

ANALISA PENGARUH FAKTOR EKSPOSI TERHADAP ENTRANCE SURFACE AIR KERMA (ESAK)

Muhammad Irsal, Eko Hidayanto dan Zaenal Arifin

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail : muhammad.irsal15@gmail.com

ABSTRACT

The research has been analyzed of the effect of exposure factors at the entrance surface air kerma (ESAK) of the thorax radiographs. This research uses anthropomorphic phantom, multipurpose detectors, FFD 100 cm, with radiation field 25 cm × 25 cm. irradiation conditions is given by the variation of expose factors using tube voltage 50-100 kV and tube current-time 2-20 mAs. The results of research showed that the effect of the tube voltages to the entrance surface air kerma experience is increase a specific approximated by an polynomial equation with a correlation coefficient value $R^2 = 1$ and the variation of the tube current-time increased linearly approximated by a approach linear equation $R^2 = 1$, uses of tube current time under 4 mAs with resulted lower the entrance surface air kerma based on IAEA Safety Series No. 115 (1996) is 0.4 mGy at examination of thorax radiographic, and conducted a calculation uncertainly value of every expose factors using variations of tube voltage and tube current-time based on scenarios three of IAEA Technical Report Series No. 457(2007).

Keywords: *entrance surface air kerma, thorax radiography, the tube voltage, tube current-time, phantom anthropomorphic.*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisa pengaruh faktor eksposi terhadap entrance surface air kerma (ESAK) pada pemeriksaan radiografi thorak. Penelitian ini menggunakan pantom anthropomorphic, detektor multipurpose, FFD 100 cm, dengan luas lapangan penyinaran 25 cm x 25 cm. kondisi penyinaran diberikan dengan variasi faktor eksposi menggunakan tegangan tabung 50-100 kV dan arus-waktu tabung 2-20 mAs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh tegangan tabung terhadap entrance surface air kerma menyalami kenaikan yang spesifik dengan pendekatan persamaan polinomial dengan nilai koefisien kolerasi $R^2 = 1$ dan pada variasi arus-waktu tabung mengalami kenaikan secara linear dengan pendekatan persamaan linear dengan nilai koefisien kolerasi $R^2 = 1$, pada penggunaan arus-waktu tabung dibawah 4 mAs menghasilkan entrance surface air kerma yang lebih rendah berdasarkan rekomendasi IAEA Safety Series No. 115 tahun 1996 yaitu 0.4 mGy pada pemeriksaan radiografi thorax, serta dilakukan perhitungan nilai ketidakpastian setiap faktor eksposi pada penggunaan variasi tegangan tabung dan waktu-arus tabung pada skenario tiga berdasarkan IAEA Technical Report Series No 457 tahun 2007.

Kata kunci: *entrance surface air kerma, radiografi thorak, tegangan tabung, arus-waktu tabung, phantom anthropomorphic.*

PENDAHULUAN

Pada pemeriksaan radiografi tidak luput dari efek yang akan ditimbulkan bagi pasien, akibat interkasi sinar-x dengan sel-sel tubuh manusia. Efek yang di timbulkan radiasi yaitu efek deterministik dan efek stokastik. Efek deterministik yaitu efek yang memiliki dosis ambang dan gejala akan segera nampak tidak ada waktu tenggang, sedangkan efek stokastik yaitu efek yang terjadi tanpa ada dosis ambang batas dan terdapat tenggang sebelum gejala mulai tampak. Efek somatik dapat bersifat stokastik atau deterministik, sedangkan efek genetik selalu bersifat stokastik. [1].

Dalam IAEA Technical Report Series No. 457 mengacuh pada ICRU 74 tahun 2005, Entrance Surface Dose (ESD) adalah salah satu satuan kuantitas yang digunakan dalam diagnostik untuk menyatakan dosis radiasi yang diterima objek radiasi (*phantom* atau pasien) yang diukur pada pusat berkas utama dipermukaan *phantom* atau pasien. [2]. Entrance surface air kerma (ESAK) adalah pengukuran nilai kerma udara pada pertengahan sumbu penyinaran sinar-X di permukaan pantom, ESAK direkomendasikan oleh ICRU untuk dosimetri pada pencitraan medis, namun banyak publikasi yang

menggunakan dosis *entrance skin dose* atau ESD [3]. Pengukuran *entrance surface air kerma* dapat dilakukan dengan pengukuran secara tidak langsung dengan menggunakan *incident air kerma* dan *factor backscatter* atau dapat melakukan pengukuran secara langsung menggunakan *thermoluminesensi* dosimeter TLD.[4]

Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Ida Bagus Manuaba pada tahun 2010 tentang pengukuran *Entrance Surface Dose* (ESD) pada pemeriksaan dada *computed radiography* (CR) dengan beberapa metode pengukuran, dengan hasil penelitian menunjukkan hasil pengukuran ESD rata-rata *thorax* (PA) di tiga rumah sakit. Nilai ESD *thorax* PA di tiga rumah sakit memiliki pola yang sama, yaitu ESD cenderung meningkat terhadap kenaikan ketebalan pasien dan penggunaan faktor eksposi standar. Pada pengukuran ESD secara tidak langsung menunjukkan bahwa hasil pengukuran ESD secara langsung menggunakan TLD tidak berbeda jauh hasilnya jika dilakukan dengan menggunakan metoda kalkulasi.

Sistem proteksi radiasi untuk pasien yang mendapat paparan radiologi diagnostik diatur oleh prinsip-prinsip pembenaran dan optimasi, termasuk pertimbangan tingkat referensi diagnostik (*Diagnostic Reference Levels*). Oleh karena itu, prosedur radiologi diagnostik dibenarkan jika manfaat kepada pasien yang dihasilkan dari gambaran radiologi harus lebih besar dari pada paparan terhadap pasien. Setelah paparan medis telah dibenarkan, maka prinsip optimasi harus diterapkan, yaitu pemeriksaan radiologi harus dilakukan dengan peralatan dan parameter eksposi yang memastikan dosis untuk pasien serendah mungkin dan sejalan dengan tujuan diagnostik.[5].

International Atomic Energy Agency (IAEA) pada buku *Safety Series No. 115* merekomendasikan nilai ESD pada pasien pemeriksaan radiografi thorak adalah 0.4 mGy [6].

Pada penelitian ini akan membahas mengenai analisa pengaruh faktor eksposi

terhadap *entrance surface air kerma* (ESAK), untuk mengetahui nilai dosis pada variasi tegangan tabung dan arus-waktu tabung.

DASAR TEORI

KERMA (*Kinetic Energy Released in Matter*). Kerma menurut definisi IAEA adalah jumlah seluruh energi kinetik awal yang ditransfer dari partikel tak bermuatan (foton) ke partikel bermuatan (elektron) dalam suatu material dengan massa tertentu.[7].

Pengukuran *entrance surface air kerma* dapat ditentukan dengan pengukuran secara tidak langsung dengan menggunakan *incident air kerma* dan *factor backscatter* atau dapat melakukan pengukuran secara langsung menggunakan TLD.[4]

Pengukuran ESAK menggunakan nilai *incindet air kerma* dan faktor *backscatter* diudara, pemilihan faktor *backscatter* didasarkan pada HVL dan ukuran lapangan yang digunakan. Persamaan ESAK tidak langsung :

$$K_e = B K_i \quad (1)$$

$$K_i = Y d P_{It} \frac{d}{d_{FTD} - t_p} \quad (2)$$

- K_e : *entrance surface air kerma* (mGy)
- B : *backscatter factor*
- K_i : *incident air kerma* (mGy)
- $Y(d)$: *tube output* pada jarak d (mGy/mAs)
- P_{It} : *tube loading* (mAs)
- d : jarak fokus ke detector
- d_{FTD} : jarak fokus ke meja pemeriksaan
- t_p : tebal objek radiasi (pasien/pantom)

Tube output pada jarak d ($Y(d)$) merupakan fungsi kVp dan hubungan didekati dengan persamaan *power* (*power function*), *regresi power* biasanya digunakan untuk menampilkan data hasil experiment yang meningkat dengan laju peningkatan yang spesifik.[7]. *Power function* sesuai dengan persamaan :

$$y = cx^b \quad (3)$$

Dimana c dan b adalah konstan, x merupakan *tube output* pada jarak d ($Y(d)$) disetiap faktor eksposi tegangan tabung yang digunakan.

Pengukuran *entrance skin air kerma* secara langsung dengan menggunakan TLD yang ditempelkan ke kulit. Satu TLD tidak di lakukan paparan untuk menentukan koreksi dosis latar.[4].

METODE PENELITIAN

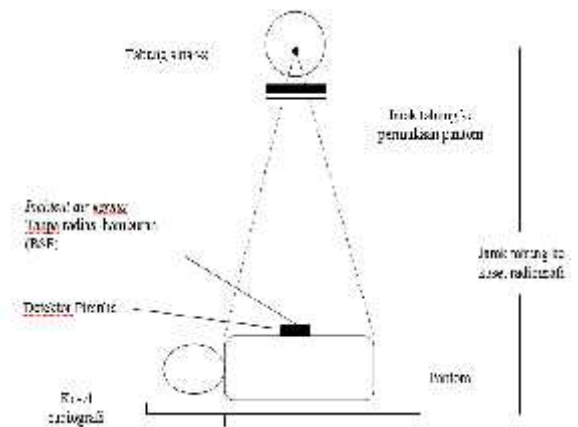
A. Alat dan Bahan

Penelitian dilakukan dengan menggunakan pesawat sinar-X merk GE 630 mA, pantom *anthropomorphic* dan *multipurpose* detektor piranha, selain itu juga detektor piranha digunakan sebagai alat pengujian kesesuaian pesawat sinar-X.

B. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan *entrance surface air kerma* pada pantom *anthropomorphic chest* dengan terlebih dahulu melakukan pengukuran nilai *incident air kerma* menggunakan detektor piranha dengan variasi tegangan tabung (kV) dan arus-waktu tabung (mAs) yang berbeda.

Pertama dilakukan uji kesesuaian agar pesawat sinar-X pada saat penelitian dalam keadaan prima. yaitu penentuan akurasi tegangan tabung, penentuan akurasi waktu paparan, penentuan dosis radiasi keluaran, penentuan waktu paruh, dan reproduksibilitas. Setelah persiapan alat kemudian di lakukan pengukuran *incident air kerma* dan perhitungan *entrance surface air kerma* (ESAK) dengan melakukan variasi pada tegangan tabung dan arus-waktu tabung.



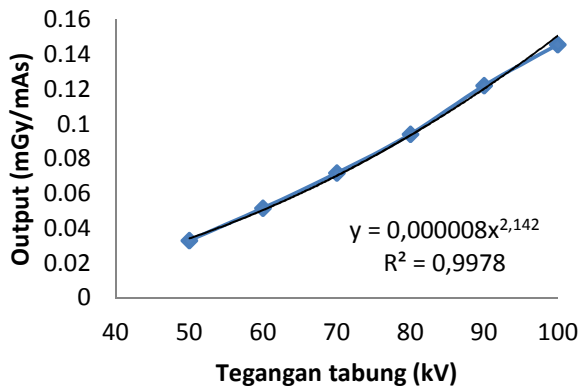
Gambar 1. Bagan penelitian

Dengan Faktor eksposi divariasikan 6 kali terhadap tegangan tabung dengan interval kenaikan 10 kV dari tegangan tabung 50 sampai dengan 100 kV dengan nilai arus-waktu tabung yang sama 10 mAs dan faktor eksposi divariasikan 6 kali terhadap arus-waktu tabung dengan variasi arus-waktu tabung 2 sampai dengan 20 mAs dengan nilai tegangan tabung yang sama yaitu 60 sesuai dengan faktor eksposi pada pemeriksaan radiografi thorax, Jarak dari fokus-meja pemeriksaan 100 cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran *incident air kerma* sebelum mendapatkan nilai dari *entrance surface air kerma* (ESAK), *Incident air kerma* adalah kerma diudara yang berasal dari penyinaran sinar-X yang diukur dipusat sinar-X pada pertengahan posisi pantom tanpa memperhitungkan *factor backscatter*. Nilai *entrance surface air kerma* (ESAK) didapatkan dari perhitungan parameter penyinaran dan keluaran dari tabung sinar-x. Data yang diambil dari beberapa paramter tegangan tabung dan waktu paparan yang divariasikan. Langkah-langkah yang dilakukan adalah jarak antara fokus dengan detektor pada jarak 100 cm, pastikan tabung sinar-x dan meja pemeriksaan tidak mengalami kemiringan, detektor diletakan pada permukaan pantom pada pertengahan lapangan penyinaran. Pengukuran *incident air kerma* pada tegangan tabung

pesawat diberikan variasi 50 kV -100 kV dengan arus-waktu tabung konstan 10 mAs, menghasilkan nilai keluaran output (mGy/mAs) 0.0330 – 0.1457 mGy/mAs dengan nilai mAs yang cenderung konstan membuat nilai dosis dipengaruhi oleh nilai kV yang digunakan. Hubungan kV yang digunakan dengan output pada pesawat diperlihatkan oleh grafik pada gambar 2 :



Gambar 2. Grafik persamaan *power* (*power function*) tegangan tabung

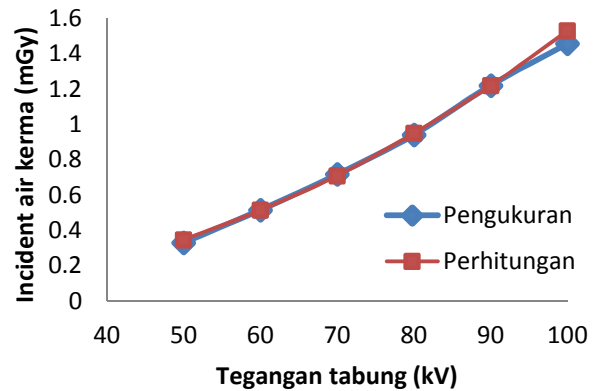
Dari grafik persamaan *power* (*power function*) terlihat bahwa nilai dosis naik secara spesifik terhadap kenaikan kV dengan persamaan garis :

$$y = 0,000008x^{2,142} \quad (4)$$

Dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0,9978$, arus-waktu tabung (mAs) yang cenderung konstan, memperkuat linearitas hubungan tegangan tabung dengan dosis pada pesawat radiografi GE. Dari persamaan garis ini dapat digunakan untuk menghitung nilai keluaran dosis (*output*) pada jarak d [$Y(d)$] dengan x sebagai nilai tegangan tabung saat melakukan eksposi pada pesawat sinar-X.

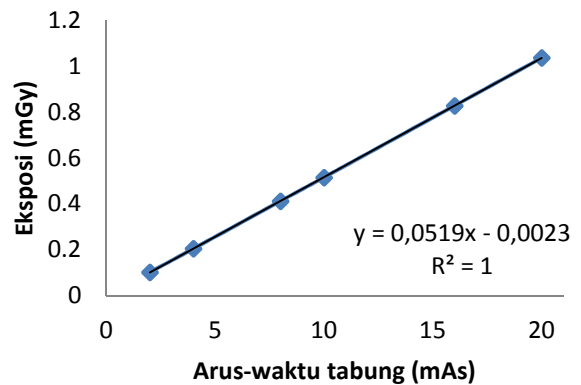
Nilai *incident air kerma* hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan persamaan 2 dengan nilai keluaran output menggunakan persamaan 4, mempunyai hasil yang cenderung sama pada setiap eksposi tegangan tabung (kV), maka di tampilkan grafik tegangan tabung (kV) yang digunakan terhadap hasil *incident air kerma* menggunakan pengukuran dan

perhitungan yang diperlihatkan pada grafik pada gambar 3:



Gambar 3. Grafik hasil pengukuran dan perhitungan pada tegangan tabung

Pengukuran *incident air kerma* terhadap variasi mAs pesawat, data pesawat yang diambil bervariasi dengan rentang mengikuti kenaikan mAs dari pesawat GE mulai dari arus-waktu tabung 2 mAs sampai 20 mAs, dengan menggunakan 60 kV pada keseluruhan penyinaran. Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 4 :

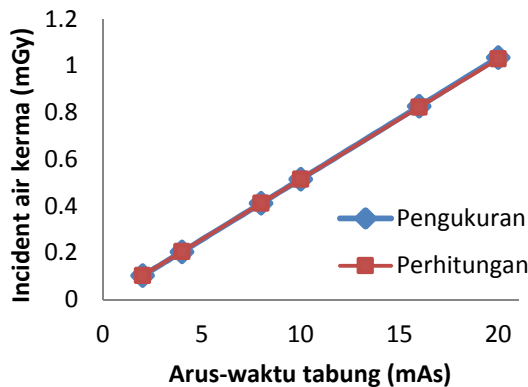


Gambar 4. Grafik persamaan linear arus-waktu tabung terhadap eksposi

Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai keluaran dosis eksposi mempunyai hubungan linear terhadap kenaikan mAs, Dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 1$, nilai keluaran dosis (*output*) yang cenderung sama memperkuat linearitas hubungan mAs dengan dosis pada pesawat radiografi.

Nilai *incident air kerma* hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan persamaan 2 dengan nilai keluaran output menggunakan

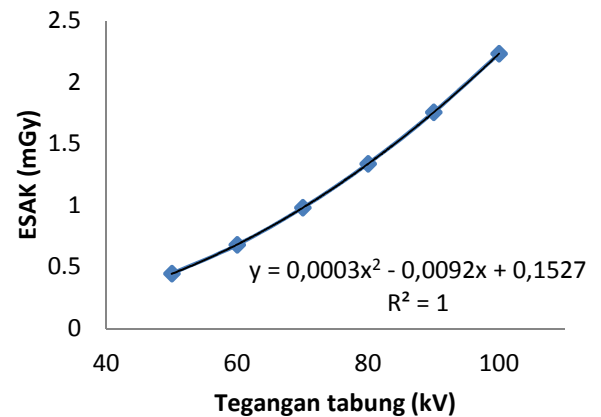
persamaan 4, mempunyai hasil yang cenderung sama pada setiap eksposi menggunakan variasi arus-waktu tabung (mAs), maka di tampilkan grafik arus-waktu tabung (mAs) yang digunakan terhadap hasil *incident air kerma* menggunakan pengukuran dan perhitungan yang diperlihatkan oleh grafik pada gambar 5 :



Gambar 5. Grafik hasil pengukuran dan perhitungan pada arus-waktu tabung

Entrace skin air kerma adalah paparan yang diukur dengan satuan mGy pada pusat sumbu sinar-X dimana titik tersebut merupakan daerah yang akan dikenai radiasi dengan memperhitungkan *faktor backscatter*. Data yang diambil adalah parameter tegangan tabung dan waktu paparan yang divariasikan. Untuk mendapatkan nilai ESAK, *tube output* pada jarak d [$Y(d)$] merupakan fungsi kV dan hubungan didekati dengan persamaan grafik *power function*, berdasarkan data pengukuran *incident air kerma* pada pesawat GE didapatkan persamaan 4 untuk [$Y(d)$].

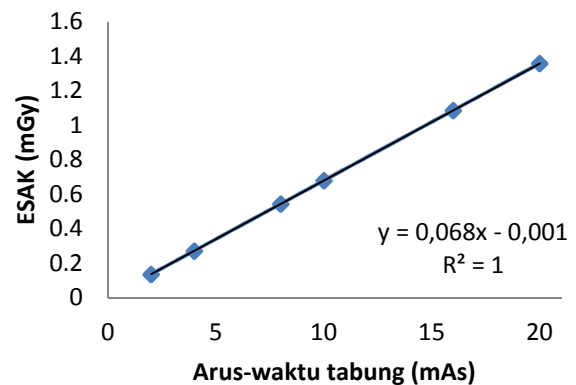
Maka perhitungan nilai ESAK (Persamaan 1) dengan mengasumsikan nilai faktor *backscatter* (BSF) berdasarkan rekomendasi TRS 457 tahun 2007, Dari hasil didapatkan nilai ESAK dari 0.445 – 2.233 mGy, nilai BSF juga mempengaruhi ESAK karna semakin tinggi tegangan tabung yang digunakan maka semakin tinggi juga BSF. Hubungan linear menggunakan persamaan polinomial tegangan tabung terhadap ESAK diperlihatkan oleh grafik pada gambar 6:



Gambar 6. Grafik persamaan polinomial tegangan tabung

Dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 1$ nilai arus-waktu tabung yang cenderung konstan memperkuat linearitas hubungan kenaikan tegangan dengan dosis ESAK. Ini sesuai dengan literature pada buku Bushberg pada tahun 2002 bahwa kenaikan eksposi mendekati kVp^2 (Eksposi kVp^2)

Pada variasi arus-waktu paparan dengan menggunakan persamaan 1 diatas, nilai ESAK pada variasi arus-waktu tabung adalah dari 0.135 – 1.359 mGy, jadi kenaikan arus-waktu tabung mempengaruhi nilai ESAK. Hubungan linear mAs terhadap ESAK diperlihatkan oleh grafik pada gambar 7:



Gambar 7. Grafik persamaan linear arus-waktu tabung

Dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 1$, nilai tegangan tabung yang cenderung konstan memperkuat linearitas hubungan kenaikan arus-waktu tabung dengan dosis ESAK.

Faktor eksposi dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas sinar-X, tegangan tabung

berhubungan dengan kualitas dan memperlihatkan nilai maksimum energi yang dimiliki oleh sinar-X, Efisiensi sinar-X sangat berhubungan dengan pemberian tegangan tabung pada penyinaran radiografi, nilai penyinaran dalam rentang energi diagnostik sebanding dengan jumlah sesuai dengan eksposi kVp^2

Arus-waktu tabung berhubungan dengan kuantitas sinar-X, pada penggunaan arus-waktu tabung yang digunakan sebanding dengan nilai elektron yang mengalir dari katoda ke anoda persatuan waktu.

Pada penelitian ini faktor eksposi standar pada pemeriksaan thorak mempunyai nilai dosis ESAK cukup besar yaitu 0.679 mGy sedangkan dosis pada pemeriksaan radiografi thorak yang direkomendasikan oleh IAEA *Safety Series No.115* yaitu 0.4 mGy, tetapi data hasil penelitian memperlihatkan dosis yang rendah dengan pada penggunaan nilai arus-tabung < 4 mAs. untuk menekan dosis ESAK agar lebih rendah kita dapat menggunakan tegangan tabung tinggi, menurut Bushberg pada tahun 2002 bahwa untuk mendapatkan eksposi dengan transmisi yang sama pada ketebalan pasien 20 cm, yaitu dengan cara menaikkan salah satu parameter penyinaran nilai tegangan tabung dengan memberikan kompensasi penurunan nilai arus-waktu tabung untuk menghasilkan densitas gambaran yang hampir sama. Maka persamaannya adalah:

$$\frac{kVp_1}{kVp_2}^5 \times mAs_1 = mAs_2 \quad (6)$$

Pada faktor eksposi tegangan tabung tinggi lebih banyak radiasi yang di transmisikan sehingga dosis yang diserap rendah dan penggunaan mAs yang sangat rendah juga mengakibatkan dosis radiasi menjadi sangat kecil [8].

Ketidakpastian pengukuran skenario tiga dimana kondisi peralatan pengukuran radiasi dijaga ketat yaitu kualitas radiasi, arah radiasi, densitas udara. Perhitungan nilai *incident air kerma* dan *entrance surface air kerma* nilai

ketidakpastian pada variasi tegangan tabung pada masing-masing eksposi ditampilkan pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Ketidakpastian pengukuran pada tegangan tabung (kV)

Perluasan relatif ketidakpastian (k=2)	
Perhitungan <i>incident air kerma</i> (5.6%)	Perhitungan <i>entrance surface air kerma</i> (6%)
0.348 ± 0.019	0.445 ± 0.026
0.515 ± 0.028	0.679 ± 0.040
0.71 ± 0.039	0.980 ± 0.058
0.95 ± 0.053	1.339 ± 0.080
1.22 ± 0.068	1.756 ± 0.105
1.53 ± 0.085	2.233 ± 0.133

Nilai ketidakpastian pada variasi arus-waktu tabung pada masing-masing nilai *incident air kerma* dan *entrance surface air kerma* ditampilkan pada tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Ketidakpastian pengukuran pada arus-waktu tabung (mAs)

Perluasan relatif ketidakpastian (k=2)	
Perhitungan <i>incident air kerma</i> (5.6%)	Perhitungan <i>entrance surface air kerma</i> (6%)
0.103 ± 0.0057	0.135 ± 0.0018
0.206 ± 0.0115	0.271 ± 0.016
0.412 ± 0.023	0.543 ± 0.032
0.515 ± 0.028	0.679 ± 0.040
0.824 ± 0.046	1.087 ± 0.065
1.03 ± 0.057	1.359 ± 0.081

Dari kedua tabel di atas memperlihatkan hasil ketidakpastian pengukuran skenario tiga menunjukkan nilai standar deviasi dari range nilai pada setiap pengukuran *incident air kerma* dan *entrance surface air kerma* berdasarkan IAEA TRS 457 tahun 2007

KESIMPULAN

Hasil pengukuran *entrance surface air kerma* pada variasi tegangan tabung 50-100 kV dengan arus-waktu tabung tetap 10 mAs didapatkan nilai pengukurannya 0.445 sampai dengan 2.233 mGy. Tegangan tabung

menentukan kualitas radiasi sinar-X, menyebabkan faktor *backscatter* juga ikut meningkat, ini dapat menurunkan kontras gambaran radiografi dan menaikkan nilai dosis ESAK maka diperlukan kompensasi penurunan nilai arus-tabung untuk menekan nilai ESAK.

Hasil pengukuran *entrance surface air kerma* pada variasi arus-waktu paparan 2-20 mAs dengan tegangan tabung tetap 60 kV didapatkan nilai pengukurannya 0.135 sampai dengan 1.359 mGy. Arus-waktu tabung menentukan kuantitas dari sinar-X dimana semakin besar nilai arus-waktu tabung yang digunakan maka densitas gambaran radiografi dan dosis ESAK akan bertambah, untuk menekan densitas dan dosis ESAK dengan menggunakan faktor eksposi tegangan tabung tinggi.

Pada penggunaan arus-waktu tabung dibawah 4 mAs menghasilkan *entrance surface air kerma* yang lebih rendah berdasarkan rekomendasi IAEA *Safety Series* No. 115 tahun 1996 yaitu 0.4 mGy pada pemeriksaan radiografi thorak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhadi M., 2000, *Pengantar Teknologi Nuklir*, PT. Rineka Cipta Jaksa, Jakarta.
- [2] Winarno G., 2012, *Optimasi Citra Radiografi dan Entrance Surface Dose (ESD) Menggunakan Sistem Fuji Computed Radiography*, Universitas Indonesia FMIPA, Jakarta.
- [3] UNSCEAR., 2010, *Sources and Effects Of Ionizing Radiation*, volume I, United Nations, New York.
- [4] Technical report series No 457., 2007, *dosimetry in diagnostic radiology : an international code of pratice*, Publishing Section International Atomic Energy Agency Wagramer Strasse 5, Austria.
- [5] Nsikan U., 2013, *Doses received by patients during thorax x-ray examination*, Iranian journal of medical physics, Nigeria.
- [6] Safety Series No. 115., 1996, *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [7] Pradana A. E. D., 2011, *Pengukuran Penggunaan kV pada Pemeriksaan Thorak Anak Terhadap Kualitas Gambar dan Dosis Radiasi*, Universitas Indonesia FMIPA, Jakarta.
- [8] Manuaba B. I., 2010, *Pengukuran Entrance Surface Dose (ESD) pada Pemeriksaan Dada Computer Radiography (CR) dengan Beberapa Metode Pengukuran*, Universitas Indonesia FMIPA, Jakarta.