

PERBANDINGAN DOSIS PERMUKAAN PADA PEMERIKSAAN THORAX ANAK MENGGUNAKAN METODE *AUTOMATIC EXPOSURE CONTROL* DAN METODE MANUAL

Zany Nurfauzanil Ibad¹⁾, Muzilman Muslim²⁾ dan Hasnel Sofyan³⁾

¹⁾ RSUPN Cipto Mangunkusumo Jakarta

²⁾ Prodi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional Jakarta

³⁾ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN Jakarta

e-mail: hasnel_s@batan.go.id, zanyenefi@gmail.com

Diterima: 08-01-2020

Diterima dalam bentuk revisi: 23-03-2021

Disetujui: 29-03-2021

ABSTRAK

PERBANDINGAN DOSIS RADIASI PADA PEMERIKSAAN THORAX ANAK MENGGUNAKAN METODE *AUTOMATIC EXPOSURE CONTROL* DAN METODE MANUAL. *Automatic Exposure Control* (AEC) pada pesawat sinar-X *Digital Radiography* (DR) secara otomatis dapat mengendalikan paparan radiasi, sehingga dapat menurunkan *Dose Area Product* (DAP) mencapai 61% tanpa mengurangi kualitas citra medis. Metode AEC dirancang untuk pasien dewasa, namun tidak menutup kemungkinan digunakan untuk pasien anak. Agar tingkat risiko kanker akibat radiasi pada anak dapat diminimalisasi, maka metode AEC ini menjadi penting untuk diaplikasikan. Dalam penelitian, dilakukan perbandingan metode AEC dan metode manual terhadap 60 pasien anak pemeriksaan thorax untuk memperoleh metode yang memberikan dosis permukaan lebih rendah. Pasien anak dikelompokkan dalam tiga kategori menurut usia, yaitu; 1-5 tahun, 6-10 tahun dan 11-15 tahun. Setiap kategori terdiri atas 10 pasien untuk metode AEC dan 10 pasien untuk metode manual. Pengukuran dosis permukaan menggunakan TLD LiF:Mg,Cu,P. Dari penelitian diperoleh dosis permukaan untuk Kategori-1 masing-masing $0,15 \pm 0,09$ mSv untuk metode AEC dan $0,15 \pm 0,02$ mSv untuk metode manual. Untuk Kategori-2 dan Kategori-3 masing-masing diperoleh $0,16 \pm 0,07$ mSv (AEC), $0,21 \pm 0,06$ mSv (manual) dan $0,15 \pm 0,04$ mSv (AEC), $0,31 \pm 0,13$ mSv (manual) secara berurutan. Metode AEC untuk pasien anak dapat meningkatkan keselamatan radiasi dan menekan kemungkinan risiko kanker.

Kata Kunci: metode AEC, sinar-X, TLD LiF:Mg,Cu,P, Dosis Permukaan

ABSTRACT

THE COMPARISON OF RADIATION DOSE ON PAEDIATRIC THORAX EXAMINATION USING *AUTOMATIC EXPOSURE CONTROL* AND MANUAL METHODE. *Automatic Exposure Control* (AEC) on *Digital Radiography* (DR) X-ray automatically can be control radiation exposure, so as to reduce the *Dose Area Product* (DAP) by 61% without reducing the quality of medical images. The AEC method designed for adult patients, but does not rule out the possibility used for pediatric patients. On purpose to minimize the risk of cancer due to radiation in children, the AEC method is important to be applied. In this research, a comparison of the AEC method and manual method will be performed on 60 pediatric thorax examination patients to obtain a method that provides the lower of entrance surface dose (ESD) The pediatric patients are grouped into three categories according to age, namely; 1-5 years, 6-10 years and 11-15 years. Each category consists of 10 patients for AEC method and 10 patients for manual method. The ESD measurements using TLD LiF:Mg,Cu,P. From research, The ESD for Category-1 were obtained 0.15 ± 0.09 mSv for AEC method and 0.15 ± 0.02 mSv for manual method. For Category-2 and Category-3 respectively was obtained, 0.16 ± 0.07 mSv (AEC) 0.21 ± 0.06 mSv (manual) and

0.15 ± 0.04 mSv (AEC), $0,31 \pm 0.13$ mSv (manual). The AEC method for pediatric patients can improve the radiation safety and reduce the risk of cancer

Keywords: AEC method, x-ray, TLD LiF:Mg,Cu,P, Entrance Surface Dose

1. PENDAHULUAN

Metoda *automatic exposure control* (AEC) merupakan metode yang dirancang dengan ukuran dan geometri sensor untuk digunakan pada pasien radiodiagnostik dewasa. Pada pesawat sinar-X *digital radiography* (DR) dengan metode AEC dapat mengendalikan paparan radiasi sinar-X yang diterima pasien secara otomatis, sehingga menghasilkan citra medis (*medical imaging*) berkualitas tinggi dan meminimalisasi dosis radiasi (1). Pada metode AEC ini, operator menetapkan nilai kVp dan sistem akan menentukan nilai mAs secara otomatis sesuai dengan ketebalan objek (kVp tetap, Auto-mAs). Nilai kVp dan mAs masing-masing akan menentukan kualitas citra dan kuantitas, sehingga ketika nilai mAs besar maka dosis yang diterima pasien juga akan besar. Dari penelitian Y.H.Chung dkk (2), pengaturan metode AEC pada kecepatan 800s (*second*) untuk *Lumbar-spine AP* dengan kVp 70, 81 dan 90, dapat menurunkan nilai *Dose Area Product* (DAP) masing-masing secara berurutan mencapai 26%, 52% dan 61% tanpa mengurangi kualitas citra medis. Penurunan nilai DAP yang signifikan tersebut menjadi hal yang sangat penting untuk pencitraan medis terutama apabila diterapkan dalam pemeriksaan pasien anak yang efek biologisnya untuk dosis tinggi sudah diketahui (3). Menurut W.E.P Rulaidi (1), bahwa nilai mAs efektif yang meningkat dengan meningkatnya kVp dan *Quality*

Reference mAs akan mengurangi noise gambar medis dan tidak menyebabkan dosis meningkat.

Pada pasien anak, karena sel jaringannya masih dalam proses tumbuh kembang, maka relatif lebih rentan terhadap paparan radiasi dibandingkan dengan pasien dewasa. Selain itu, pasien anak memiliki harapan hidup yang lebih lama, sehingga dampak kanker yang disebabkan oleh radiasi potensial pada pasien anak bisa dialami seumur hidup atau lebih lama dan proses dalam perawatan pasien anak juga lebih rumit, karena harus konsisten menjaga dosis serendah mungkin dengan informasi diagnostiknya tetap optimal [3,4]. Untuk meminimalkan dosis permukaan (*Entrance Surface Dose*, ESD) yang diterima dan memaksimalkan kualitas citra medis, maka metode AEC akan menjadi pilihan utama, terutama untuk pasien anak yang melakukan pemeriksaan radiodiagnostik.

Meningkatnya diagnosis dan prognosis berbagai jenis penyakit yang memanfaatkan radiasi pengion telah menyebabkan dosis populasi di dunia medis juga meningkat secara signifikan (5). Untuk itu, pasien radiologi diagnostik harus dilindungi oleh prinsip-prinsip justifikasi dan optimasi, termasuk penetapan *Diagnostic Reference Levels* (DRL) (6). Prinsip justifikasi, yaitu prosedur radiologi diagnostik dapat dibenarkan, jika manfaat yang diperoleh akan menyeimbangkan atau melebihi kerugian yang mungkin timbul

karena paparan radiasi, sedangkan prinsip optimasi diterapkan ketika peralatan dan parameter paparan radiasi dapat memastikan dosis pasien serendah mungkin, wajar dan konsisten sejalan dengan tujuan diagnostic (7). Dengan berpegang pada prinsip ini, maka pemeriksaan thorax pada pasien anak yang dilakukan secara manual harus dengan mengatur parameter-parameter kV dan mAs berdasarkan pengalaman dan karakteristik pasien anak.

Dalam laporan Komite Ilmiah PBB tentang Efek Radiasi (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, UNSCEAR) yang baru dinyatakan bahwa bayi, anak-anak dan remaja memiliki risiko kanker yang jauh lebih tinggi dari orang dewasa. Sekitar 25% dari 23 jenis kanker yang berbeda (leukimia, tiroid, kulit, payudara dan kanker otak), anak-anak menunjukkan lebih radiosensitive (8). *Pada anak usia di bawah 15 tahun yang menjalani pemeriksaan CT scan menunjukkan peningkatan leukemia dan kanker otak, dengan risiko lebih 0,83 kasus leukemia dan 0,32 kasus kanker otak untuk 10.000 pasien anak yang menerima 10mSv dari CT scan* (9). Mengingat dampak atau risiko radiasi pada anak, maka perlu ditemukan suatu metode yang dapat meminimalisasi nilai dosis yang diterima. Metode AEC pada pasien dewasa telah diketahui dapat menurunkan dosis yang diterima tanpa mengurangi kualitas citra medis. Selama ini, pasien anak yang menjalani pemeriksaan radiodiagnostik masih dilakukan dengan cara manual. Meskipun metode AEC dirancang untuk pasien dewasa, tidak menutup kemungkinan untuk digunakan pada pasien anak. Untuk

itu, menjadi penting melakukan penelitian membandingkan metode AEC dan manual agar dapat diketahui metode yang lebih tepat agar dosis yang diterima pasien anak lebih rendah tanpa mengurangi kualitas citra medis. Pengukuran dosis dalam dosimetri medik menggunakan dosimeter jenis thermoluminescence (TLD) yang memiliki karakteristik bahan fosfornya hampir sama dengan jaringan tubuh manusia ($Z_{eff} = 7,4$), sehingga tidak meninggalkan jejak pada citra medis (10).

2. TATA KERJA

Penelitian dilakukan terhadap 60 pasien anak pemeriksaan thorax *antero-posterior* (AP) yang dikelompokkan ke dalam 3 kategori menurut usia, yaitu Kategori-1 dengan usia 1 – 5 tahun, Kategori-2 dengan usia 6 – 10 tahun dan Kategori-3 dengan usia 11 – 15 tahun. Setiap kategori terdiri atas 10 pasien anak untuk metode AEC dan 10 pasien anak untuk metode manual. Pengukuran dosis radiasi menggunakan TLD LiF:Mg,Cu,P Harshaw yang sangat sensitif berbentuk chip dan berukuran 3,2x3,2x0,89 mm, diproduksi dengan homogenitas sensitivitas TLD kurang dari 5% (11). Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa tanggapan TLD LiF:Mg,Cu,P lebih homogen dan memiliki sensitivitas 23 kali lebih tinggi dari TLD LiF:Mg,Ti (12). TLD LiF:Mg,Ti dengan sensitivitasnya yang tinggi, dikenal juga sebagai TLD yang telah mendominasi penggunaan dalam fisika medis, terutama pada pemeriksaan radiodiagnostik. Karena karakteristik jaringan anak sangat sensitif, maka dosis yang diberikan harus lebih rendah dari pasien dewasa, sehingga

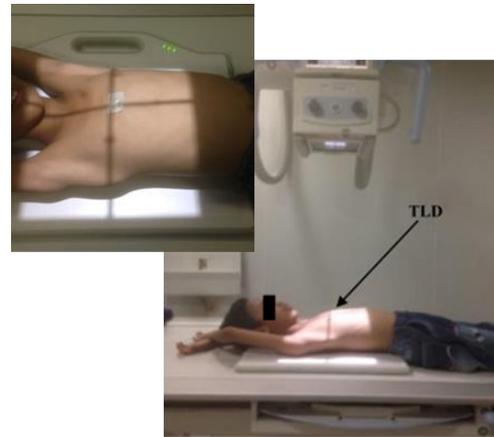
pemilihan TLD LiF:Mg,Cu,P untuk mengukur dosis tersebut adalah tepat (13).



Gambar 1. Pesawat sinar-X merk Siemens YSIO

Metode pengukuran dilakukan secara langsung dengan menempatkan 1 paket yang terdiri atas 3 TLD LiF:Mg,Cu,P untuk setiap pasien pada posisi pertengahan rongga thorax seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk mengurangi kemungkinan adanya kesalahan, maka setiap TLD LiF:Mg,Cu,P akan menerima perlakuan yang sama selama proses *annealing*, *packing* TLD, penyimpanan TLD sebelum dan sesudah digunakan dalam pengukuran dosis pasien thorax anak, dan selama proses pembacaan. *Annealing* dilakukan dengan *oven* Memmert pada temperatur $210 \pm 10^\circ\text{C}$ selama 10 menit, dan proses pembacaan menggunakan *TLD reader Harshaw model 3500*. Pesawat sinar-X yang digunakan pada penelitian ini, merk Siemens YSIO (Gambar 1) yang telah lolos uji kesesuaian dengan akurasi tegangan ($e_{\text{maks}} = 1,9\%$) dan akurasi waktu penyinaran ($e_{\text{maks}} = 1,7\%$). Nilai ini masih jauh di bawah nilai batas lolos uji ($e_{\text{maks}} \leq 10\%$). Pesawat dioperasikan pada kV dan mAs maksimum,

masing-masing 150 kiloVolt dan 800 secara berurutan.



Gambar 2. Penempatan TLD

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian, nilai kV dan mAs yang digunakan pada metode manual diperoleh dari hasil observasi terhadap kebiasaan radiografer dalam memberikan parameter penyinaran, yaitu berdasarkan perkiraan ketebalan dan berat badan pasien anak, sedangkan untuk metode AEC digunakan kV tinggi dengan rentang 60-125 kV (14). Setiap kategori masing-masing terdiri atas 10 pasien anak untuk metode AEC dan 10 pasien anak untuk metode manual. Pada penelitian ini, sulit untuk menemukan pasien anak dengan metode AEC dan manual yang memiliki parameter usia, tebal dan berat badan yang sama. Parameter usia dan ketebalan dada (tebal tubuh) anak untuk metode AEC dan manual pada setiap kategori dikondisikan sama, dengan maksud dapat mengurangi kemungkinan tingkat kesalahan.

Dalam penelitian ini, dengan definisi pasien metode AEC dan manual ditunjukkan bahwa karakteristik pasien anak pada setiap pada Tabel 1. kategori dianggap sama, maka rata-rata data

Tabel 1. Rata-rata terimaan dosis ESD pemeriksaan thorax metode AEC dan manual.

Kategori	Uraian	Metode AEC		Metode Manual	
		Interval	Rata-rata	Interval	Rata-rata
Kategori -1 (1-5) tahun	Tebal Tubuh (cm)	9 – 13	10,78 ± 1,54	9 – 13	10,78 ± 1,54
	Berat Badan (kg)	7,5 – 30	13,36 ± 6,28	6,1 – 15,3	10,83 ± 2,95
	Tinggi Badan (cm)	68,5 – 105	89,0 ± 11,97	68 – 102	86,5 ± 11,7
	kV	60	60	42 – 43	43 ± 1,05
	mAs	1 – 4,9	2,17 ± 1,32	4 – 6,3	5,73 ± 0,76
	Dosis ESD (mSv)	0,06 – 0,35	0,15 ± 0,09	0,12 – 0,19	0,15 ± 0,02
Kategori -2 (6-10) tahun	Tebal Tubuh (cm)	11,5 – 17	14,32 ± 1,96	11,5 – 17	14,32 ± 1,96
	Berat Badan (kg)	19 – 37,6	26,23 ± 6,03	12 – 43	28,18 ± 10,74
	Tinggi Badan (cm)	115 – 140	125,30 ± 7,55	108 – 160	124,6 ± 12,31
	kV	90	90	45 – 46	45,1 ± 0,32
	mAs	0,8 – 3,2	1,63 ± 0,68	5 – 6,3	6,17 ± 0,41
	Dosis ESD (mSv)	0,08 – 0,26	0,16 ± 0,07	0,15 – 0,33	0,21 ± 0,06
Kategori -3 (11-15) tahun	Tebal Tubuh (cm)	13 – 20	16,33 ± 2,38	13 – 20	16,33 ± 2,38
	Berat Badan (kg)	22,5 – 78	48,64 ± 18,18	22,9 – 57	39,37 ± 13,71
	Tinggi Badan (cm)	129 -168	154,0 ± 12,66	135 – 169	150,4 ± 12,62
	kV	125	125	48 – 55	50,4 ± 2,67
	mAs	0,8 – 1,7	1,16 ± 0,35	5,6 – 8	6,36 ± 0,93
	Dosis ESD (mSv)	0,09 – 0,21	0,15 ± 0,04	0,13 – 0,56	0,31 ± 0,13

Pada Tabel 1 diperlihatkan besaran nilai dosis yang diperoleh untuk setiap kategori. Pada Kategori-1, dosis ESD rata-rata yang diterima pasien thorax anak usia 1 – 5 tahun adalah relatif sama untuk kedua metode yang digunakan. Namun, rata-rata berat badan dan tinggi badan anak pada metode AEC lebih besar dibandingkan metode manual. Dosis ESD yang diperoleh dari metode manual, sangat bergantung pada karakteristik anak. Semakin berat maka dosis ESD yang akan diterima pasien anak juga akan lebih besar. Dalam penelitian ini, untuk mendapatkan pasien anak pemeriksaan thorax dengan variabel usia (tahun), ketebalan dada (cm), berat badan (kg) dan tinggi badan (cm) yang sama untuk setiap kategori kedua metode sulit sekali diperoleh. Hanya variabel usia dan ketebalan dada yang bisa disamakan untuk kedua

metode tersebut. Untuk operator yang belum berpengalaman, *metode manual menjadi tantangan dalam memberikan faktor paparan yang tepat untuk mendapatkan kualitas citra medis yang bagus, karena setiap* pasien memiliki ukuran dan bentuk tubuh yang berbeda-beda. *Hal ini* menjadi keunggulan metode AEC dalam mencapai kualitas citra sinar-X yang konsisten. Metode AEC juga rentan terhadap kesalahan operator, biasanya disebabkan karena kesalahan posisi pasien (15).

Pada Kategori-2, dengan berat badan yang relatif sama terlihat metode AEC memberikan dosis lebih rendah, masing-masing (0,16±0,07) mSv untuk metode AEC dan (0,21±0,07) mSv untuk metode manual. Dosis ESD pada Kategori-3, metode AEC memberikan hasil dengan dosis jauh lebih

rendah meskipun rata-rata berat pasien anak jauh lebih besar.

Penelitian tentang dosis ESD yang diterima pasien anak untuk keseluruhan jenis pemeriksaan masih belum banyak dilakukan, sehingga sulit untuk mendapat data dosisnya. Menurut UNSCEAR (16), batas dosis pasien anak pemeriksaan thorax untuk 4 kategori menurut usia ditunjukkan pada Tabel 2 dan tidak diketahui metode yang digunakan. Data ini terlihat sangat rendah sekali jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari metode AEC dan metode manual.

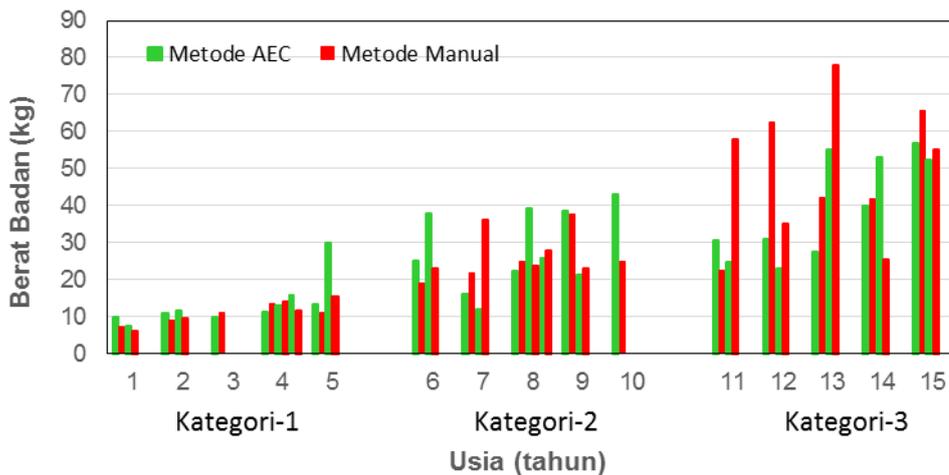
Tabel 2. Dosis ESD berdasarkan usia anak menurut UNSCEAR (16)

Umur Pasien (tahun)	Dosis Serap (mSv)
< 1	0,02
1 – 5	0,03
5 – 10	0,04
10 – 15	0,05

Setiap kategori terdiri atas 10 pasien untuk metode AEC dan 10 untuk metode manual. Pasien Kategori-1 (usia 1 – 5 tahun)

tersebut, dibagi lagi untuk metode AEC dan metode manual masing-masing 2 pasien. Pada Gambar 3 terlihat pasien anak-1 (usia 1 tahun) dengan metode AEC lebih berat dari pasien anak-1 dengan metode manual. Namun dosis ESD yang diterima pasien thorax anak lebih rendah, seperti pada Gambar 3.

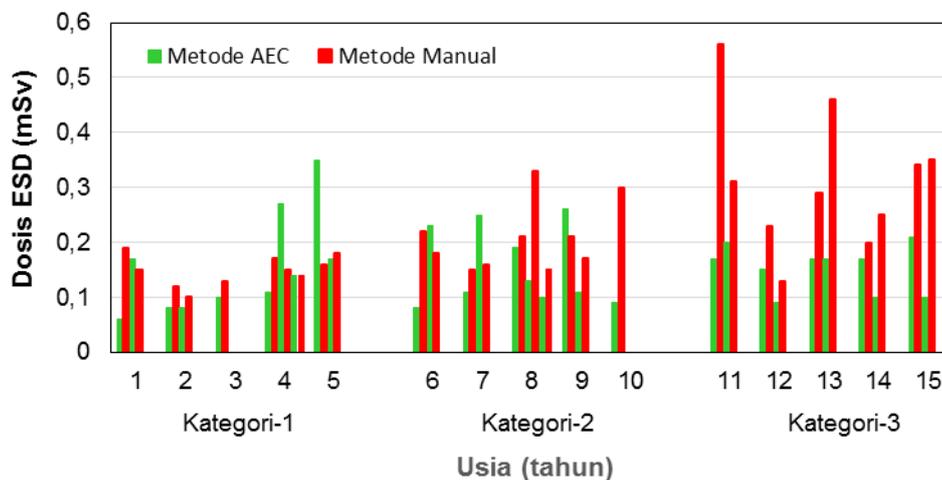
Gambar 4 merupakan grafik yang menunjukkan perbedaan dosis dengan metode AEC yang lebih rendah dibandingkan metode manual, terutama usia anak Kategori-3. Dari data pasien anak yang menjalani pemeriksaan thorax menunjukkan bahwa pasien anak pada Kategori-3 memiliki karakteristik yang sudah mulai mendekati pasien dewasa. Penurunan rata-rata nilai dosis ESDnya dengan menggunakan metode AEC mencapai 50% atau separuh dari dosis yang menggunakan metode manual.



Gambar 3. Perbandingan berat badan anak pemeriksaan thorax berdasarkan usia untuk semua kategori

Jika dilihat secara keseluruhan dari grafik, maka nilai dosis ESD, dengan metode AEC menghasilkan nilai dosis relatif lebih rendah daripada metode manual. Data pada grafik juga menunjukkan nilai dosis ESD pada anak usia 4 dan 5 tahun lebih tinggi daripada metode manual, hal ini dapat disebabkan oleh faktor ketebalan dan berat badan pasien. Ketika radiasi menembus objek, maka sensor pada detektor AEC akan bekerja menyerap radiasi yang dibutuhkan

untuk memenuhi level dari kualitas gambaran, akibatnya jika ketebalan dan berat badan pasien lebih besar maka nilai mAs pada metode AEC akan lebih tinggi sehingga dosis yang dihasilkan juga akan lebih besar. Secara umum, berat badan anak pada Kategori-1 yang menjalani pemeriksaan thorax dengan metoda AEC lebih berat dari metode manual. Sehingga, metode AEC bisa juga diaplikasikan pada pasien usia 1 – 5 tahun, namun tidak dianjurkan.



Gambar 4. Perbandingan dosis ESD yang diterima pasien anak pada pemeriksaan thorax antara metode AEC dan manual berdasarkan usia.

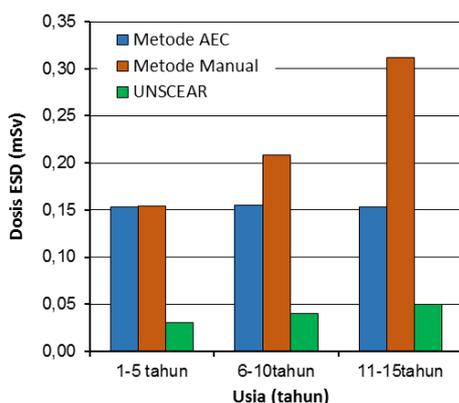
Pada pasien anak Kategori II menunjukkan bahwa penyebaran data dosis terlihat acak, penggunaan metode AEC menghasilkan nilai dosis lebih rendah daripada metode manual. Pada usia 7 tahun nilai dosis untuk metode AEC terlihat lebih tinggi dari metode manual, jika dilihat pada Tabel 1, maka ketebalan pasien terlihat sama antara pasien dengan menggunakan metode AEC dan metode manual namun berat badan pasien dengan metode AEC lebih besar sehingga penerimaan dosis pasien pada metode AEC lebih tinggi, hal ini dimungkinkan karena faktor indeks massa tubuh pasien anak yang

bervariasi. Sedangkan pada usia 8 tahun untuk pasien dengan menggunakan metode AEC dosisnya lebih rendah karena jika dilihat dari nilai rata-rata berat badannya berada di bawah usia 7 tahun. Hal ini membuktikan bahwa karakteristik pasien anak yang bervariasi akan menghasilkan dosis yang berbeda dalam rentang usia kategori II baik itu pada penggunaan metode AEC maupun metode manual.

Sebaran dosis pada pasien Kategori III masih terlihat acak, perbandingan nilai dosis ESD antara metode manual dan metode AEC terlihat sangat jauh bahkan nilai rata-rata

dosisi metode AEC setengahnya dari nilai rata-rata dosis metode manual. Hal ini disebabkan karena pemberian parameter penyinaran yang terlalu tinggi khususnya pada metode manual dan tidak adanya standar parameter yang tetap untuk karakteristik pasien anak.

Metode yang digunakan oleh UNSCEAR untuk mendapatkan data dosis ESD anak tidak diketahui. Jika rata-rata dosis ESD anak dalam pemeriksaan thorax dibandingkan dengan data dosis anak yang dikeluarkan oleh UNSCEAR, maka data yang diperoleh dalam penelitian ini terlihat masih lebih tinggi (Gambar 5). Kategori-1 masing-masing adalah 5,10 kali untuk metode AEC dan 5,15 kali untuk metode manual. Begitu juga untuk Kategori-2 dan -3, masing-masing 3,88 kali (metode AEC), 5,20 kali (metode manual) dan 3,06 kali (metode AEC), 6,24 kali (metode manual).



Gambar 5. Grafik perbandingan nilai dosis ESD pasien anak pemeriksaan thorax.

Penggunaan metode manual memberikan hasil yang relatif lebih tinggi. Untuk itu perlu adanya tindakan menstandarisasikan atau pembuatan *Dose Reference Level* (DRL), khusus pasien anak yang sesuai dengan karakteristik anak

Indonesia. Dengan demikian, prinsip proteksi radiasi pasien anak yang melaksanakan pemeriksaan radiodiagnostik bisa tercapai. Meskipun aplikasi metode AEC secara keseluruhan pada pasien anak memberikan dosis ESD lebih rendah, namun masih sangat perlu mempertimbangkan aspek anatomi anak yang sangat variatif, penggunaan kV tinggi yang masih berpedoman pada referensi pasien anak luar negeri dan aspek keamanan pesawat sinar-X yang digunakan harus terkalibrasi sesuai dengan kebutuhan, misalkan uji kesesuaian untuk AEC.

5. KESIMPULAN

Penggunaan metode AEC pada pemeriksaan thorax anak menghasilkan dosis ESD lebih rendah daripada metode manual. Nilai rata-rata dosis pasien Kategori-1 untuk metode AEC relatif sama dengan metode manual, hal ini dapat terjadi karena faktor anatomi tubuh pasien yang meliputi ketebalan tubuh, tinggi badan dan berat badan pasien yang sangat bervariasi. Pasien anak dengan anatomi yang sama untuk kedua metode yang digunakan sulit didapatkan. Secara umum, metode AEC relatif lebih baik dari metode manual, sehingga prinsip mengutamakan faktor keselamatan radiasi dan kemungkinan risiko kanker pada pasien anak sebagai akibat terpapar radiasi medis dapat ditekan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada pimpinan RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo, Ka. Prodi Fisika Fakultas Teknik dan Sains

Universitas Nasional dan Ka. PTKMR-BATAN yang telah memberikan support dan izin dalam menggunakan fasilitas penelitian, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Dan juga, kepada para staf dan teknisi yang telah membantu secara langsung maupun tidak untuk kelancaran dalam melakukan pengukuran dosis. Dalam naskah ilmiah ini, Hasnel Sofyan merupakan kontributor utama, sedangkan Zany Nurfauzanil Ibad dan Muzilman Muslim sebagai kontributor anggota.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Rulaidi WEP, Huri MSN, Ng KH. Investigation of the characteristics of Automatic Exposure Control (AEC) of a Computed Tomography (CT) scanner by utilising cylindrical and anthropomorphic phantoms. *J Phys Conf Ser.* 2017;851(1).
2. Chung YH, Kwon S-A, Jeong SH. The Usefulness of Auto Exposure Control mode in Digital Flat-Panel System for Reduction of Dose Area Product : Phantom Study of the Lumbar Spine. *Digit Radiogr Bones.* 2011;
3. Frush DP. Radiation risks to children from medical imaging. *Rev Médica Clínica Las Condes.* 2013;24(1):15–20.
4. Hendee WR, O'Connor MK. Radiation risks of medical imaging: Separating fact from fantasy. *Radiology.* 2012;264(2):312–21.
5. Teles P, Vaz P, de Sousa CC, Paulo G, Santos J, Pascoal A, et al. Estimation of the collective dose in the portuguese population due to medical procedures in 2010. *Radiat Prot Dosimetry.* 2013;154(4):446–58.
6. Wall BF. Radiation protection dosimetry for diagnostic radiology patients. *Radiat Prot Dosimetry.* 2004;109(4):409–19.
7. Esen NU, Obed RI. Doses received by patients during thorax X-ray examinations. *Iran J Med Phys.* 2012;9(4):245–51.
8. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Annex B: Effects of radiation exposure of children. Vol. UNSCEAR 20, United Nations. 2013. 279 p.
9. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *Lancet.* 2012;380:499–505.
10. Zoetelief J, Julius H., Christensen P. Recommendations for Patient Dosimetry in Diagnostic Radiology using TLD. *Nuclear Science and Technology, European Communities.* EUR 19604, Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg; 2000.
11. Obryk B, Skowrońska K, Sas-Bieniarz A, Stolarczyk L, Biłski P. High-dose high-temperature emission of LiF:Mg,Cu,P: Thermally and radiation induced loss & recovery of its sensitivity. *Radiat Meas.* 2013;56(August 2015):171–8.
12. Sofyan H, Kusumawati DD. Perbandingan tanggapan Dosimeter Termoluminisensi LiF:Mg,Ti dan LiF:Mg,Cu,P terhadap dosis dalam

- aplikasi medik. *J Sains dan Teknol Nukl Indones.* 2012;13(2):109–18.
13. Del Sol Fernández S, García-Salcedo R, Mendoza JG, Sánchez-Guzmán D, Rodríguez GR, Gaona E, et al. Thermoluminescent characteristics of LiF: MG, Cu, P and CaSO₄: Dy for low dose measurement. *Appl Radiat Isot.* 2016;111:50–5.
 14. Knight SP. A paediatric X-ray exposure chart. *J Med Radiat Sci.* 2014;61(3):191–201.
 15. Singh S, Kalra MK, Ali Khawaja RD, Padole A, Pourjabbar S, Lira D, et al. Radiation Dose Optimization and Thoracic Computed Tomography. *Radiol Clin North Am.* 2014;52(1):1–15.
 16. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Vol. I, UNSCEAR 2000 Report. 2000. 1–17 p.