



OPTIMASI FAKTOR EKSPOSI PADA SISTEM RADIO OPTIMASI FAKTOR EKSPOSI PADA SISTEM RADIOGRAFI GRAFI DIGITAL MENGGUNAKAN ANALISIS CNR (CONTRAST TO NOISE RATIO)

Retno Endah Savitri[✉], Susilo, Sunarno

Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia, 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Mei 2014

Disetujui Mei 2014

Dipublikasikan Juni 2014

Keywords:

digital radiography, eksposi factors, CNR (Contrast to Noise Ratio)

Abstrak

Dalam bidang medis, film radiograf yang merupakan hasil dari radiografi konvensional telah tergantikan oleh sistem CR (Computed Radiography) yang mampu menghasilkan radiograf berbentuk digital dengan menggunakan kamera DSLR (Digital Single Lens Reflex), sehingga diharapkan bisa menjembatani antara sistem radiografi digital tanpa film dan radiografi konvensional. Citra radiograf yang dihasilkan akan dianalisis dengan metode CNR (Contrast to Noise Ratio) yang dibuat dengan perangkat lunak MATLAB. Untuk memperoleh citra radiograf dengan kualitas bagus, perlu dikaji nilai faktor eksposi yang optimum. Faktor eksposi terdiri dari tegangan tabung (kV), arus (mA) dan waktu ekspos (s). Objek yang digunakan adalah 2 tulang kambing pada bagian paha (femur) dengan tebal 14,16 mm dan bagian betis (fibula) dengan tebal 12,7 mm. Kedua objek diekspos dengan pesawat sinar-X dan akan berpendar di intensifying screen yang kemudian akan ditangkap oleh kamera DSLR. Gambar digital yang dihasilkan akan dianalisis dengan CNR, sehingga dapat ditentukan faktor eksposi yang optimum dari nilai CNR yang paling tinggi. Dari analisis tersebut didapatkan nilai CNR tertinggi untuk tulang paha adalah 47,18 pada tegangan 80 kV, arus 100 mA dan waktu ekspos 2 s. Untuk tulang betis didapatkan nilai CNR tertinggi pada tegangan tabung 85 kV, arus 32 mA dan waktu ekspos 0,5 s dengan nilai CNR adalah 83,81.

Abstract

In the medical field, radiographic film is the result of conventional radiography system has been replaced by the CR (Computed Radiography) is able to produce a images radiograph in digital form using a DSLR camera (Digital Single Lens Reflex), which is expected to bridge the digital radiography system without film and conventional radiography. Radiograph image produced will be analyzed by the method of CNR (Contrast to Noise Ratio) created with MATLAB software. To obtain a radiograph image with good quality, needs to be studied exposed factor value most optimum. Objects used were 2 goats on the thigh bone (femur) with a thickness of 14.16 mm and the calf (fibula) with a thickness of 12.7 mm. Both objects were exposed to X-ray and will fluoresce in Intensifying screen which will then be captured by a DSLR camera. The resulting digital images will be analyzed by CNR, so it can be determined the optimum exposed factor of the highest CNR value. From the analysis, the highest CNR values for the femur was 47.18 at tube voltage 80 kV, current 100 mA and exposure time of 2 s. To fibula the highest CNR values obtained at tube voltage 85 kV, current 32 mA and exposure time of 0.5 s, with a CNR value is 83.81.

© 2013 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:

E-mail: retno.vitri13@yahoo.com

PENDAHULUAN

Penemuan sinar-X berawal dari penemuan Rontgen (1845-1923), seorang fisikawan Universitas *Wutsburg* sewaktu bekerja dengan tabung sinar katoda pada tahun 1895. Rontgen menemukan bahwa sinar dari tabung dapat menembus bahan yang tak tembus cahaya dan dapat mengaktifkan layar pendar atau film foto. Sinar ini berasal dari titik dimana elektron dalam tabung mengenai sasaran di dalam tabung tersebut atau tabung kacanya sendiri (Beiser, 1999:59). Sinar-X dengan energi rendah umumnya digunakan sebagai radiodiagnostik, sedangkan sinar-X dengan energi tinggi umumnya dimanfaatkan untuk radioterapi. Pemanfaatan sinar-X dengan energi rendah di bidang kedokteran umumnya digunakan untuk radiodiagnostik dalam pembuatan foto-foto radiografi konvensional, seperti pembuatan foto-foto radiografi kepala, toraks, abdomen dan lain sebagainya (Susilo, 2011).

Citra radiograf yang dihasilkan oleh sistem radiografi pada dasarnya adalah pemetaan dari berkas sinar-X yang diteruskan I_x , berkas mula-mula yang datang I_0 , tebal obyek x dan kepadatan obyek (tulangnya) λ . Oleh karena adanya kehilangan energi foton didalam tebal x dari lapisan, maka akan terjadi pengurangan intensitas. Hubungan antara I_0 dan I_x adalah sebagai berikut (Susilo, 2010):

$$I_x = I_0 \exp(-\lambda x) \quad (2.2)$$

dengan :

- I_x = Intensitas sinar-x yang menembus media
- I_0 = Intensitas sinar-x mula-mula yang datang ke media
- λ = koefisien absorpsi linier
- x = Tebal materi

Bila sinar-X dilewatkan pada suatu objek, maka sebagian radiasi yang ada akan diteruskan sehingga citra objek dapat direkam pada film. Faktor eksposi yaitu faktor yang mempengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas dari penyinaran radiasi sinar-X yang diperlukan dalam pembuatan gambar radiografi. Secara garis besar faktor eksposi terbagi menjadi dua bagian yaitu *prime exposure factor* dan *X-Ray imaging factor* (Sartinah, 2008).

Faktor eksposi terdiri dari 3 parameter yaitu tegangan tabung (kV), arus (mA), waktu ekspos (s). Tegangan tabung merupakan beda potensial yang diberikan antara anoda dan katoda dalam tabung

sinar-X. Tegangan ini akan menentukan kualitas sinar-X dan daya tembus dari sinar-X. Waktu eksposi (s) merupakan waktu yang menentukan lamanya berkas sinar-X yang di paparkan pada objek yang diekspos. Waktu penyinaran ini berbeda-beda sesuai dengan objek yang diekspos. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi ketidaktajaman gambar yang dihasilkan. Arus tabung dengan satuan milliamper (mA) merupakan besarnya arus listrik antara anoda dan katoda. Arus tabung merupakan faktor yang menentukan jumlah atau kuantitas sinar-X yang dipancarkan oleh tabung sinar-X.

Pada perkembangan selanjutnya, sistem radiografi konvensional yang masih menggunakan film, tergantikan oleh sistem radiografi digital yang mempunyai banyak kelebihan. Sistem radiografi digital mampu mengurangi biaya pencetakan film, mempermudah dalam penyimpanan, lebih ramah lingkungan serta mempermudah dalam mendiagnosa.

Radiografi digital merupakan sebuah bentuk pencitraan sinar-X, dimana sensor-sensor sinar-X digital digunakan untuk menggantikan film radiografi konvensional. Sistem radiografi digital memberikan keleluasan radiografer untuk memperoleh citra radiografi hitam-putih lebih baik dibanding unit *screen film* (SF) pada sistem radiografi konvensional. Perbedaannya dengan sistem radiografi konvensional adalah bagaimana citra laten diciptakan dan bagaimana pengolahan citra ini dikerjakan.

Pengolahan citra merupakan proses pengolahan dan analisis citra yang banyak menggunakan data visual. Terminologi pengolahan citra dipergunakan bila data masukan berupa citra, maka hasil pengolahan citra juga berbentuk citra yang mengandung atau memperkuat informasi khusus pada citra hasil pengolahan sesuai dengan tujuan pengolahannya. Citra radiograf digital merupakan radiograf yang sudah berbentuk file yang tersusun dari kumpulan *pixel* berukuran $N \times M$. Citra hasil radiografi konvensional dapat didigitalisasi dengan proses pendigitalan menggunakan *scanner* atau kamera digital (Munir, 2004: 27).

Tujuan membuat citra adalah agar citra dapat dilihat dengan jelas, untuk itu citra harus memiliki bentuk yang tegas diiringi oleh adanya kontras radiografi yang cukup. Kontras radiografi adalah perbedaan terang diantara berbagai bagian citra, yang sesuai dengan perbedaan daya serap bagian tubuh terhadap sinar-X (Artawijaya, 2010). Dalam radiologi, kualitas gambar adalah ukuran efektivitas untuk diagnosis yang akan dilakukan. Penilaian kualitas citra dilakukan dengan cara penilaian secara

objektif, salah satunya dengan menggunakan besaran CNR (*Contrast to Noise Ratio*). CNR didefinisikan sebagai selisih antara *mean ROI (Region of Interest)* objek dan *mean ROI* latar belakang (*background*), dibagi dengan standar deviasi *background*. Salah satu cara untuk menentukan rasio CNR adalah (Song, 2004):

$$CNR = \frac{S_A - S_B}{\sigma_0} \quad (2.10)$$

dengan :

S_A : *mean ROI* objek

S_B : *mean ROI background*

σ_0 : standar deviasi *background*

METODE PENELITIAN

Alat

Penelitian dilakukan lab Fisika Medik – Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang. Peralatan utama yang digunakan adalah: unit *Mobile X-ray* dengan merk/type Mednif/SF-100BY. Komponen penting dari unit *Mobile X-ray* tersebut antar lain: fasilitas tabung sinar-X, generator tegangan tinggi beserta *panel control*.



Gambar 1. Unit sistem RK di lab Fisika Medik UNNES.

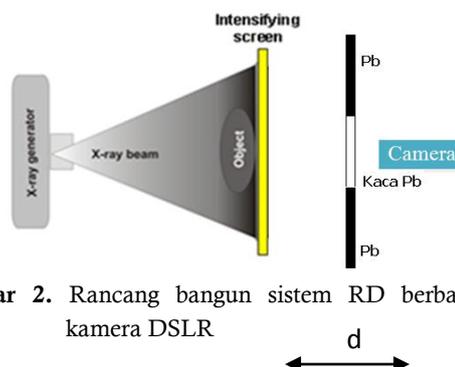
Selain itu diperlukan *intensifying screen* yang berfungsi untuk mengubah sinar-x dari tabung yang telah menembus obyek menjadi sinar tampak. Kamera DSLR EOS 60D untuk menangkap gambar yang berpendar di *intensifying screen* sehingga data radiograf yang tersimpan dalam bentuk digital dan dapat ditampilkan pada Monitor PC. Untuk keamanan operator dan pasien mesin radiografi diagnostik ditempatkan pada ruang kedap cahaya terbalut timbal 1,5 cm sebagai unit proteksi radiasi dan sketsel dari timbal sebagai unit proteksi radiasi yang dilengkapi dengan kaca timbal untuk melindungi kamera DSLR dari paparan sinar-X.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2 tulang kambing yang terdiri dari tulang paha (*femur*) dan tulang betis (*fibula*) dengan ketebalan yang berbeda. Tulang paha memiliki ketebalan 14,16 mm, sedangkan tulang betis memiliki ketebalan 12,7 mm.

Prosedur Penelitian

Secara skematis, rancang bangun sistem Radiografi Digital dengan menggunakan kamera DSLR dilukiskan seperti Gambar 2. Skema tersebut menjelaskan tentang sistem Radiografi Konvensional yang dimodifikasi menjadi sistem Radiografi Digital berbasis kamera DSLR.



Gambar 2. Rancang bangun sistem RD berbasis kamera DSLR

Prosedur pertama yang dilakukan adalah mengatur parameter pada kamera DSLR EOS 60D. Pertama-tama adalah mengatur Fokus Lensa pada MF (*Manual Focus*), kemudian mengatur tombol *Mode Dial* pada menu M (*Manual*). Pada menu M terdapat menu *picture style* dan pilih mode *monochrome* yang akan menghasilkan gambar hitam-putih.

Didalam pengoperasian pesawat sinar-x diperlukan pengaturan parameter faktor eksposi antara lain tegangan tabung (KV), arus (mA) dan waktu ekspos (s). Variasi faktor eksposi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut; tegangan tabung yang digunakan 60 kV – 85 kV, arus yang digunakan 16 mA – 100 mA dan waktu ekspos yang digunakan 0,5 s – 2 s. Setelah pengaturan selesai, dilakukan ekspos dengan menekan tombol ekspos pada *remote control* dan menekan tombol *shutter* pada kamera secara bersamaan. Eksperimen harus dilakukan pada ruang kedap cahaya, sehingga dengan setting kamera yang sesuai citra radiograf dapat ditangkap dengan baik.

Hasil digitalisasi citra radiograf yang diperoleh kemudian dianalisis kualitas citranya dengan CNR (*Contrast to Noise Ratio*) yang dibangun dengan *software* MATLAB. CNR merupakan salah satu indikator untuk menentukan kualitas citra dengan menghitung selisih antara *mean* dari ROI objek dengan *mean* dari

latar belakang (*background*), dibagi dengan standar deviasi dari *background* (Song, 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Digitalisasi Citra Radiograf Menggunakan Kamera DSLR

Pada penelitian ini, objek yang diekspos adalah tulang paha (femur) dan tulang betis (fibula) dengan memvariasikan arus mulai dari 16 mA, 32 mA, 63 mA dan 100 mA. Kemudian memvariasikan tegangan tabung mulai dari 60 kV sampai dengan 85 kV. Pada setiap tegangan tabung, divariasikan waktu ekspos mulai dari 0,5 s; 1 s; 1,6 s dan 2s. Hasil citra radiograf digital yang ditangkap oleh kamera DSLR dengan format JPEG dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 9.

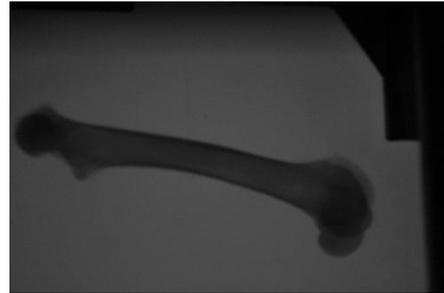


(a)

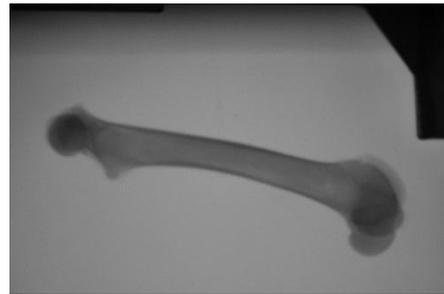


(b)

Gambar 3. Hasil Radiografi Digital Tulang Paha pada Tegangan Tabung 70 kV dan Arus 100 mA dengan Variasi (a) Waktu Ekspos 0,5 s, (b) Waktu Ekspos 1 s

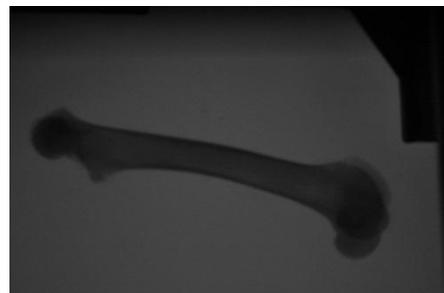


(a)



(b)

Gambar 4. Hasil Radiograf Digital Tulang Paha dengan Arus 63 mA dan Waktu Ekspos 0,5 s dengan variasi (a) Tegangan Tabung 60 kV, (b) Tegangan Tabung 80 kV.

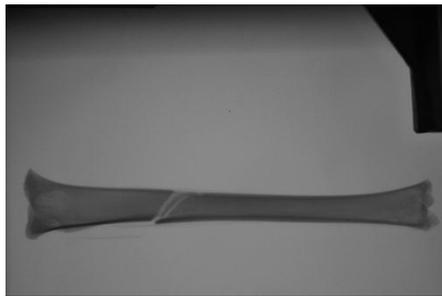


(a)

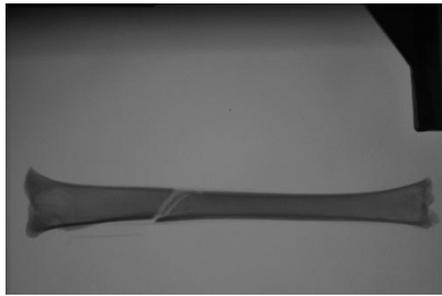


(b)

Gambar 5. Hasil Radiograf Digital Tulang Paha pada Tegangan Tabung 70 kV dan Waktu Ekspos 0,5 s dengan Variasi (a) Arus 32 mA, (b) Arus 63 mA.

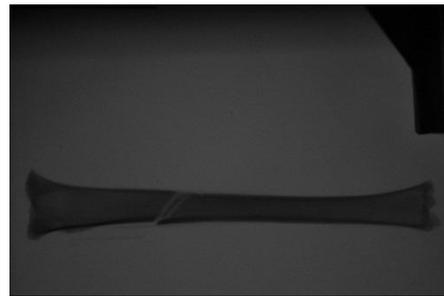


(a)

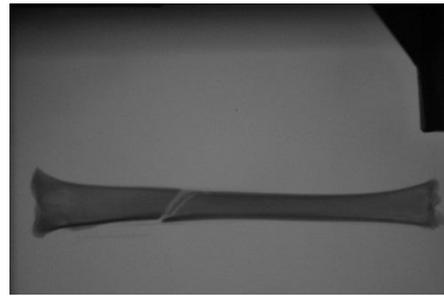


(b)

Gambar 6. Hasil Radiograf Digital Tulang Betis pada Tegangan Tabung 70 kV dan Arus 100 mA dengan Variasi (a) Waktu Ekspos 0,5 s, (b) Waktu Ekspos 1 s.

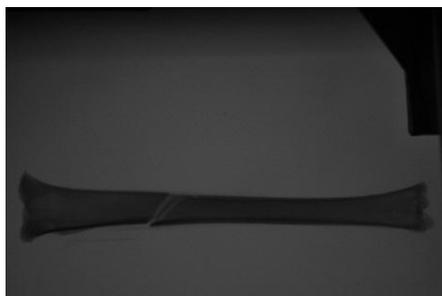


(a)

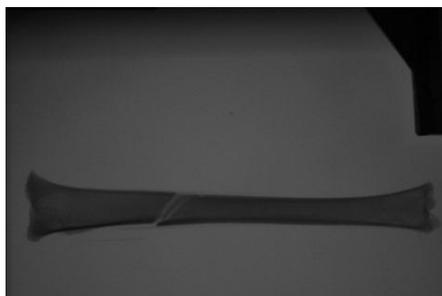


(b)

Gambar 8. Hasil Radiograf Digital Tulang Betis pada Tegangan Tabung 70 kV dan Waktu Ekspos 0,5 s dengan Variasi (a) Arus 32 mA, (b) Arus 63 mA.



(a)

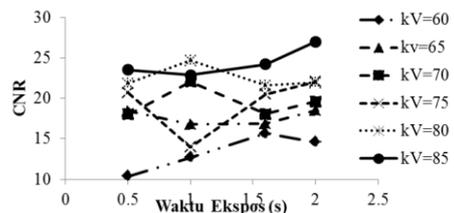


(b)

Gambar 7. Hasil Radiograf Digital Tulang betis dengan Arus 63 mA dan Waktu Ekspos 0,5 s dengan variasi (a) Tegangan Tabung 60 kV, (b) Tegangan Tabung 80 kV.

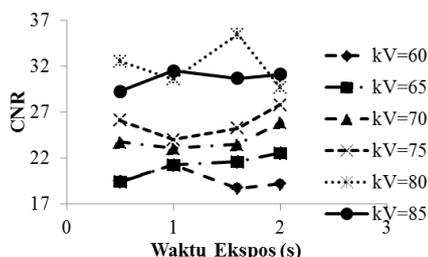
Analisis Kualitas Citra dengan CNR

Hasil digitalisasi citra radiograf yang diperoleh kemudian dianalisis kualitas citranya dengan CNR. Nilai CNR merupakan indikator penilaian kualitas citra dengan menghitung selisih antara mean dari ROI objek dengan mean dari latar belakang (background), dibagi dengan standar deviasi dari background.. Kontras radiografi adalah perbedaan terang diantara berbagai bagian citra, yang menyatakan perbedaan daya serap bagian tubuh terhadap sinar-X. Struktur dari objek tidak akan terlihat, bila nilai kontras disekitarnya atau nilai CNR rendah, begitu pula sebaliknya. Dari setiap variasi faktor eksposi didapatkan nilai CNR yang ditunjukkan pada Gambar 9.



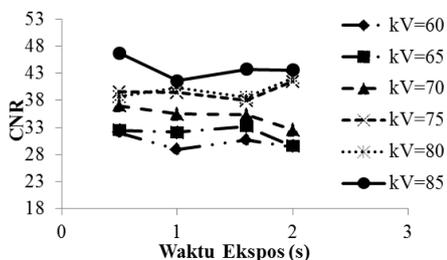
Gambar 9. Grafik Nilai CNR untuk Tulang Paha pada Setiap Variasi Faktor Ekpos (s) dan Tegangan Tabung (kV) pada Arus 16 mA

Dari Gambar 9. Nilai CNR yang paling tinggi berada pada nilai 26,98 pada tegangan tabung 85 kV dan waktu ekspos 2 s . Nilai CNR yang paling tinggi inilah yang menunjukkan tegangan tabung dan waktu ekspos yang paling optimum untuk arus 16 mA. Penelitian selanjutnya dilakukan dengan menaikkan arus menjadi 32 mA, dan didapatkan nilai CNR yang ditunjukkan dalam Gambar 10.



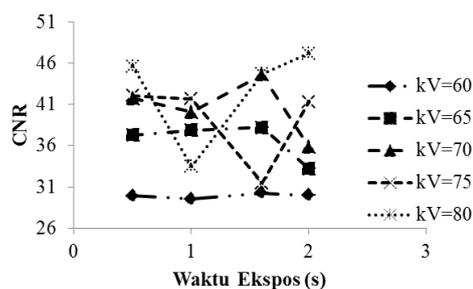
Gambar 10. Grafik Nilai CNR untuk Tulang Paha pada Setiap Variasi Faktor Ekpos (s) dan Tegangan Tabung (kV) pada Arus 32 mA

Nilai CNR yang paling tinggi berada pada nilai 35.48 berada pada tegangan tabung 80 kV dan waktu ekspos 1,6 s. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada arus 32 mA, nilai tegangan tabung yang optimum untuk arus 32 mA adalah 80 kV dan waktu ekspos yang optimum adalah 1,6 s.



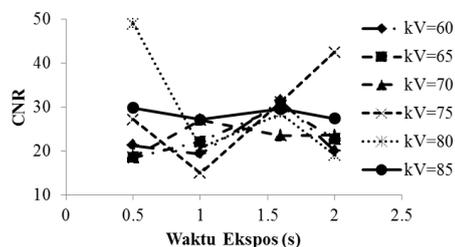
Gambar 11. Grafik Nilai CNR untuk Tulang Paha pada Setiap Variasi Faktor Ekpos (s) dan Tegangan Tabung (kV) pada Arus 63 mA

Pada penelitian selanjutnya arus dinaikkan menjadi 63 mA dengan variasi tegangan tabung dan waktu ekspos sama. Hasil analisis CNR untuk setiap variasi tegangan tabung dan waktu ekspos dapat dilihat pada Gambar 11. Nilai CNR yang paling tinggi berada pada nilai 46,74 pada tegangan tabung 85 kV dan waktu ekspos 0,5 s. Dari data tersebut dapat di-simpulkan bahwa pada arus 63 mA, tegangan tabung yang optimum adalah 85 kV dan waktu ekspos yang optimum adalah 0,5 s.



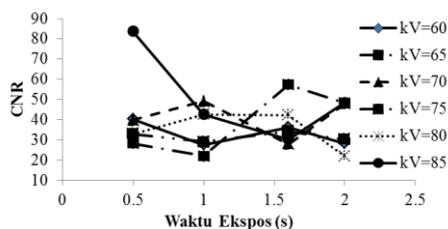
Gambar 12. Grafik Nilai CNR untuk Tulang Paha pada Setiap Variasi Faktor Ekpos (s) dan Tegangan Tabung (kV) pada Arus 100 mA

Pada arus 100 mA, tegangan tabung yang optimum adalah 80 kV dan waktu ekspos yang optimum adalah 2 s, karena dapat dilihat pada gambar diatas bahwa nilai CNR yang paling tinggi berada pada nilai 47,18 pada tegangan 80 kV dan waktu ekspos 2 s. Selain menggunakan tulang paha, penelitian ini juga menggunakan objek lain yaitu tulang betis, dengan menggunakan arus yang tetap yaitu 16, kemudian memvariasikan tegangan tabung dan waktu ekspos seperti perlakuan pada objek pertama. Dari setiap variasi faktor eksposi tersebut didapatkan nilai CNR yang ditunjukkan dalam Gambar 13.



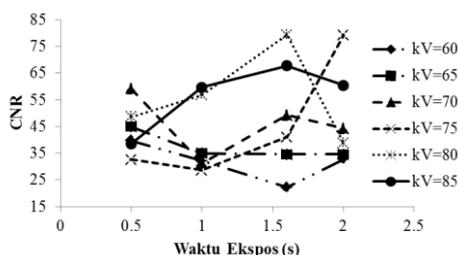
Gambar 13. Grafik Nilai CNR untuk Tulang Betis pada Setiap Variasi Faktor Ekpos (s) dan Tegangan Tabung (kV) pada Arus 16 mA

Nilai CNR yang paling tinggi berada pada nilai 48,9 pada tegangan tabung 80 kV dan waktu ekspos 0,5 s. Nilai CNR yang paling tinggi inilah yang menunjukkan tegangan tabung dan waktu ekspos yang paling optimum. Nilai CNR untuk arus 32 mA dengan variasi tegangan tabung dan waktu ekspos dapat dilihat pada Gambar 14.



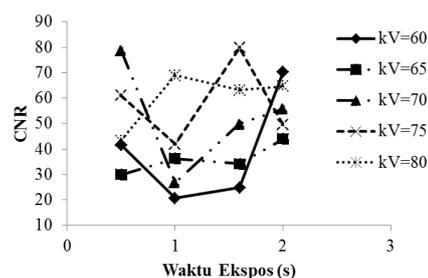
Gambar 14. Grafik Nilai CNR untuk Tulang Betis pada Setiap Variasi Faktor Ekpos (s) dan Tegangan Tabung (kV) pada Arus 32 mA

Ketika arus dinaikkan menjadi 32 mA, dapat dilihat pada gambar diatas bahwa nilai CNR yang paling tinggi berada pada nilai 83,81 dengan tegangan tabung 85 kV dan waktu ekspos 0,5 s. Jadi, tegangan tabung yang optimum untuk arus 32 mA adalah 85 kV dan waktu ekspos yang optimum adalah 0,5 s. Pada penelitian selanjutnya, arus dinaikkan menjadi 63 mA.



Gambar 15. Grafik Nilai CNR untuk Tulang Betis pada Setiap Variasi Faktor Ekpos (s) dan Tegangan Tabung (kV) pada Arus 63 mA

Pada arus 63 mA, tegangan tabung yang optimum adalah 80 kV. Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa nilai CNR yang paling tinggi berada pada nilai 79,3 saat tegangan tabung 80 kV dan waktu ekspos 1,6 s. Pada penelitian terakhir, arus yang digunakan adalah 100 mA, dengan memvariasikan tegangan tabung dan waktu ekspos, dan nilai CNR dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik Nilai CNR untuk Tulang Betis pada Setiap Variasi Faktor Ekpos (s) dan Tegangan Tabung (kV) pada Arus 100 mA

Ketika arus dinaikkan menjadi 100 mA, dapat dilihat pada grafik diatas bahwa nilai CNR yang paling tinggi berada pada nilai 79,87 pada saat tegangan tabung 75 kV dan waktu ekspos 1,6 s. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada arus 100 mA, nilai tegangan tabung yang optimum adalah 75 kV dan waktu ekspos yang optimum adalah 1,6 s.

Arus tabung merupakan faktor yang menentukan jumlah atau kuantitas sinar-X yang dipancarkan oleh tabung sinar-X. Pemilihan arus berhubungan dengan pemilihan ukuran focal spots, semakin besar arus maka focal spots yang dipilih besar begitu sebaliknya. Pada penelitian pertama dengan menggunakan objek tulang paha dengan tebal 16,15 mm, dilakukan variasi arus mulai dari 16 mA, 32 mA, 63 mA dan 100 mA. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan nilai CNR yang paling tinggi, yaitu 47,18 dengan arus 100 mA, sehingga dapat disimpulkan bahwa arus yang paling optimum adalah 100 mA. Arus yang paling optimum untuk objek kedua yaitu tulang betis dengan tebal 12,7 mm adalah 32 mA. Hal tersebut didapatkan dari nilai CNR yang paling tinggi adalah 83,81 saat arus yang digunakan adalah 32 mA.

KESIMPULAN

Sesuai dengan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk objek pertama dengan menggunakan tulang paha (femur) dengan tebal 14,16 mm, nilai CNR tertinggi adalah 47,18 pada tegangan 80 kV dengan arus 100 mA dan waktu ekspos 2 s. Untuk objek kedua dengan menggunakan tulang betis (fibula) dengan tebal 12,7 mm, didapatkan nilai CNR tertinggi 83,81 pada tegangan tabung 85 kV dengan arus 32 mA dan waktu ekspos 0,5 s. Nilai CNR yang paling

tinggi digunakan untuk menentukan kualitas citra yang paling bagus.

2. Dengan menggunakan analisis nilai CNR, didapatkan parameter faktor eksposi yang paling optimum untuk kualitas citra yang paling bagus. Untuk objek tulang paha, parameter faktor eksposi yang optimum adalah dengan menggunakan arus 100 mA, tegangan tabung 80 kV dan waktu ekspos 2 s. Untuk objek kedua yaitu tulang betis, parameter faktor eksposi yang paling optimum adalah dengan menggunakan arus 100 mA, tegangan tabung 80 kV dan waktu ekspos 1,6 s.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2009. The mobile diagnostic X-ray machine – The user manual, Type SF100 BY, Shanghai Guang Zheng: Medical Instrument Limited Company.
- Artawijaya, Ajunk. 2010. Kualitas Citra Radiograf Foto Rontgent. On line at <http://catatanradiograf.blogspot.com/2010/01/kualitas-citra-radiografi-foto-rontgent.html> [diakses pada tanggal 13 February 2014].
- Beiser. A., 1999. Konsep Fisika Modern Edisi Keempat. Jakarta : Erlangga.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/contrast-to-noise-ratio>, diakses pada tanggal 13 February 2014
- <http://www.mathworks.com/matlabcentral/newsreader/view-thread/304250>, [diakses pada tanggal 13 February 2014].
- Munir, Rinaldi. 2004. Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik. Bandung: Informatika Bandung.
- Naralywan, 2013. Perbandingan Konvensional dengan CR Computer. On line at <http://kristinaanaralywan.blogspot.com/2013/10/perbandingan-konvensional-cr-computer.html>. [diakses pada tanggal 27 Januari 2014].
- Nirmalasari, Dyah. 2012. Pergeseran luas lapangan penyinaran (light field alignment) dari alat radiografi di RSUD dr. Soetomo Surabaya (Skripsi). Surabaya : Universitas Airlangga Surabaya.
- Sartinah, Sumariyah, N. Ayu., 2008. Variasi nilai eksposi aturan 15% pada radiografi menggunakan imaging plate untuk mendapatkan kontras tertinggi. Berkala Fisika. ISSN: 1410-9662 Vol. 11, No. 2.
- Song, Xiaomei., W. Brian. 2004. Automated region detection based on the contrast-to-noise ratio in rear-infrared tomography. Optical Society of America. New Hampshire.
- Susilo, 2012. Pencitraan tulang dengan perangkat lunak berbasis matlab pada radiografi digital untuk diagnosis metasis tulang (disertasi). Semarang: Universitas Diponegoro.
- Susilo, dkk. 2013. Kajian sistem radiografi digital sebagai pengganti sistem computed radiograph yang mahal. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng dan DIY. Solo 23 Maret 2013. ISSN:0853-0823.
- Susilo, Maesadi TN, Kusminarto & Wahyu SB. 2011. Kajian fisika indeks-keabuan dengan teknik radiografi digital pada pemeriksaan tulang metastatik. Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia. Vol 8, NO 1. ISSN 1693-1246.
- Susilo, Sunarno, Azam, M., Anam C., 2010. Rancang bangun sistem pencitraan radiografi digital untuk pengembangan layanan rumah sakit daerah dalam pelaksanaan otonomi daerah dan desentralisasi (Laporan Penelitian Unggulan Strategis Nasional). Jakarta: Dikti.
- Wang, Xiaohui., Luo, Hui,. 2013 Automated quantification of digital radiographic image quality. Grant. US8571290B2