



Analisis Nilai *Entrance Skin Dose* (ESD) dan Dosis Hamburan pada Area Tiroid dan Area Gonad pada Phantom PMMA Planar Menggunakan Pesawat Fluoroskopi C-Arm

Asmayati¹, Sri Dewi Astuty^{1*}, Alan Tanjung Aji Prastowo², Syamsir Dewang¹, Ajeng Anggreny Ibrahim¹, dan Ayu Hardianti Pratiwi¹

¹*Laboratorium Optik dan Spektroskopi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Indonesia.*

²*Balai Pengamanan Alat dan Fasilitas Kesehatan, Indonesia.*

Email: dewiastuti@fmipa.unhas.ac.id

**Corresponding Author*

Abstrak

Telah dilakukan penelitian yang menganalisis nilai *Entrance Skin Dose* (ESD) pada phantom PMMA berdasarkan variasi *Field of View* (FOV) dan ketebalan. Selain itu diuji juga besarnya hamburan dosis yang sampai pada daerah tiroid dan gonad pekerja radiasi ketika pemeriksaan C-Arm fluoroskopi dilakukan. Variasi nilai tebal phantom sebesar 15, 20, dan 25 cm sedangkan variasi nilai FOV penyinaran FOV 12, 15, 17, dan 20 cm. Tujuan penelitian untuk mengetahui besarnya perubahan nilai ESD akibat perubahan tebal obyek yang secara langsung juga akan mempengaruhi perubahan tegangan puncak setiap penyinaran. Hal ini berimplikasi juga akan memberikan dosis hamburan yang semakin meningkat akibat keberadaan obyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar FOV dan ketebalan phantom, semakin tinggi nilai ESD yang diterima. Pada ketebalan phantom 25 cm, ESD meningkat dari 6,42 mGy pada FOV 12 cm menjadi 11,61 mGy pada FOV 17 cm. Nilai dosis hamburan yang sampai pada area tiroid, maksimum sebesar 22,31 μ Sv pada FOV 20 cm, sedangkan untuk daerah gonad menerima 1,647 μ Sv, yang lebih rendah akibat pada pesawat fluoroskopi dilengkapi dengan pelindung Pb yang diperuntukkan untuk pekerja radiasi ketika melakukan intervensional. Kesimpulan dalam pemeriksaan fluoroskopi C-arms, pekerja radiasi harus juga menggunakan alat pelindung untuk daerah vital lainnya seperti kacamata Pb dan pelindung leher agar lebih aman dari radiasi hambur.

Kata kunci: Dosis Hamburan, *Entrance Skin Dose*, *Field of View*, Fluoroskopi C-Arm, Phantom PMMA.

Abstract

A study has been conducted analyzing the Entrance Skin Dose (ESD) value on PMMA phantoms based on variations in Field of View (FOV) and thickness. In addition, the magnitude of the dose scattering that reaches the thyroid and gonad areas of radiation workers when C-Arm fluoroscopy examination is performed was also tested. The variation in phantom thickness values was 15, 20, and 25 cm while the variation in FOV irradiation values was 12, 15, 17, and 20 cm. The purpose of the study was to determine the magnitude of the change in ESD value due to changes in object thickness

which will also directly affect changes in peak voltage for each irradiation. This also has implications for providing an increasing scattering dose due to the presence of the object. The results showed that the larger the FOV and thickness of the phantom, the higher the ESD value received. At a phantom thickness of 25 cm, ESD increased from 6.42 mGy at a FOV of 12 cm to 11.61 mGy at a FOV of 17 cm. The scatter dose value that reaches the thyroid area is a maximum of 22.31 μ Sv at FOV 20 cm, while the gonad area receives 1.647 μ Sv, which is lower because the fluoroscopy machine is equipped with Pb protection for radiation workers when performing interventions. The conclusion in C-arm fluoroscopy examinations, radiation workers must also use protective equipment for other vital areas such as Pb glasses and neck protection to be safer from scattered radiation.

Keywords: C-Arm Fluoroscopy, Entrance Skin Dose, Field of View, PMMA Phantom, Scatter Dose.

1. PENDAHULUAN

Penemuan sinar-X oleh W.C. Röntgen pada tahun 1895 menjadi tonggak penting dalam dunia kedokteran karena untuk pertama kalinya memungkinkan visualisasi struktur internal tubuh manusia tanpa operasi [1]. Salah satu pemanfaatan sinar-X dalam bidang kesehatan adalah prosedur radiologi diagnostik seperti radiografi, fluoroskopi dan CT-Scan. Pesawat Sinar-X Fluoroskopi adalah Pesawat Sinar-X yang memiliki tabir atau lembar penguat fluorosensi yang dilengkapi dengan sistem video yang dapat mencitrakan obyek secara kontinu [2]. Penerapan pesawat sinar-X fluoroskopi untuk memperoleh hasil citra dalam bentuk statis maupun dalam bentuk video dari struktur organ pasien secara *real time* [3].

Pesawat sinar-X fluoroskopi menerapkan konsep *Automatic Exposure Control* (AEC) dalam sistem radiografi dan fluoroskopi. AEC adalah perangkat otomatis yang menyesuaikan faktor teknik radiografi, terutama *miliampere-sekon* (mAs), untuk menjaga intensitas sinyal yang konstan pada *image receptor*, meskipun terjadi variasi ketebalan pasien, energi sinar-X, jarak detektor, atau faktor teknis lainnya serta dalam fluoroskopi, AEC mengontrol *Incident Air Kerma* (Ki) rata-rata [4]. Sistem sinar-X fluoroskopi digital tipe C-Arm semakin banyak digunakan di ruangan operasi untuk berbagai prosedur yang dipantu oleh citra [5]. Pada fluoroskopi mobile C-arm terdapat FOV, yang berfungsi untuk memastikan bahwa radiasi sinar-X berfokus pada area yang diperlukan untuk pemeriksaan atau prosedur medis [6].

Salah satu manfaat dari pesawat fluoroskopi C-Arm untuk mengetahui pergerakan kateter pada saat kateterisasi jantung [7]. Kateterisasi jantung atau *Cardiac Catheterization Laboratory* (Cath Lab) merupakan fasilitas khusus dalam menangani berbagai masalah jantung, melalui pencitraan klinis [8]. *Cath Lab* berperan penting dalam perawatan kardiovaskular, melakukan berbagai prosedur mulai dari angiografi koroner, aritmia, pacing jantung, intervensi perkutan koroner, pediatrik dan vaskular [9]. Dosimetri pesawat sinar-X fluoroskopi terdiri dari *Dose Area Product* (DAP), kerma udara, Nilai ESD, laju dosis, dosis efektif, dan dosis akumulatif. Nilai ESD adalah dosis radiasi yang diterima kulit pasien atau phantom pada titik masuk sinar-X [10]. Selain itu, radiasi yang keluar dari obyek dan tidak searah dengan sinar primernya itu disebut dengan radiasi hambur (*scattering*). Radiasi

hamburan ini akan menambah jumlah dosis radiasi yang diterima. Semakin dekat tubuh kita dengan sumber radiasi maka paparan radiasi yang kita terima akan semakin besar [11].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya perubahan nilai ESD akibat perubahan tebal obyek yang secara langsung juga akan mempengaruhi perubahan tegangan puncak setiap penyinaran. Hal ini berimplikasi juga akan memberikan dosis hamburan yang semakin meningkat akibat keberadaan obyek. Pada penelitian ini juga menggunakan sistem flurosopi yaitu AEC, sehingga faktor eksposi seperti tegangan dan arus akan menyesuaikan dengan obyek yang disinari. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang luas untuk banyak orang mengenai nilai ESD dan penting penggunaan alat pelindung radiasi (*shielding pb*) bagi pekerja radiasi.

2. METODE PENELITIAN

a) Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu detektor R/F *Raysafe* dan Pendosimeter, sedangkan bahan yang digunakan adalah Phantom *polymethyl methacrylate* (PMMA). Pesawat sinar-X yang digunakan adalah pesawat sinar X fluoroskopi khusus *Cath Lab*. Penelitian ini dilakukan di instalasi radiologi khusus ruang *Cath Lab* Rumah Sakit TK II Pelamonia Makassar untuk dapat diketahui nilai ESD dengan signifikansi perubahan tebal phantom serta variasi FOV. Hamburan dosis yang terima oleh radiografer atau pekerja radisi diukur pada area tiroid dan area gonad.



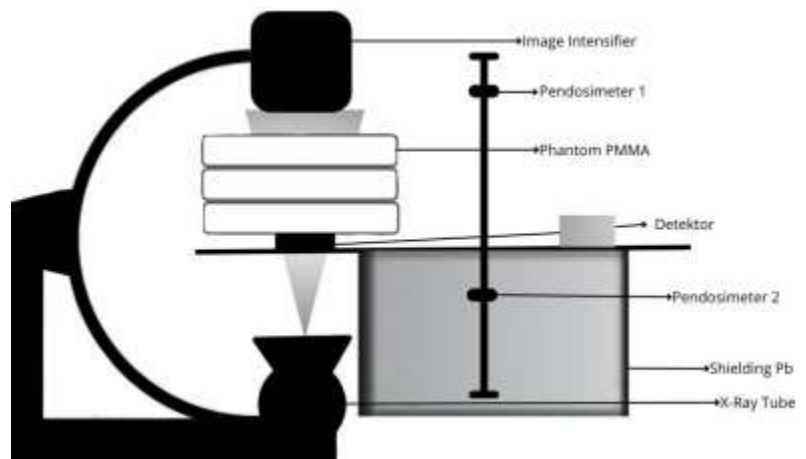
Gambar 1. Pesawat Sinar-X Flouroskopi

b) Metode Pengambilan Data

Pada penelitian ini menggunakan variasi FOV yaitu 20, 17, 15 dan 12 cm dengan variasi ketebalan phantom yaitu 15, 20 dan 25 cm. Detektor R/F *Raysafe* yang digunakan untuk mengukur jumlah radiasi ESD, ditempatkan di bawah phantom PMMA karena tabung sinar-X diarahkan dari bawah meja pasien. Dua buah pendosimeter sebagai detektor tambahan ditempatkan pada titik yang diasumsikan pada area tiroid dan gonad. Kedua pendosimeter tersebut direkatkan pada tiang alat penyangga khusus (sesuai gambar 2). Adapun jarak antara sumber radiasi dengan detektor adalah 66 cm dan jarak antara area tiroid dengan gonad pendosimeter ditempatkan terpisah sejauh 80 cm.

Pada percobaan, dilakukan pengukuran radiasi yang sampai di permukaan phantom (K_i) dan dosis hamburan yang terpapar di dua titik area pengamatan yaitu tiroid dan gonad pasien. Prosedur dilakukan untuk seluruh variasi ketebalan Phantom terhadap tiga variasi FOV yaitu 20, 17, 15, dan 12 cm.

Desain pengukuran selengkapnya di gambar 2. Detektor R/F *raysafe* diletakkan di atas meja pasien sebelum penempatan Phantom. Pendosimeter 1 diletakkan pada area tiroid dan pendosimeter 2 pada area gonad.



Gambar 2. Ilustrasi desain pengukuran

c) Penentuan Nilai *Entrance Skin Dose* (ESD)

Nilai ESD yang akan dihitung menggunakan persamaan (1) setelah mendapatkan hasil pengukuran nilai K_i sedangkan nilai *Backscatter Factor* (BSF) merupakan ketetapan yang dapat diperoleh dari standar literatur. Umumnya nilai konstanta BSF untuk permukaan kulit 1,52, tetapi pada beberapa pendekatan jika menggunakan phantom berbahan dasar PMMA sebagai jaringan, ketentuan nilai BSF disesuaikan dengan luas permukaan yang dipilih saat penyinaran (lengkapannya dalam pembahasan). *Entrance Skin Air Kerma* yang selanjutnya disebut sebagai ESAK adalah kerma udara hasil pengukuran atau hasil perhitungan yang sudah mempertimbangkan atau memasukkan faktor hamburan balik atau nilai BSF. Terminologi ESAK juga identik dengan nilai ESD [1,12]. Dalam penelitian ini nilai ESD yang diterima oleh Phantom dihitung dengan rumus:

$$ESD = K_i \times BSF \quad (1)$$

Dengan:

K_i = Dosis radiasi yang diukur di udara (mgy)

B = Faktor hamburan balik

Nilai *Backscatter Factor* (BSF) untuk Phantom *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) bergantung pada beberapa parameter, termasuk tegangan tabung sinar-X (kVp), ukuran

lapangan radiasi (FOV) dan ketebalan Phantom [1]. Pada penelitian ini nilai K_i yang dihasilkan pada pengukuran tergantung ketebalan Phantom dan luas lapangan (FOV).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Faktor Eksposi Dari Pengukuran Fluoroskopi mode automatic

Pada penelitian ini menggunakan Phantom yang memiliki tiga ketebalan berbeda, yaitu 15, 20, dan 25 cm. Selain itu, FOV yang diuji terdiri dari empat variasi, yaitu 12, 15, 17, dan 20 cm. Prinsip kerja dari fluoroskopi yaitu *Automatic Exposure Control* (AEC) dimana sistem mendeteksi densitas atau ketebalan objek dan menyesuaikan kVp secara *real-time* untuk mendapatkan pencitraan optimal lainnya, serta dalam fluoroskopi, AEC mengontrol *Incident Air Kerma Rate* (IAKR). Dari Tabel 1 menunjukkan kompleks sistem AEC, dimana banyak parameter tambahan yang dapat dikontrol secara otomatis, seperti ketebalan phantom dan FOV. Hal ini meningkatkan efisiensi dan kualitas pencitraan, sekaligus meminimalkan dosis radiasi yang diterima pasien [4].

Tabel 1. Data variasi ketebalan Phantom dan FOV terhadap tegangan (kVp)

Tegangan Tebal Phantom	Tegangan (kVp)			
	FOV 12 cm	FOV 15 cm	FOV 17 cm	FOV 20 cm
15 cm	62,5	63,8	62,7	62,8
20 cm	64,1	65,3	67,1	67,7
25 cm	69,9	71,2	71,4	72,7

Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1, yang memperlihatkan bahwa semakin tebal Phantom, nilai tegangan yang digunakan cenderung meningkat. Terlihat pada FOV 12, tegangan meningkat dari 62,5 kVp pada Phantom 15 cm menjadi 69,9 kVp pada Phantom 25 cm. Tren serupa juga terlihat pada FOV lainnya, meskipun nilai kenaikannya tidak selalu konsisten.

3.2 Hasil Pengukuran Nilai (K_i) Untuk Setiap Variasi FOV Dan Ketebalan

Hasil pengukuran variasi FOV dan ketebalan Phantom terhadap nilai *Incident Air Kerma* (K_i) dapat dilihat pada Tabel 2. Variasi FOV dan ketebalan Phantom dapat mempengaruhi nilai K_i . Dari tabel, dapat dilihat bahwa semakin tebal Phantom dan semakin bertambah FOV nilai K_i yang dihasilkan meningkat.

Berdasarkan Tabel 2, semakin bertambah FOV semakin luas area yang dipindai, sehingga lebih banyak jaringan yang harus ditembus sinar-X. Selain itu, dengan bertambahnya ketebalan Phantom maka nilai tegangan yang keluar dari tabung juga meningkat, menyebabkan jumlah foton sinar-X yang mencapai detektor juga meningkat dan Phantom yang lebih tebal menyebabkan lebih banyak hamburan balik, yang dapat

meningkatkan nilai K_i . Serta dalam fluoroskopi, AEC mengontrol *Incident Air Kerma* (K_i) rata-rata [4]. Terlihat pada FOV 20, nilai K_i meningkat dari 1,186 mGy pada Phantom 15 cm menjadi 10,45 mGy pada Phantom 25 cm.

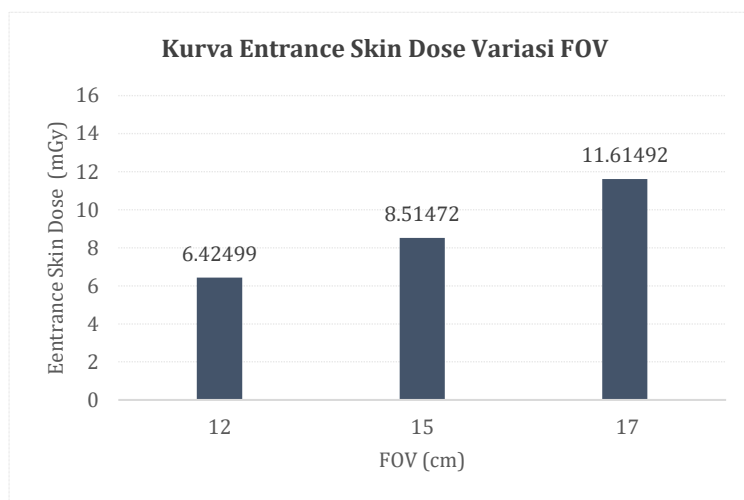
Tabel 2. Data variasi FOV dan ketebalan phantom terhadap nilai *Incident Air Kerma* (K_i)

Tegangan Tebal Phantom	Tegangan (kVp)			
	FOV 12 cm	FOV 15 cm	FOV 17 cm	FOV 19 cm
15 cm	0,7385	0,7520	0,9048	1,186
20 cm	1,873	2,535	3,154	3,308
25 cm	4,493	5,913	7,692	10,45

3.3 Pengaruh FOV terhadap nilai ESD

Variasi *Field Of View* (FOV) terhadap ketebalan Phantom 25 cm dapat dilihat pada gambar 3. Dari gambar tersebut tersebut mencakup tiga percobaan dengan FOV yang berbeda yaitu FOV 12, 15 dan 17 cm. Perubahan variasi FOV yang berbeda dapat mempengaruhi nilai *Entrance Skin Dose* (ESD) pada ketebalan Phantom 25 cm. Terlihat bahwa FOV 12 cm diperoleh ESD sebesar 6,42499 mGy. Ketika FOV meningkat menjadi 15 cm, nilai ESD juga meningkat menjadi 8,51472 mGy. Kenaikan ini semakin signifikan pada FOV 17 cm, dimana nilai ESD mencapai 11,61492.

Gambar 3 terlihat terjadi hubungan linear yang sangat kuat antara FOV dan ESD. Dapat dilihat pada grafik bertambahnya FOV terjadi kenaikan nilai ESD. Hal ini terjadi karena semakin bertambah FOV, luas area yang di sinari oleh sinar-X juga meningkat. Ini menyebabkan lebih banyak jaringan yang menerima radiasi, sehingga ESD bertambah.

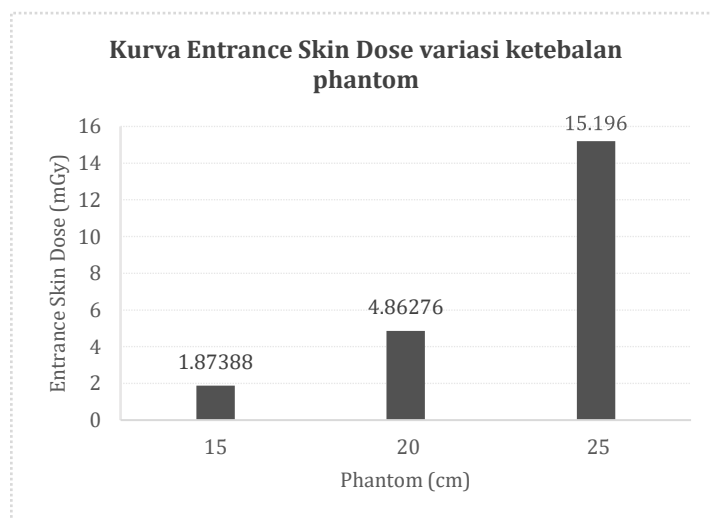


Gambar 3. Grafik Pengaruh FOV terhadap *Entrance Skin Dose* (ketebalan phantom 25 cm)

3.4 Pengaruh Ketebalan Phantom Terhadap ESD

Tahap berikutnya yaitu analisis nilai ESD terhadap variasi ketebalan Phantom. Pada penelitian ini menggunakan Phantom *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) dengan ketebalan yang bervariasi yaitu 15 cm, 20 cm dan 25 cm serta menggunakan FOV 20 cm. Hasil analisis data dapat dilihat pada gambar 4.

Berdasarkan gambar 4, terlihat bahwa semakin bertambah ketebalan Phantom, semakin tinggi nilai *Entrance Skin Dose* (ESD) yang dihasilkan. Pada ketebalan Phantom 15 cm diperoleh ESD sebesar 1,87388 mGy. Ketika ketebalan Phantom meningkat menjadi 20 cm ESD naik menjadi 4,86276 mGy. Kenaikan ini semakin signifikan pada ketebalan Phantom 25 cm, yang menghasilkan nilai ESD sebesar 15,196 mGy.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Ketebalan phantom Terhadap *Entrance Skin Dose* (FOV 20 cm)

Pada gambar 4 dapat nilai ketebalan phantom dapat mempengaruhi *Entrance Skin Dose* (ESD). Bertambahnya ketebalan Phantom dapat meningkatkan ESD, terjadi hubungan korelasi yang sangat kuat antara ketebalan dan ESD. Hal ini terjadi karena semakin tebal Phantom yang digunakan, maka semakin besar hambatan terhadap sinar-X, sehingga meningkatkan intensitas radiasi untuk menembus objek dengan baik, yang mengakibatkan peningkatan dosis pada permukaan kulit.

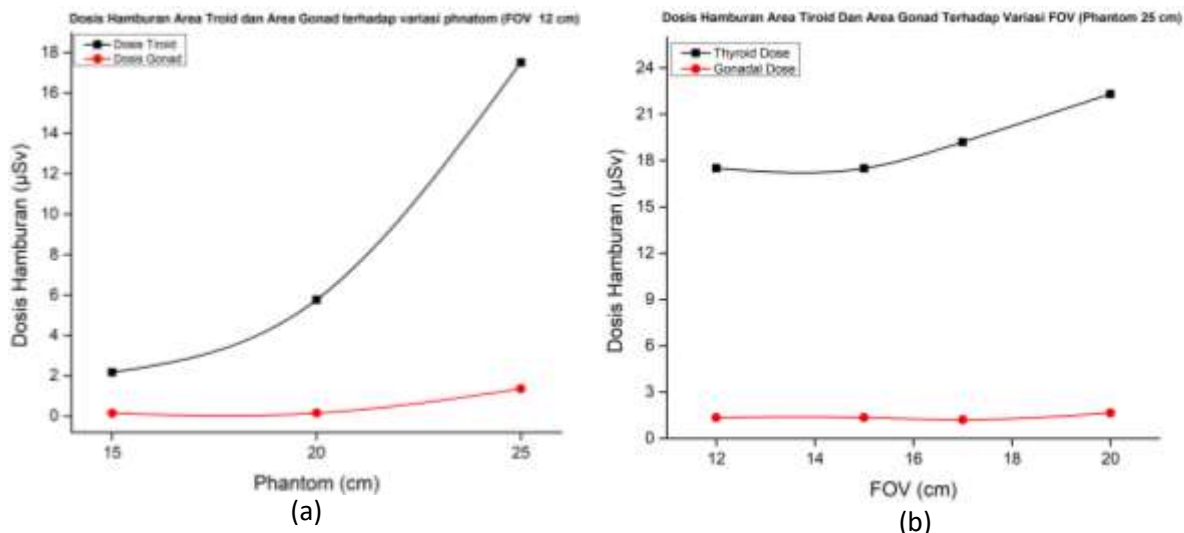
3.5 Pengaruh FOV dan Ketebalan terhadap Dosis Hamburan

Tahap untuk uji dosis hamburan pada area tiroid dan area gonad yang terima oleh radiografer dengan menggunakan variasi FOV maupun variasi ketebalan Phantom. Pada penelitian ini area tiroid (X_1) tidak menggunakan alat pelindung radiasi (*Shielding Pb*) dan area gonad (X_2) menggunakan alat pelindung radiasi (*Shielding Pb*). Hasil dosis hamburan dalam satuan *mikrosievert* (μSv) ditampilkan pada Tabel 5 dan grafik terkait.

Tabel 5. Data variasi FOV dan ketebalan phantom terhadap dosis hamburan tiroid dan gonad

Phantom FOV	15 cm		20 cm		25 cm	
	X_1	X_2	X_1	X_2	X_1	X_2
12 cm	1,001	0,125	5,759	0,151	17,51	1,206
15 cm	1,573	0,127	5,818	0,422	17,90	1,350
17cm	2,093	0,141	6,186	0,372	19,20	1,352
20 cm	2,173	0,150	8,757	0,506	22,31	1,647

Gambar 5 membuktikan bahwa dosis hamburan area tiroid memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan dosis hamburan area gonad. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa organ tiroid menerima paparan radiasi lebih besar dibandingkan organ gonad dalam kondisi yang sama. Pada ketebalan Phantom 25 cm, dosis tiroid meningkat dari **17,51 μSv** pada FOV 12 cm menjadi **22,31 μSv** pada FOV 20 cm, selain itu dosis gonad meningkat dari **1,206 μSv** menjadi **1,647 μSv** . Hal tersebut terjadi karena ketebalan Phantom dan FOV berpengaruh terhadap dosis hamburan, karena semakin tebal Phantom dan semakin luas area penyinaran maka semakin tinggi dosis hamburan yang diterima pekerja radiasi.



Gambar 5. Grafik (a) Variasi FOV terhadap dosis hamburan area tiroid dan dosis hamburan area gonad untuk ketebalan Phantom 25 cm, (b) Variasi Ketebalan terhadap dosis hamburan area tiroid dan dosis hamburan area gonad untuk FOV 25 cm

Berdasarkan Peraturan BAPETEN No. 4 Tahun 2020 dan rekomendasi ICRP 103, batas dosis ekuivalen untuk tiroid dan gonad adalah 500 mSv (*mili-Sievert*) per tahun. Jadi untuk dosis hamburan yang diterima oleh radiografer pada area tiroid dan area gonad masih dalam batas aman. Dari hasil pengukuran, untuk area tiroid menghasilkan dosis hamburan yang paling tinggi yaitu 22,31 μ Sv sehingga pekerja radiasi masih bisa melakukan 22.405 prosedur/tahun. Sedangkan untuk area gonad menghasilkan dosis hamburan yang paling tinggi 1,647 μ Sv sehingga radiografer bisa melakukan prosedur sebanyak 303.548 prosedur/tahun. Dari hasil penelitian ini bisa disimpulkan peningkatan FOV dan ketebalan Phantom dapat meningkatkan dosis hamburan serta pentingnya penggunaan *Shielding Pb* untuk pekerja radiasi.

4. SIMPULAN

Berdasarkan tahap yang dilakukan yaitu variasi ketebalan phantom dan nilai FOV menggunakan pesawat Fluros kopi C-Arm, setiap variasi berpengaruh terhadap nilai *entrance skin dose* (ESD) dan dosis hamburan yang diterima radiografer pada area tiroid dan area gonad. Semakin bertambah ketebalan phantom dan luas lapangan penyinaran nilai ESD dan dosis hamburan semakin meningkat. Perbandingan dosis hamburan yang dihasilkan pada area tiroid dan area gonad sangat signifikan tapi masih sesuai dengan standar BAPETEN No. 4 Tahun 2020 dan ICRP 103. Perbedaan ini terjadi di karenakan pada area tiroid saat pengukuran berlangsung dosis hamburan langsung mengenai organ tiroid tanpa penggunaan *Thyroid Shield*, sedangkan pada area gonad menggunakan *Shielding Pb*. Oleh karena itu, pentingnya penggunaan alat pelindung radiasi bagi pekerja radiasi atau radiografer untuk mengurangi risiko efek jangka panjang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2007). *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice (Technical Reports Series No. 457, pp. 1–372)*. International Atomic Energy Agency.
- [2] BAPETEN. (2011). Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. *Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum BAPETEN*. Diakses pada 12 Februari 2025, dari
- [3] Hikmah Indah, N., Dewang, S., & Dewi Astuty, S. (2023). Analisis Laju Dosis Keluaran Pesawat Sinar-X Fluoroskopi Dual Fungsi Di Rs Wahidin Sudirohusodo Makassar. *Berkala Fisika*, 26(1), 8–14. https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/view/54922
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2014). *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students (pp. 1–710)*. International Atomic Energy Agency.
- [5] Tsalafoutas, I. A., Tsapaki, V., & Triantopoulou, I. (2021). Evaluation of image quality and patient exposure in fluoroscopy using a phantom: Is there any clinical relevance? *European Journal of Radiology*, 138(July 2020), 109607. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109607>
- [6] Acho, S., Tsoka-Gwegweni, J., Stofile, C., Banda, K., Theron, T., & Struwig, V. (2023). Influence of radiation dose reduction gloves on exposure parameters, entrance dose rates and eye doses of interventionalists during mobile C-arm fluoroscopic procedures: A phantom study. *Radiography*, 29(3), 539–545. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2023.02.024>
- [7] Syifa, D. N., & Oktamuliani, S. (2023). Analisis Pengaruh Filter terhadap Kualitas Citra Berbasis Resolusi Spasial dan Derau pada Pesawat Fluoroskopi C-Arm. *Jurnal Fisika Unand*, 12(2), 249–254. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.2.249-254.2023>
- [8] Simanjuntak, J., Damanik, M., & Daulay, E. R. (2022). Analisis Penahan Radiasi Ruang Radiologi Intervensi Cathlab Sebagai Upaya Proteksi Keselamatan Radiasi Di Rsup. H. Adam Malik Medan. *Prosiding Seminar Si-INTAN*, 2(1), 28–38. <https://doi.org/10.53862/ssi.v2.072022.005>
- [9] Ardyles. (2023). Maksimalkan Efisiensi Rumah Sakit: Peran Penting Utilisasi Unit Laboratorium Kateterisasi dalam Manajemen yang Efektif-Sebuah Tinjauan Literatur. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(4), 362–370. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm/article/view/40628>
- [10] Esu, E. O. . C. H. U. . O. A. D. . E. E. M. (2021). Estimation of entrance skin dose and effective dose from abdomen radiography in two diagnostic facilities in Aba, Abia State, South-East Nigeria. *World Scientific News*, 161(September), 143–156. <https://worldscientificnews.com/estimation-of-entrance-skin-dose-and-effective-dose-from-abdomen-radiography-in-two-diagnostic-facilities-in-aba-abia-state-south-east-nigeria/>
- [11] Syafitri, N. F., Milvita, D., & Kartikasari, D. (2024). Estimasi Enterance Surface Dose (ESD) pada Mata, Kelenjar Tiroid, dan Kelenjar Parotis pada Pemeriksaan Dental

- Panoramic di Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand*, 13(3), 385–391. <https://doi.org/10.25077/jfu.13.3.385-391.2024>
- [12] BAPETEN. (2021). Pedoman Teknis Penerapan Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (Indonesian Diagnostic Reference Level). *Teknis Penerapan Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (Indonesian Diagnostic Reference Level)*, 8, 1–61.
- [13] Heryani, H., D Reskianto, A., Anam, C., W Widhianto, R., & C Martania, A. (2023). Pembuatan In-House Phantom untuk Pengukuran Image Quality dan Dosimetri Sebagai Tool Optimasi Protokol Pemeriksaan CT Scan Thorak. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, 3(2), 52–58. <https://doi.org/10.53862/jupeten.v3i2.009>
- [14] Rahma, A., Wigati, A., Hidayanto, E., Marhaendrajaya, I., & Triadyaksa, P. (2022). *Komparasi Entrance Surface Air Kerma (Esak) Dengan Software Caldose_X Dan Metode Tube Output Pada Pasien Thorax Dewasa Dalam Pemeriksaan Radiografi Umum Berdasarkan Data Si-Intan*. 25(4), 122–134. https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/download/51390/22967
- [15] Bapeten. (2020). Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat Sinar-X Dalam Radiologi Diagnostik Dan Intervensial. *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia*, 1–52. <https://jdih.bapeten.go.id/unggah/dokumen/peraturan/1028-full.pdf>
- [16] Tsapaki, V., Damilakis, J., Paulo, G., Schegerer, A. A., Repussard, J., Jaschke, W., Frija, G., International Commission on Radiological Protection, Choi, H. R., Kim, R. E., Heo, C. W., Kim, C. W., Yoo, M. S., Lee, Y., Protection, I. I. C. on R., Yaffe, M. J., Applications, T., Protection, R., Basic, I., ... Bradley, D. A. (2021). Annals of the ICRP Annals of the ICRP. In *Radiation Physics and Chemistry* (Vol. 188, Issue 24). www.mdpi.com/journal/diagnostics%0Ahttp://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1609_web.pdf%5Cnhttp://www.vomfi.univ.kiev.ua/assets/files/IAEA/Pub1462_web.pdf%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16168243
- [17] Javor, D., Moyses, J., Loewe, C., & Schernthaner, R. E. (2021). Radiation dose reduction capabilities of a new C-arm system with optimized hard- and software. *European Journal of Radiology*, 134, 109367. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109367>
- [18] Wahyuni, F., & Sugiarti, S. (2024). Pengaruh Penggunaan Phantom dalam Pengukuran Paparan Radiasi Sinar-X untuk Proteksi Radiasi. *Saintifik*, 10(1), 89–94. <https://doi.org/10.31605/saintifik.v10i1.479>
- [19] Samaila, B. (2022). *Estimation Of Entrance Skin Dose And Effective Dose In Cervical Spine X-Ray Procedures*. 2(3), 549–554. <https://ijeap.org/ijeap/article/view/101>
- [20] Hariyati, I., Randy Raharja, H. D., Reynaldy Fajrin, D., Yuwanto Hanapi, M. R., Prawoto, U., Noptua Haposan, U., Renisha Mulia, I., ISH Supit, N., Salamah, T., & Evan Lubis, L. (2023). Evaluasi Dose-Area Product Dan Waktu Fluoroskopi Sebagai Metrik Dosis Pada Audit Dosis Prosedur Fluoroskopi Intervensial: Studi Multisenter. *Prosiding Seminar Si-INTAN*, 3(1), 11–16. <https://doi.org/10.53862/ssi.v3.092023.002>

- [21] ICRP. (2007). ICRP PUBLICATION 103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Radiation Physics and Chemistry*, 188(24), 1–337.
- [22] Miyantra Sukma Tritania. (2024). Evaluasi dosis radiasi pada pemeriksaan radiologi intervensi Coronary Angiography Rumah Sakit Umum Arifin Achmad Tritania Sukma Miyantra. *Nautical: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(11), 1–8.
<https://jurnal.arkainstitute.co.id/index.php/nautical/index>