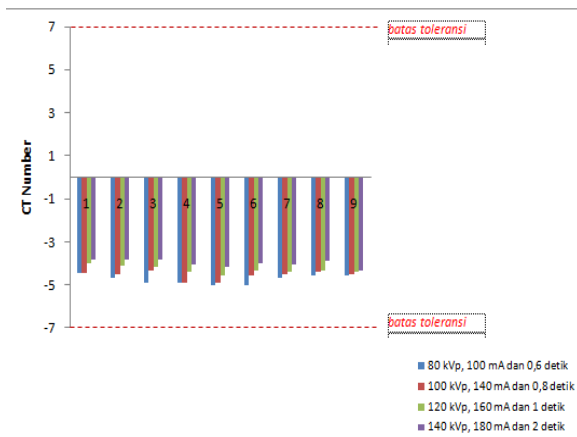


Gambar 4.1 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number fantom air metode *axial scanning*

Pada gambar 4.1 grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number fantom air metode *axial scanning*, nilainya adalah sebagai berikut :

1. Faktor eksposi untuk tegangan 80 kVp, arus 100 mA dan waktu 0,6 detik nilainya berkisar antara -4,99 HU sampai dengan -4,15 HU.
2. Faktor eksposi dengan tegangan 100 kVp, arus 140 mA dan waktu 0,8 detik nilainya berkisar antara -4,50 HU sampai dengan -3,93 HU.
3. Faktor eksposi dengan tegangan 120 kVp, arus 160 mA dan waktu 1 detik nilainya berkisar antara -4,33 HU sampai dengan -3,70 HU.
4. Faktor eksposi untuk tegangan 140 kVp, arus 160 mA dan waktu 2 detik nilainya berkisar antara -3,69 HU sampai dengan -2,50 HU.

Gambar 4.2 menunjukkan grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number fantom air metode *helical scanning*. Seperti yang terjadi pada metode *axial scanning*, pada metode *helical scanning* nilai CT Number meningkat sebanding dengan kenaikan faktor eksposi yang diberikan.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number fantom air metode *helical scanning*

Pada gambar 4.2 grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number fantom air metode *helical scanning*, nilainya adalah sebagai berikut :

1. Faktor eksposi untuk tegangan 80 kVp, arus 100 mA dan waktu 0,6 detik nilainya berkisar antara -4,99 HU sampai dengan -4,46 HU.
2. Faktor eksposi dengan tegangan 100 kVp, arus 140 mA dan waktu 0,8 detik nilainya berkisar antara -4,93 HU sampai dengan -4,31 HU.
3. Faktor eksposi dengan tegangan 120 kVp, arus 160 mA dan waktu 1 detik nilainya berkisar antara -4,54 HU sampai dengan -3,85 HU.
4. Faktor eksposi untuk tegangan 140 kVp, arus 160 mA dan waktu 2 detik nilainya berkisar antara -4,36 HU sampai dengan -3,81 HU.

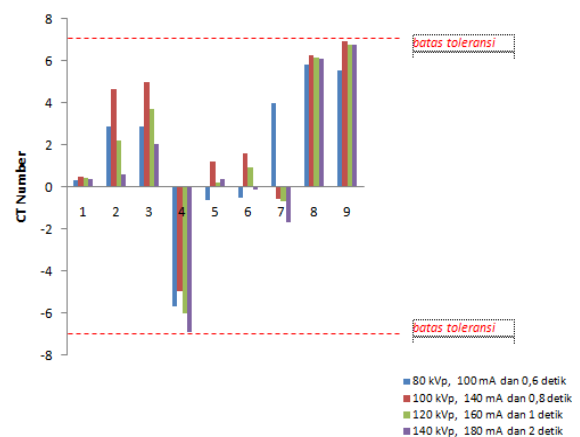
Menurut data hasil penelitian nilai CT Number yang diperoleh menggunakan fantom air dengan metode *axial* maupun *helical scanning*, keduanya memiliki nilai CT Number yang masih berada dalam batasan toleransi yaitu 0 ± 7 HU.

Plastic water phantom merupakan fantom air yang terbuat dari plastik sehingga bentuknya lebih fleksibel dan lebih tahan lama (tidak mudah rusak). *Plastic water phantom* biasanya digunakan dalam radioterapi untuk evaluasi dosimetri yaitu salah satu jaminan kualitas untuk menentukan dosis yang akurat

kepada pasien. *Plastic water phantom* didesain untuk energi 0,04 MeV sampai dengan 100 MeV. Dari beberapa eksperimen yang telah dilakukan *plastic water phantom* akan setara dengan air pada energi foton 80 kVp, 100 kVp, 250 kVp, 250 kVp, 4 MV, 6 MV, 10 MV dan 18 MV.^[7]

Pada gambar 4.3 grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number *plastic water phantom* metode *axial scanning* nilainya adalah sebagai berikut :

1. Faktor eksposi untuk tegangan 80 kVp, arus 100 mA dan waktu 0,6 detik nilainya berkisar antara -5,67 HU sampai dengan +5,81 HU.
2. Faktor eksposi dengan tegangan 100 kVp, arus 140 mA dan waktu 0,8 detik nilainya berkisar antara -4,95 HU sampai dengan +6,97 HU.
3. Faktor eksposi dengan tegangan 120 kVp, arus 160 mA dan waktu 1 detik nilainya berkisar antara -6,01 HU sampai dengan +6,76 HU.
4. Faktor eksposi untuk tegangan 140 kVp, arus 160 mA dan waktu 2 detik nilainya berkisar antara -6,88 HU sampai dengan +6,76 HU.

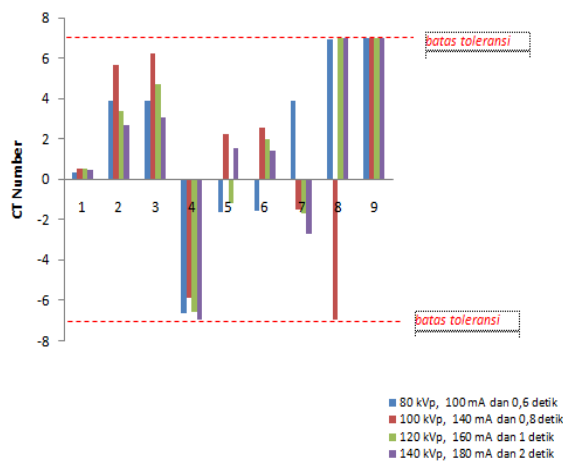


Gambar 4.3 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number *plastic water phantom* metode *axial scanning*

Gambar 4.4 grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number *plastic water phantom* metode *helical scanning* nilainya adalah sebagai berikut :

1. Faktor eksposi untuk tegangan 80 kVp, arus 100 mA dan waktu 0,6 detik nilainya

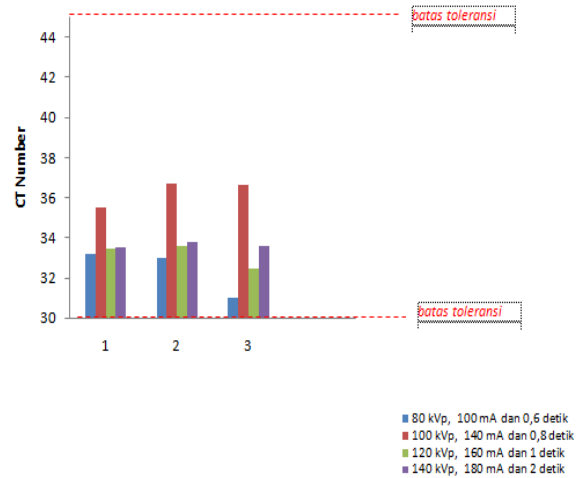
- berkisar antara -6,67 HU sampai dengan +6,98 HU.
2. Faktor eksposi dengan tegangan 100 kVp, arus 140 mA dan waktu 0,8 detik nilainya berkisar antara -5,93 HU sampai dengan +6,99 HU.
 3. Faktor eksposi dengan tegangan 120 kVp, arus 160 mA dan waktu 1 detik nilainya berkisar antara -6,63 HU sampai dengan +6,99 HU.
 4. Faktor eksposi untuk tegangan 140 kVp, arus 160 mA dan waktu 2 detik nilainya berkisar antara -6,99 HU sampai dengan +6,99 HU.



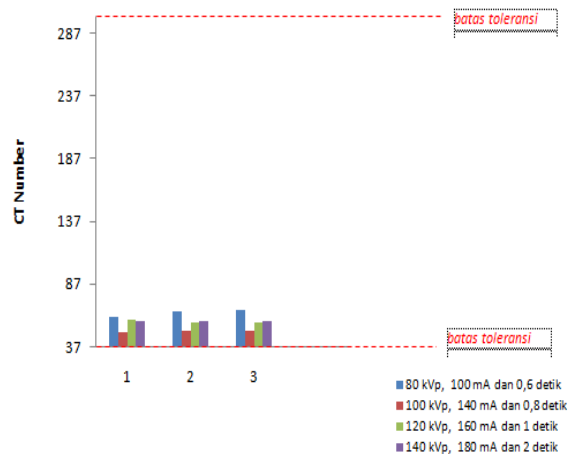
Gambar 4.4 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number plastic water phantom metode helical scanning

Gambar 4.5 grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number darah ayam metode axial scanning. Darah memiliki nilai CT Number +30 HU sampai dengan +45 HU, dari hasil penelitian diperoleh nilai CT Number darah berkisar antara +31,02 HU sampai dengan +36,70 HU. Gambar 4.6 grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number daging ayam metode axial scanning. Daging memiliki nilai CT Number +37 HU sampai dengan +300 HU, dari hasil penelitian diperoleh nilai CT Number daging berkisar antara +48,33 HU sampai dengan +66,61 HU. Gambar 4.7 grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number tulang ayam metode axial scanning. Tulang memiliki nilai CT Number +700 HU sampai dengan +3000 HU, dari hasil penelitian diperoleh nilai CT

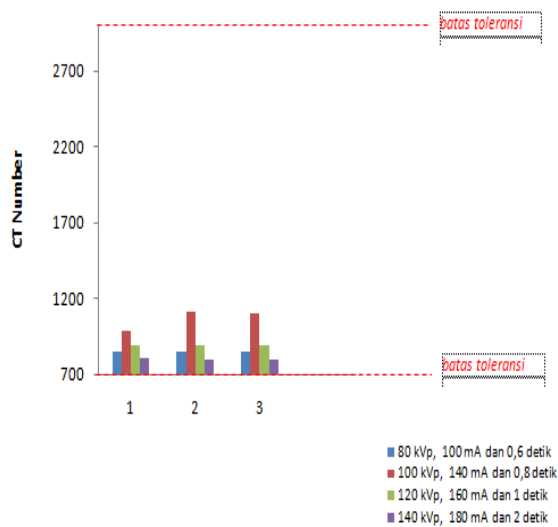
Number tulang berkisar antara +800,15 HU sampai dengan +1112,03 HU.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number darah ayam metode axial scanning



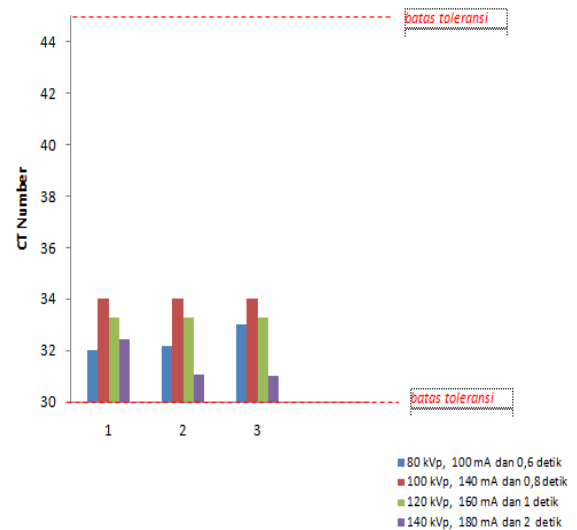
Gambar 4.6 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number daging ayam metode axial scanning



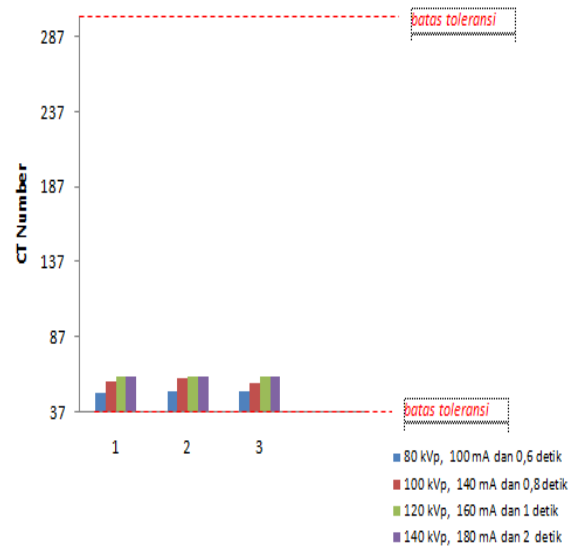
Gambar 4.7 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number tulang ayam metode axial scanning

Gambar 4.8 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number darah ayam metode helical scanning, nilai CT Number darah berkisar antara +31,01 HU sampai dengan +34,03 HU. Gambar 4.9 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number daging ayam metode helical scanning, nilai CT Number daging berkisar antara +49,89 HU sampai dengan +60,56 HU. Gambar 4.10 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap konsistensi nilai CT Number tulang ayam metode helical scanning, nilai CT Number tulang berkisar antara +852,57 HU sampai dengan +1188,28 HU.

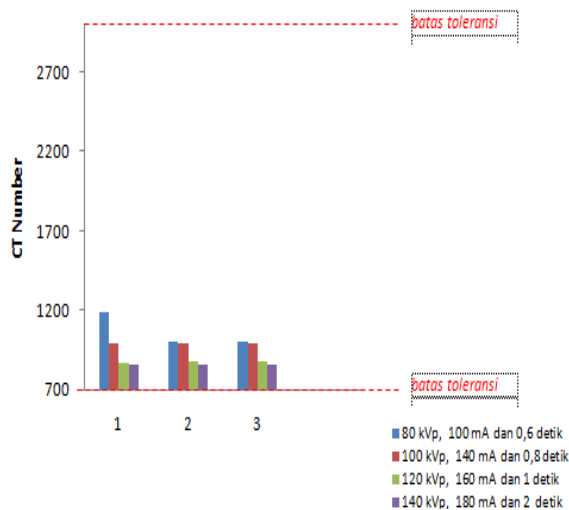
Dari hasil penelitian diperoleh nilai CT Number darah, daging dan tulang dengan menggunakan metode axial maupun helical scanning nilainya masih berada dalam rentang batasan yang diperbolehkan.



Gambar 4.8 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number darah ayam Metode helical scanning



Gambar 4.9 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number daging ayam Metode helical scanning



Gambar 4.10 Grafik pengaruh faktor eksposi terhadap nilai CT Number tulang ayam Metode helical scanning

Pada fantom air dan *plastic water phantom* faktor eksposi memiliki pengaruh terhadap nilai CT Number, semakin besar faktor eksposi yang digunakan maka nilai CT Number akan semakin naik. Namun nilainya masih dalam rentang toleransi yang direkomendasikan. Faktor eksposi mempengaruhi perubahan nilai CT Number, akan tetapi yang paling dominan dalam mempengaruhi nilai CT Number adalah tegangan tabung (kVp). Hal ini dikarenakan tegangan tabung yang diberikan akan mempengaruhi sinar-X yang diproduksi dan mempengaruhi energi foton rata-rata. Semakin besar tegangan yang digunakan maka sinar-X yang diproduksi juga akan semakin besar. Begitu pula dengan energi foton rata-rata, energi foton rata-rata yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan kenaikan tegangan tabung.

Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi nilai HU jaringan yaitu, 1) Foton energi, peningkatan energi foton akan meningkatkan kemungkinan terjadinya interaksi hamburan Compton dan akan mengurangi kemungkinan terjadinya interaksi fotolistrik, 2) Kepadatan jaringan, kepadatan jaringan menjadi penentu utama atenuasi sinar-X pada energi tinggi dan jaringan seperti bahan yang memiliki nomor atom yang serupa dengan air ($Z=8$) dan 3) Nomor atom, semakin besar nomor atom suatu bahan maka akan semakin

besar kemungkinan interaksi foton yang terjadi adalah efek fotolistrik.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa nilai CT Number dari tiap-tiap bahan yang digunakan adalah berbeda-beda tergantung dari energi foton dan kepadatan bahan. Untuk fantom air dan *plastic water phantom* nilai CT Number tidak melebihi rentang toleransi yaitu 0 ± 7 HU. Nilai CT Number darah, daging dan tulang ayam juga tidak melebihi rentang toleransi yang direkomendasikan yaitu darah berada dalam rentang +30 HU sampai dengan +45 HU, daging berada dalam rentang +37 HU sampai dengan +300 HU dan tulang berada dalam rentang +700 HU sampai dengan +3000 HU. Maka dapat disimpulkan bahwa kualitas *image* yang dihasilkan baik untuk mendiagnosis suatu penyakit, karena dari hasil pengujian nilai CT Number yang dilakukan dengan variasi faktor eksposi dengan menggunakan beberapa bahan, nilainya masih berada dalam rentang toleransi yang direkomendasikan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai CT Number dari beberapa objek diantaranya adalah fantom air, *plastic water phantom*, darah, daging dan tulang. Untuk darah, daging dan tulang dipilih *sample* yang strukturnya mirip dengan manusia yaitu ayam. Hal ini dikarenakan tidak memungkinkan apabila menggunakan manusia (pasien) sebagai objek penelitian ataupun menggunakan data sekunder (reka medis) untuk dianalisis. Dari hasil penelitian diketahui bahwa nilai CT Number untuk air, darah, daging dan tulang nilainya berada dalam rentang toleransi yang direkomendasikan. Maka, dapat disimpulkan bahwa pesawat CT Scan yang digunakan baik untuk mendiagnosis suatu penyakit.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh perubahan faktor eksposi terhadap nilai CT Number diperoleh kesimpulan berikut:

1. Nilai CT Number mengalami perubahan seiring dengan kenaikan faktor eksposi pada setiap lokasi ROI, nilai pada setiap lokasi ROI bervariasi yang disebabkan oleh variasi acak, namun nilainya berada dalam rentang toleransi yang direkomendasikan.

2. Nilai CTNumber yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan beberapa objek adalah sebagai berikut :

- Fantom air
Axial : -4,99 HU sampai -2,50 HU
Helical: -4,99 HU sampai -3,81 HU
Batas toleransi : 0 ± 7 HU
- Plastic water phantom
Axial : -6,88 HU sampai +6,97 HU
Helical: -6,99 HU sampai +6,99 HU
Batas toleransi: 0 ± 7 HU
- Darah
Axial: +31,02 HU sampai +36,70HU
Helical: +31,01 HU sampai +34,03 HU
Batas toleransi: +30 HU sampai +45 HU
- Daging
Axial : +48,33 HU sampai +66,61 HU
Helical: +49,89 HU sampai +60,56HU
Batas toleransi : +37 HU sampai +300 HU
- Tulang
Axial : +800,15 HU sampai +1112,03HU
Helical : +852,57 HU sampai +1188,28HU
Batas toleransi: +700 HU sampai +3000HU

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Papp, J., 2006, "Quality Management In The Imaging Sciences", 3rd Edition, Mosby Inc : St. Louis.
- [2]. Krane, K., 1992, "Fisika Modern", Jakarta : UI Press.
- [3]. Akhadi, M., 2000, "Dasar-Dasar Proteksi Radiasi", Jakarta : PT Rineka Cipta.
- [4]. Prasetyo, B., 2011, "Computed Tomography Scanning (CTScan)", Jakarta : Balai Penerbit FKUI.
- [5]. Seeram, E., 2001, "Computed Tomography Physical Principles, Clinical Applications and Quality Control", W. B. Saunders Company.
- [6]. Cropp, J. R., 2013, "Scanner and kVp Dependence of Measured CT-Numbers in the ACR CT Phantom", Journal of Applied Clinical Medical Physics, Vol. 4, No. 6.
- [7]. Ramaseshan, R., Kohli, K., Cao, F., and Heaton, R., 2008, "Dosimetric evaluation of Plastic Water Diagnostic Therapy", American Association of Physicists in Medicine, Journal of

Applied Clinical Medical Physics, Vol. 9, No. 2.