

# ANALISA PENGARUH FAKTOR EKSPOSI PESAWAT SINAR-X TERHADAP DENSITAS OPTIK FILM RADIOGRAFI

Evi Yufita, Sri Intan Bancin, Zulfalina, Irhamni, Malahayati, Mursal, Rini Safitri\*  
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111 Indonesia

Email : rsafitri@usk.ac.id

(Received: Februari 2023 / Revised: March 2023 / Accepted: March 2023)

## ABSTRAK

Film *radiografi* yang berkualitas akan memberikan informasi semaksimal mungkin kepada pihak medis khususnya dokter untuk mendiagnosa suatu penyakit. Citra film yang berkualitas baik, salah satunya ditandai oleh parameter *densitas optik*. Faktor yang menentukan parameter tersebut salah satunya adalah faktor *eksposi* berupa nilai arus dan tegangan tabung serta waktu penyinaran. Pada tubuh manusia memiliki jaringan penyusun yang mempunyai ketebalan, rapat massa dan nomor atom yang berbeda-beda. Sehingga setiap jaringan tersebut memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi berbeda-beda pula, akibatnya menghasilkan *densitas optik* yang berbeda. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh faktor *ekspos* terhadap *densitas optik* dari citra film *radiografi* yang dihasilkan dengan menggunakan software platform java Image-J Basics version 1.38. Sampel yang digunakan untuk mewakili jaringan yang ada di tubuh adalah tulang, lemak, jelly, selain itu digunakan juga penambahan sampel seperti besi dan Aluminium (koin). Wadah yang digunakan tempat peletakan sampel terbuat dari akrilik. Faktor *eksposi* yang digunakan adalah variasi tegangan tabung sebesar 60kV, 70kV, 75kV dan 85kV, sarta variasi arus tabung sebesar 20mA, 25mA dan 32mA. Nilai *densitas optik* diperoleh dengan cara menentukan segmentasi pada citra film dari akrilik yang telah diisi kelima sampel dengan menggunakan perangkat lunak image-J. Hasil yang diperoleh adalah faktor *eksposi* yang diberikan sangat mempengaruhi nilai *densitas optik* pada setiap sampel, dimana *densitas optik* yang paling optimal terdapat pada arus 20mA Pada tegangan 60 kV. Pada arus 25 mA, *densitas optik* yang paling optimal berada di tegangan 70 kV. Pada arus 32 mA, *densitas optik* optimal berada di tegangan 70 kV.

**Kata Kunci** Pesawat sinar-X, Citra radiografi, Faktor eksposi, Densitas optik, Image-J.

## 1. PENDAHULUAN

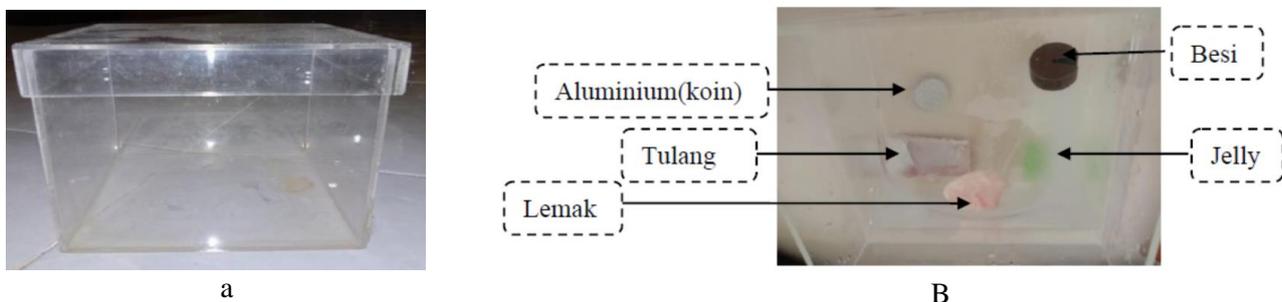
Radiasi sinar-X sangat berkembang pesat di bidang teknologi radiologi dan sangat banyak memberikan manfaat terutama dalam mendiagnosis suatu penyakit tanpa melakukan tindakan pembedahan. Salah satu peralatan yang sering digunakan dalam bidang radiologi adalah pesawat sinar-X [1]. Ketika sinar-X mengenai tubuh, maka sinar-X akan berinteraksi dengan jaringan-jaringan yang ada di dalam tubuh. Proses interaksi ini menyebabkan hilangnya sebagian intensitas sinar-X. Berkas sinar-X yang telah menembus bahan akan ditangkap oleh film sehingga akan berbentuk gambar dari bagian objek yang disinari [2]. Kemampuan sinar-X dapat menembus bahan perekam berupa emulsi film, maka akan timbul perbedaan kehitaman (kontras) akibat perbedaan kerapatan organ yang dimanfaatkan dalam dunia kedokteran untuk menampakkan radiograf. Pada dasarnya kontras dibentuk oleh perbedaan intensitas sinar-X setelah menembus bahan atau objek yang sampai ke film. Sehingga pada film akan tergambar variasi pola derajat kehitaman film yang terang dan gelap [3]. Gambaran citra yang terang berasal dari bagian objek yang memiliki nilai koefisien atenuasi yang tinggi dimana semua paparan sinar-X hampir diserap oleh objek itu sendiri. Sedangkan pola pada film yang memiliki densitas hitam dihasilkan dari objek yang memiliki nilai koefisien atenuasi rendah sehingga hampir semua sinar-X akan dilewatkan dan diteruskan ke film. Untuk menghasilkan film radiograf yang memberikan informasi semaksimal mungkin diperlukan kualitas citra film radiografi yang optimal [4]. Film radiografi yang berkualitas dapat diukur melalui parameter densitas optik, kontras dan ketajaman gambar dari setiap organ yang terekspose. Faktor-faktor tersebut sangat ditentukan oleh pemberian besarnya nilai faktor eksposi saat pemeriksaan, maka perlu dilakukan usaha-usaha untuk menekan hal-hal yang dapat menurunkan kualitas radiografi. Faktor eksposi terdiri atas tegangan tabung (kV), arus tabung (mA) dan waktu penyinaran (s)[5]. Pengaturan faktor eksposi yang tepat dapat menghasilkan kontras citra radiograf yang optimal yaitu mampu menunjukkan perbedaan derajat kehitaman

(densitas optik) yang jelas antar objek yang mempunyai kerapatan dan nilai koefisien atenuasi yang berbeda-beda [6]. Faktor eksposi sangat bergantung pada ukuran tebal dan kerapatan objek dan hasil akhirnya juga sangat mempengaruhi hasil citra radiografi [7]. Derajat kehitaman merupakan sifat optikal dari sebuah film yang memberikan gambaran jaringan-jaringan yang berbeda dari hasil citra pesawat sinar-X, diantaranya udara memiliki kontras berwarna hitam, lemak berwarna hitam, cairan serebrospinal (cairan yang melindungi otak) berwarna hitam, otak berwarna abu-abu, darah dan tulang berwarna putih [8]. Faktor eksposi tersebut berkaitan dengan setiap bahan atau materi yang disinari karena kemampuan penyerapan bahan terhadap radiasi berbeda-beda, hal ini dikenal dengan istilah koefisien atenuasi ( $\mu$ ). Jika ada radiasi yang datang pada suatu benda maka besar nilai intensitas radiasi yang masuk ke bahan dan yang keluar dari bahan akan berbeda, ini disebabkan oleh sifat pelemahan (*attenuate*) dari bahan tersebut [9]. Perbedaan jenis jaringan juga mengakibatkan penurunan intensitas, hal ini sangat bergantung pada ketebalan ( $t$ ) dan koefisien atenuasi dari material ( $\mu$ ). Intensitas ( $I$ ) dari penyinaran setelah melewati material [10].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk melihat kualitas citra radiografi dari pesawat sinar-X sebagai pengaruh faktor eksposi dengan menggunakan phantom berupa air dalam wadah plastik berbentuk persegi (tanpa menggunakan objek di dalamnya) sebagai pengganti manusia. Fokus film distance (FFD) yang digunakan sebesar 100 cm dan luas lapangan penyinaran 15 cm  $\times$  15 cm. Kondisi penyinaran diberikan dengan faktor eksposi meliputi variasi tegangan tabung sebesar 60 kV, 65 kV, 70 kV, 75 kV, 80 kV dan arus waktunya sebesar 20 mAs, 25 mAs dan 30 mAs. Hasil yang diperoleh adalah semakin tinggi pemberian nilai tegangan tabung, arus dan waktu akan mengurangi nilai kontras, kuantitas dan kecerahan citra radiografi. Faktor eksposi yang paling optimum diperoleh dengan kualitas citra radiografi baik terdapat pada tegangan tabung 60 kV waktu arus 25 mAs [11]. Oleh karena itu, untuk mengembangkan penelitian di atas, maka pada penelitian ini ingin mengamati kualitas citra berdasarkan nilai densitas optik film radiografi dari sampel berupa tulang sapi, lemak sapi, jelly, besi dan Aluminium (koin) yang dimasukkan ke dalam phantom berbahan akrilik berbentuk persegi dengan menggunakan variasi tegangan dan arus tabung pada pesawat sinar-X. Penelitian ini juga dilakukan perancangan phantom sebagai wadah penelitian, yang nantinya dapat mendukung kegiatan pangajaran praktikum di jurusan minat bakat fisika medis.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan perancangan phantom akrilik yang berukuran panjang 15 cm dan lebar 15cm seperti terlihat pada Gambar 1.a dan persiapan beberapa sampel yang akan dimasukkan ke dalam phantom akrilik yaitu tulang sapi, lemak sapi, jelly, besi dan Aluminium (koin) sebagai objek penelitian. Sebelum proses pengeksposan, terlebih dahulu diukur tebal dan massa setiap sampel lalu dilanjutkan pengeksposan sampel. Pada saat pengeksposan sampel, terlebih dahulu phantom akrilik dimasukkan tulang sapi, lemak sapi, jelly, besi, Aluminium seperti terlihat pada Gambar 1.b.



**Gambar 1.** a. Rancangan Phantom Akrilik. b. Posisi sampel di dalam Phantom Akrilik

Kemudian phantom tersebut diletakkan di atas pertengahan kaset CR yang telah diletakkan pada meja pemeriksaan. Besar dosis yang dikeluarkan tabung *X-Ray* untuk setiap arus dan tegangan diukur dengan alat multimeter *X-ray* yang diletakkan di atas phantom. Gambaran pengeksposan ini terlihat pada Gambar 2. Jarak tabung *X-Ray* dengan phantom akrilik sejauh 100 cm dengan luas lapangan penyinaran pada kolimator sebesar 15cm $\times$ 15cm. Faktor eksposi dilakukan untuk setiap variasi tegangan tabung: 65 kV, 70

kV, 75 kV, 85 kV dan arus waktu: 20 mAs, 25 mAs dan 32 mAs. Pengukuran densitas optik dari citra film yang dihasilkan diolah menggunakan software Image-J.

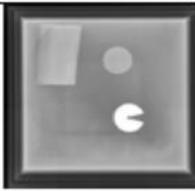
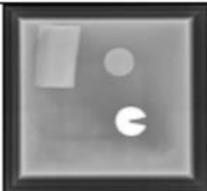
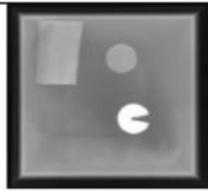
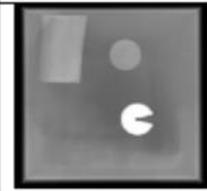
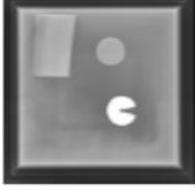
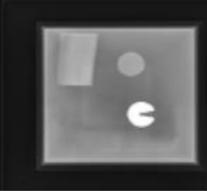
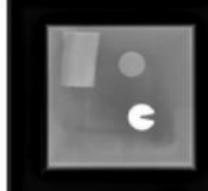
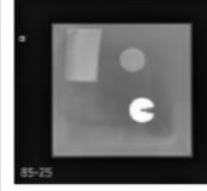
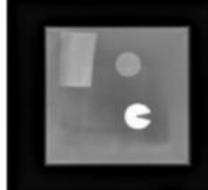


**Gambar 2.** Gambaran posisi phantom akrilik pada saat proses pengeksposan.

### 3. HASIL dan PEMBAHASAN

#### Ketajaman Film Radiografi Berdasarkan Faktor Eksposi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh faktor eksposi terhadap ketajaman film dengan densitas optik (kerapatan optik) dari setiap sampel (jaringan) yang berbeda. Gambaran citra yang bagus adalah citra yang mampu memperlihatkan batas tegas antara daerah-daerah yang memiliki kerapatan yang berbeda. Tubuh manusia memiliki jaringan yang mempunyai ketebalan, rapat massa dan nomor atom yang berbeda-beda. Sehingga setiap jaringan tersebut memiliki kemampuan menyerap radiasi berbeda-beda pula. Material dengan kerapatan yang tinggi memiliki kemampuan yang cukup besar menyerap radiasi akibatnya sedikit radiasi yang diteruskan. Jumlah radiasi yang diteruskan ke film ini sangat menentukan ketajaman dan warna citra yang dihasilkan/direkam sehingga dapat lebih mudah membedakan setiap objek yang diekspos pada saat pengamatan. Gambar 3 memperlihatkan gambaran citra film radiografi dari sampel (besi, aluminium (koin), tulang, lemak dan jelly) dengan pemberian variasi faktor eksposi yang berbeda.

Arus (mA)	Tegangan 60 Kv	Tegangan 70 kV	Tegangan 75 Kv	Tegangan 85 kV
20				
25				
32				

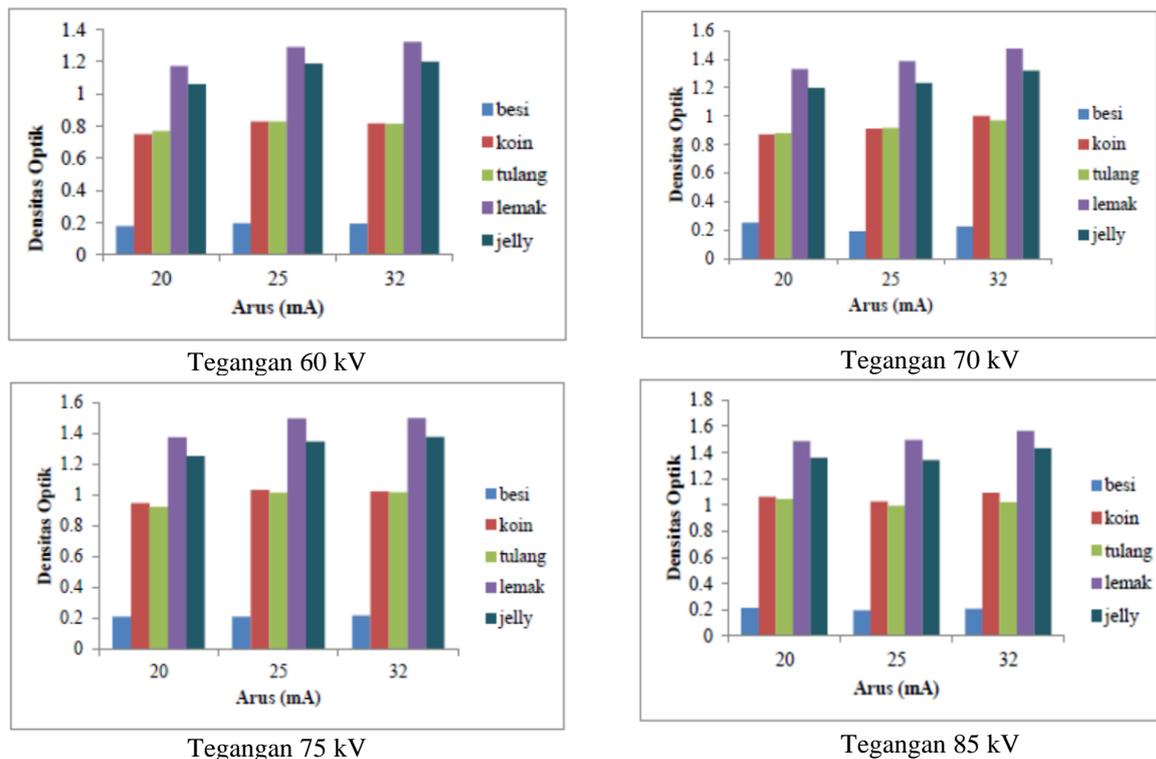
**Gambar 3.** Gambaran citra radiografi phantom akrilik pada besi, aluminium (koin), tulang, lemak dan jelly pada arus 20 mA, 25 mA dan 32 mA dengan tegangan tabung sebesar 60 kV, 70 kV, 75kV, 85 kV.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa faktor eksposi sangat mempengaruhi kualitas citra radiografi yang dihasilkan baik densitas optik dan tingkat kontrasnya. Pada pemberian arus yang konstan yaitu 20 mA dengan memvariasikan tegangan yaitu 60kV, 70 kV dan 75kV menghasilkan nilai kontras citra yang relatif tinggi dibandingkan pada tegangan 85kV, hal ini dapat dilihat dari hasil citra yang diperoleh mampu membedakan objek dengan *background*. Adapun citra radiografi pada tegangan 85 kV memiliki nilai kontras yang sedikit lebih rendah dibandingkan pada tegangan lainnya, dimana gambaran objeknya dapat dibedakan terhadap background namun ketajaman antara background dan objek lain terlihat lebih gelap. Pada arus 25 mA, gambaran citra yang menunjukkan perbedaan densitas optik yang baik antara objek dimiliki oleh citra dengan tegangan 60 kV dan 70 kV, dimana citra dari objek-objek yang terekspos terlihat jelas dan dapat dibedakan dengan background. Untuk citra dengan tegangan 75 kV dan 85 kV, objek (sampel) yang terekspose terlihat jelas dan bisa dideteksi, namun citra ini memiliki kontras yang lebih rendah, dimana pada background citra ini terlihat sedikit gelap dibandingkan citra pada tegangan 60 kV dan 70 kV.

Hal yang sama juga terjadi pada arus 32 mA menghasilkan citra yang berbeda-beda, baik dari segi ketajaman dan densitas optik dari setiap sampel. Pada citra dengan tegangan 60 kV dan 70 kV, memiliki ketajaman dan tingkat keabuan yang bisa dibaca dengan jelas untuk sampel yang memiliki nilai attenuasi bahan yang tinggi (besi dan Aluminium). Sedangkan pada jelly dan lemak (jaringan lunak) yang memiliki nilai attenuasi yang kecil menghasilkan gambaran citra yang lebih gelap. Gambaran citra pada tegangan 75kV dan 85 kV, sampel yang terekspose masih bisa dilihat dengan mata telanjang, namun kedua citra tersebut sampel dan background memiliki kontras yang sedikit lebih gelap. Terangnya hasil citra film radiografi pada sampel dengan kerapatan tinggi disebabkan karena pada saat pengeksposan, sinar-X banyak diserap oleh sampel tersebut sehingga radiasi sinar-X yang diteruskan ke film sedikit sehingga menghasilkan citra film yang lebih putih. Dan pada kedua citra tadi antara objek dan background dapat dibedakan dengan jelas. Kondisi sebaliknya terjadi untuk sampel yang atenuasinya kecil (jaringan lunak), dimana pada saat pengeksposan, sinar-X tidak banyak diserap oleh sampel namun banyak diteruskan ke film sehingga menghasilkan citra film yang lebih gelap.

#### Pengaruh Arus Tabung Sinar-X Terhadap Densitas Optik

Nilai densitas optik dari citra radiografi, salah satunya dipengaruhi oleh besarnya pemberian arus tabung pada pesawat sinar-X. Gambar 4, memperlihatkan hubungan arus tabung dengan densitas optik pada tegangan konstan menggunakan software image-J.



Gambar 4. Pengaruh variasi arus tabung terhadap *densitas optik* pada tegangan 60 kV, 70 kV, 75 kV dan 85 kV

Pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa besar arus tabung sangat mempengaruhi nilai densitas optik yang dihasilkan. besarnya arus tabung akan menunjukkan kuantitas radiasi yang diberikan sehingga intensitas sinar-X akan bertambah sesuai dengan peningkatan intensitas radiasi sinar-X tersebut. Semakin tinggi arus tabung yang diberikan maka semakin besar jumlah sinar-X yang menuju ke film yang akan menyebabkan densitas optik film radiograf yang dihasilkan semakin besar [12]. Pada tegangan 60 kV dengan besar arus tabung yang berbeda, ternyata mempengaruhi nilai densitas optik pada setiap bahan. Untuk besi, densitas optik yang paling tinggi diperoleh pada arus 25 mA sebesar 0,198 dan yang paling rendah pada arus 20 mA sebesar 0,181. Hal ini dikarenakan besi memiliki nilai koefisien atenuasi yang tinggi sehingga memiliki densitas optik yang paling kecil dibandingkan dengan sampel yang lainnya. Untuk Aluminium (koin), densitas optik yang paling tinggi ditunjukkan pada arus 25 mA sebesar 0,830 dan terendah pada arus 20 mA sebesar 0,752. Pada tulang densitas optik yang paling tinggi diperoleh pada arus 25 mA sebesar 0,829 dan terendah dimiliki oleh arus 20 mA sebesar 0,770. Densitas optik Aluminium (koin), besi dan tulang memiliki pengaruh yang sama terhadap arus, dimana semakin tinggi arus yang diberikan densitas optik yang dihasilkan semakin besar, namun penurunan densitas terjadi pada arus 32 mA untuk ketiga sampel ini. Hal ini dikarenakan pada ketiga sampel ini memiliki nilai kerapatan tinggi dan komposisi yang terkandung di dalam ketiga sampel sehingga terdapat pelemahan elektron ketika diberi arus yang tinggi. Sedangkan pada lemak, dengan tegangan 60 kV densitas optik yang paling tinggi diperoleh pada arus 32 mA sebesar 1,324 dan terendah dimiliki pada arus 20 mA sebesar 1,174. Sedangkan pada jelly, densitas optik tertinggi dimiliki oleh arus 32 mA sebesar 1,200 dan terendah terdapat pada arus 20 mA sebesar 1,061. Pada kedua sampel ini menghasilkan densitas optik yang berbanding lurus dengan arus yang diberikan. Di mana semakin besar arus yang diberikan maka densitas optik yang dihasilkan semakin besar pula, dan densitas optik kedua sampel ini memiliki nilai densitas optik yang paling tinggi karena nilai koefisien atenuasinya sangat kecil sehingga hampir semua radiasi yang diberikan melewati sampel sehingga menghasilkan citra yang hitam atau gelap bahkan tidak terlihat. Pola yang sama juga terjadi untuk tegangan 70 kV, 75 kV dan 85kV.

Pada tegangan 70 kV, grafik menunjukkan bahwa densitas optik yang paling tinggi terdapat pada lemak dengan arus 32 mA sebesar 1,474, lemak mendapatkan citra yang gelap bahkan tidak terlihat bentuknya dengan jelas dikarenakan radiasi yang ditembakkan hampir lewat semua dan ditangkap oleh film. Pada besi memiliki densitas optik yang paling rendah diantara kelima sampel tersebut, dimana densitas optik yang paling rendah terdapat pada arus 25 mA sebesar 0,192 dan tertinggi pada arus 20 mA sebesar 0,253. Pada tegangan ini, setiap arus yang diberikan menghasilkan densitas optik yang naik turun. Pada Aluminium (koin) untuk tegangan ini densitas optik yang tertinggi dimiliki oleh arus 32 mA sebesar 1,002 dan terendah pada arus 20 mA sebesar 0,872, pada tegangan ini arus yang diberikan berbanding lurus dengan densitas optik yang dihasilkan, semakin besar arus maka densitas optik yang dihasilkan semakin besar. Untuk tulang, densitas optik yang paling tinggi ditunjukkan pada arus 32 mA sebesar 0,971 dan densitas optik terkecil pada arus 20 mA sebesar 0,880, untuk tulang densitas optik terhadap arus yang sama dengan Aluminium (koin) yaitu berbanding lurus. Untuk jelly, densitas optik yang diperoleh tertinggi kedua setelah lemak dimana citra yang dihasilkan gelap bahkan tidak terlihat oleh mata, densitas yang diperoleh juga berbanding lurus dengan besar arus yang diberikan, dimana densitas tertinggi pada arus 32 mA sebesar 1,321 dan terendah pada arus 20 mA sebesar 1,199.

Pada tegangan 75 kV diperoleh bahwa untuk besi memiliki densitas optik yang terendah pada arus 32 mA sebesar 0,218 dan terendah pada arus 20 mA sebesar 0,212. Untuk densitas optik Aluminium (koin), densitas optik yang dihasilkan naik turun pada setiap besar arus yang diberikan yaitu densitas terendah terdapat pada arus 20 mA sebesar 0,947 dan pada arus 25 mA densitas yang dihasilkan sebesar 1,030 namun pada arus 32 mA densitas yang dihasilkan turun sebesar 1,021. Hal ini dikarenakan intensitas yang ditangkap oleh film semakin sedikit sehingga pada arus 32 mA menghasilkan citra yang semakin putih. Untuk tulang, densitas yang dihasilkan berbanding lurus terhadap besar arus yang diberikan, yaitu semakin besar arus yang diberikan semakin besar densitas yang dihasilkan dan menyebabkan citra yang dihasilkan semakin hitam karena semakin banyak juga intensitas yang melewati tulang yang ditangkap oleh film. Untuk lemak dan jelly juga menghasilkan nilai densitas yang berbanding lurus dengan besar arus yang diberikan yaitu densitas tertinggi pada arus 32 mA dan yang terendah pada arus 20 mA. Hal ini diperkuat dengan hasil citra yang semakin gelap, dimana semakin besar densitasnya citra yang dihasilkan akan semakin gelap atau hitam.

Pada tegangan 85 kV, hasil yang diperoleh ialah untuk besi, pengaruh arus terhadap densitas optik yang diberikan pada tegangan ini adalah berbanding lurus, densitas optik tertinggi diperoleh pada arus 32 mA dan densitas optik terendah terdapat pada arus 20 mA. Untuk Aluminium (koin), densitas optik yang diperoleh pada tegangan 85 kV yaitu naik turun, pada arus 20 mA densitas yang dihasilkan sebesar 1,062,

namun pada arus 25 mA densitas yang dihasilkan turun yaitu sebesar 1,025 dan naik secara drastis pada arus 32 mA yaitu sebesar 1,093. Hal ini karena setiap arus memiliki kemampuan intensitas yang berbeda dalam menembus setiap sampel. Pada tulang juga menghasilkan densitas optik yang sama terhadap arus yang diberikan, yaitu densitas optik yang dihasilkan naik turun. Pada arus 20 mA densitas optik yang diperoleh sebesar 1,044 dan pada arus 25 mA densitas optik yang dihasilkan turun sebesar 0,994 dan naik kembali pada arus 32 mA sebesar 1,020. Untuk lemak pada tegangan ini densitas optik yang dihasilkan berbanding lurus terhadap kuat arus yang diberikan, yaitu densitas optik tertinggi pada arus 32 mA sebesar 1,564 dan terendah pada arus 20 mA sebesar 1,485. Sedangkan pada jelly densitas optik tertinggi ditunjukkan pada arus 20 mA sebesar 1,360 dan terendah pada arus 25 mA sebesar 1,341, namun diperoleh densitas optiknya naik lagi pada arus 32 mA sebesar 1,433.

#### 4. PENUTUP

##### Kesimpulan

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa pemberian faktor eksposi sangat menentukan nilai densitas optik dari citra film radiografi. Nilai densitas optik yang di tangkap oleh film berbeda-beda, dimana untuk besi akan menghasilkan citra dengan densitas optik yang lebih terang (putih) dengan nilai densitas optik terendah, pada tulang dan Aluminium (koin) menghasilkan citra dengan densitas optik abu-abu yang memiliki densitas lebih besar dari besi. Sedangkan untuk lemak dan jelly, citra film yang diperoleh dengan densitas optik yang gelap bahkan cenderung tidak terlihat dengan jelas dan memiliki nilai densitas optik yang paling tinggi. Dari faktor eksposi yang diberikan, densitas optik yang menghasilkan citra paling optimal pada arus 20 mA terdapat pada tegangan 60 kV, pada arus 25 mA tegangan 70 kV menghasilkan citra yang optimal dan pada arus 32 mA terlihat pada tegangan 70 kV.

##### Saran

Adapun saran yang diharapkan ialah dengan metode penelitian ini bisa dikembangkan untuk menguji bahan perisai yang digunakan pada ruangan radiologi, apakah pada bahan perisai tersebut masih terdapat banyak radiasi yang melewatinya.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bontranger, K. L. (2001). Text Book Of Radiographic Positioning And Related Anatomy. Fifth Edition. The Mosby, St. Louis.
- [2] BATAN. (2005). Desain Penahan Ruang Sinar-X. Jakarta Pusdiklat BATAN.
- [3] Akhadi, M. (2000). Dasar-dasar Proteksi Radiasi. PT Rineka Cipta. Jakarta
- [4] Masrochah, S. (2000). Pengaruh Peningkatan Tegangan Tabung Sinar-X terhadap Kontras Radiografi dan Laju Dosis Serap Radiasi. (Tugas Akhir). Universitas Diponegoro. Semarang.
- [5] Meredith, W.J dan Massey, J.B. (1997). Fundamental Physics of Radiology Third Edition. Manchester. The Ston Bridge Press.
- [6] Savitri, R. E. (2014). Optimasi Faktor Eksposi pada Sistem Radiografi Digital Menggunakan Analisis CNR (*Contrast to Noise Ratio*) (Tugas Akhir). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Semarang
- [7] Rasad, S. (2005). Radiologi Diagnostik. Edisi Kedua. Balai Penerbit FKUI. Jakarta
- [8] Suprijanto, dkk. (2009). Segmentasi Citra Secara Semi-Otomatis untuk Visualisasi Volumetrik Citra CT Scan Pelvis. Makara Teknologi, Voll 13, No.2 November 2009
- [9] Suwarno, S.P. ((2015). Optimasi Komposisi Aluminium Oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Untuk Aplikasi Alternatif Phantom Tulang Kortikal (Tugas Akhir). Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- [10] Dougherty, G. (2009). Digital Image Processing for Medical Applications. Cambridge University Press. UK
- [11] Sparzinanda, E, Nehru dan Nurhidayah. (2016). Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Kualitas Citra Radiografi: Vol. 3 No. 1 e-ISSN: 2502-2016.
- [12] Bushong, SC. (2013). Radiologic Science for Technologists Physics, Biology, And Protection. Tenth Edition. Elsevier Mosby. Texas