

Evaluasi Kelayakan dan Efektivitas *Lead Apron* sebagai Alat pelindung Diri di Instalasi Radiologi

Vara Taufiq¹, Dian Milvita^{1,*}, Hasnel Sofyan², Amel Oktavia S.³

1)Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Limau Manis Padang, Sumatera Barat 25175

2)PRTKMMN BRIN, Pasar Jumat, Lebak Bulus, Jakarta Selatan

3)Instalasi Radiologi, Rumah Sakit Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 7 Agustus 2023
Direvisi: 22 Oktober 2023
Diterima: 30 November 2023

Kata kunci:

Computed radiography
Dosimeter OSL
Lead apron

Keywords:

Computed radiography
Dosimeter OSL
Lead apron

Penulis Korespondensi:

Dian Milvita
Email: dianmilvita@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan radiasi sinar-X dalam instalasi radiologi memiliki dampak positif dan negatif. Dampak negative paparan radiasi sinar-X dapat dikurangi dengan cara menggunakan *lead apron*. Penelitian bertujuan untuk mengetahui luas kerusakan sebagai penentu kelayakan *lead apron* dan mengevaluasi efektivitas *lead apron* dalam memberikan perlindungan yang memadai. Evaluasi kelayakan dan efektivitas dilakukan terhadap 5 *lead apron* milik Rumah Sakit Universitas Andalas. Metode evaluasi kelayakan dilakukan dengan membagi *lead apron* menjadi 4 kuadran, lalu dilakukan penyinaran menggunakan pesawat sinar-X konvensional dengan faktor eksposi 58,5 kV dan 8 mAs. Hasil penyinaran diolah menggunakan computed radiography (CR) untuk mengukur luas kerusakan pada *lead apron*. Efektivitas *lead apron* dievaluasi menggunakan dosimeter *optically stimulated luminescence* (OSL) yang ditempatkan di bagian atas dan dalam *lead apron*, kemudian dilakukan penyinaran dengan faktor eksposi 102 kV dan 2,5 mAs. Hasil menunjukkan bahwa luas kerusakan keseluruhan *lead apron* berkisar (0,8-198,7) mm². Luas kerusakan *lead apron* tidak ada yang melebihi batas toleransi yang telah disarankan oleh Lambert dan McKeon sehingga *lead apron* dinyatakan layak untuk digunakan. Hasil pengujian efektivitas *lead apron* berkisar antara (87,8-99,1) %, dan 9 dari 12 titik uji memiliki efektivitas melebihi nilai yang tertera pada katalog Infab yaitu >96,0%.

The utilization of X-ray radiation in radiology installations has both positive and negative impacts. The negative effects of X-ray radiation exposure can be reduced by using lead aprons. The study aims to determine the extent of damage as a determinant of the suitability of lead aprons and evaluate their effectiveness in providing adequate protection. The suitability and effectiveness evaluation were conducted on 5 lead aprons owned by Andalas University Hospital. The suitability evaluation method involved dividing the lead aprons into 4 quadrants, followed by irradiation using conventional X-ray machines with an exposure factor of 58.5 kV and 8 mAs. The irradiation results were processed using computed radiography (CR) to measure the extent of damage on the lead aprons. The effectiveness of the lead aprons was evaluated using OSL dosimeters placed on top and inside the lead apron, followed by irradiation with an exposure factor of 102 kV and 2.5 mAs. The results show that the overall damage area of the lead apron ranges from (0.8-198.7) mm². None of the lead apron damage areas exceeded the tolerance limits suggested by Lambert and McKeon so that the lead apron was declared fit for use. The test results of lead apron effectiveness ranged from (87.8-99.1) %, and 9 out of 12 test points had effectiveness exceeding the value stated in the Infab catalog which is >96.0%.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Radiasi merupakan zat karsinogenik yang mampu memicu pertumbuhan sel kanker walaupun dosis radiasi yang diterima tubuh tergolong rendah (IAEA, 2010). Pemanfaatan radiasi sinar-X dalam pelayanan di instalasi radiologi dapat memberikan dampak positif dan negatif. Upaya mengurangi dampak negatif dalam pemanfaatan radiasi dapat dilakukan dengan menerapkan proteksi radiasi. Berdasarkan (PERKA BAPETEN No.8, 2011), peralatan proteksi radiasi meliputi pelindung gonad, pelindung tiroid, sarung tangan Pb, kaca mata Pb, kaca Pb dan *lead apron*. *Lead apron* harus memiliki ketebalan yang setara dengan 0,20 mm Pb atau 0,25 mm Pb untuk radiologi diagnostik dan 0,35 mm Pb atau 0,50 mm Pb untuk radiologi intervensional (BAPETEN No.4, 2020).

Lead apron terbuat dari timah hitam yang bersifat lunak, mudah ditempa dan bertitik leleh rendah (Adhani & Husaini, 2017). Timah hitam mudah untuk mengalami kerusakan, sehingga *lead apron* harus dirawat dengan cara yang benar. Penyimpanan *lead apron* tidak boleh dilipat dan digantung, karena dapat mengakibatkan kerusakan internal (Kemenkes No. 1250, 2009). Peletakan *lead apron* yang benar adalah dibentangkan pada rak khusus. *Lead apron* tidak boleh diletakkan berdekatan dengan sumber panas (Lloyd, 2001). *Lead apron* perlu diuji enam bulan sekali untuk mengetahui adanya kerusakan pada timah hitam. Pengujian *lead apron* dapat dilakukan menggunakan pesawat fluoroskopi dan sinar-X konvensional.

Pengujian kelayakan *lead apron* telah dilakukan Nikmawati & Masrochah (2018), Sari et al. (2020), dan beberapa peneliti lainnya. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh hasil bahwa masih terdapat *lead apron* yang mengalami kerusakan melebihi batas toleransi tetapi tetap digunakan. Toleransi kerusakan *lead apron* mengacu pada teori Lambert & McKeon (2001) yaitu *lead apron* dinyatakan layak apabila kerusakan $<670 \text{ mm}^2$ untuk area kurang sensitif dan $<15 \text{ mm}^2$ pada area sensitif seperti gonad dan payudara.

Kerusakan pada *lead apron* dapat mengakibatkan penurunan efektivitas *lead apron* secara signifikan. Efektivitas pada *lead apron* dapat diuji menggunakan sinar-X dengan tegangan (50-150) kV (IEC, 2016). *Lead apron* mampu untuk meredam hingga setengah dari dosis radiasi yang diserap pada energi foton kurang dari 140 keV (He et al., 2017). Ilupeju et al. (2021) melakukan penelitian untuk mengevaluasi efektivitas *lead apron* dengan waktu simpan berkisar antara (1-16) tahun di Rumah Sakit di Abuja Nigeria. Penelitian dilakukan menggunakan *optically stimulated luminescence dosimeter* (OSLD) yang diletakkan sebelum dan sesudah melalui *lead apron*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas *lead apron* menurun seiring waktu dan harus diganti setelah paling lama 15 tahun agar perlindungan lebih efektif.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka dilakukan pengujian untuk mengevaluasi kelayakan dan efektivitas 5 buah *lead apron* dengan ketebalan 0,50 mm Pb di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas. Kelima *lead apron* tersebut telah digunakan selama ± 7 tahun dan diletakkan di ruang CT-Scan, pesawat sinar-X konvensional, dental panoramik, ICU, dan IGD. Berdasarkan hasil wawancara dengan fisikawan medis, diketahui bahwa tiga dari lima *lead apron* disimpan pada meja pemeriksaan dalam kondisi dibentangkan. Sementara itu, *lead apron* yang terletak di ruang ICU dan IGD disimpan dengan cara digantung pada alat karena tidak tersedia meja atau tempat datar untuk meletakkan dan menyimpan *lead apron*. Penyimpanan *lead apron* yang tidak sesuai dengan ketentuan, dapat mengakibatkan kerusakan internal dan menurunkan efektivitas *lead apron* (Kemenkes No. 1250, 2009). Pada penelitian ini dilakukan penggabungan antara pengujian kelayakan dan efektivitas. Sementara itu, perbedaan dengan pendekatan yang digunakan oleh Lambert dan McKeon terletak pada metode evaluasi yang dilakukan. Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan melalui pengukuran dosis menggunakan *optically stimulated luminescence dosimeter* (OSLD), sedangkan dalam penelitian Lambert dan McKeon memperkirakan dosis dengan pemodelan matematika.

I. METODE

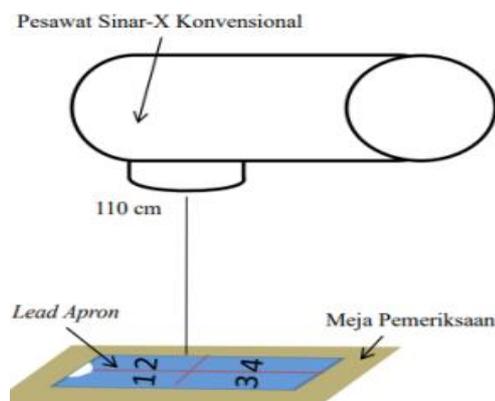
1.1 Persiapan Sampel *Lead apron*

Pendataan dilakukan dengan memberikan nomor 1-5 pada *lead apron*. Setelah pendataan dilakukan pengecekan kondisi fisik, *lead apron* dibentangkan dan seluruh permukaan *lead apron* diamati dan diraba-raba. Cara penyimpanan *lead apron* diketahui dengan mengamati secara langsung dan wawancara dengan fisikawan medis.

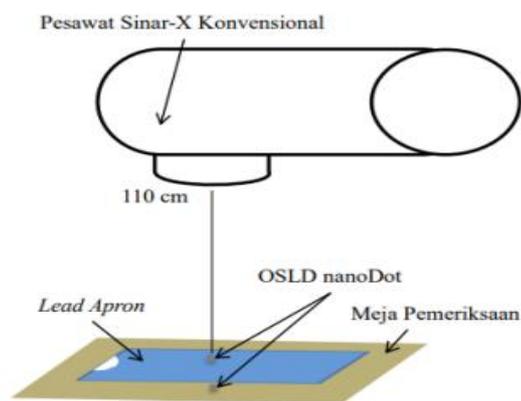
1.2 Pengujian Kelayakan

Skema pengujian kelayakan *lead apron* dapat dilihat pada Gambar 1 (a), pesawat sinar-X konvensional diarahkan secara vertikal atau tegak lurus pada *lead apron* dan *focus film distance* diatur pada jarak 110 cm. *Central point* diarahkan pada titik tengah masing-masing kuadran. *Imaging plate* (IP) diletakkan di bawah *lead apron* pada masing-masing kuadran secara bergantian. Faktor eksposi yang digunakan yaitu pada 58,5 kV dan 8 mAs. Penyinaran dilakukan secara bergantian pada masing-masing kuadran sebanyak satu kali sesuai dengan urutan kuadran yang telah ditentukan dengan faktor eksposi yang sama pada setiap *lead apron*. Pengolahan data dilakukan dengan mengukur retakan, patahan, dan lubang pada *lead apron* dari hasil citra yang diperoleh. Kerusakan *lead apron* yang terlihat pada layar monitor CR ditandai dengan warna yang berbeda. Langkah awal untuk pengolahan data yaitu memasukkan IP ke dalam *imaging reader*, hasil tangkapan IP akan ditampilkan pada layar CR, selanjutnya pilih menu *measurement – line –* bentuk garis yang menghubungkan titik kerusakan – diperoleh angka dari kerusakan *lead apron*.

Analisis kelayakan *lead apron* merujuk pada teori Lambert dan McKeon tahun 2001. Apabila pada saat pengujian ditemukan adanya lubang atau robekan pada *lead apron* lebih dari 15 mm² pada area sensitif, maka sebaiknya *lead apron* diganti. Apabila kebocoran *lead apron* pada area kurang sensitif lebih dari 670 mm², maka sebaiknya *lead apron* diganti. Jika hasil pengukuran masih dalam batas toleransi, maka *lead apron* dapat dinyatakan layak untuk digunakan.



Gambar 1 Skema pengujian kelayakan



Gambar 2 Skema pengujian efektivitas

1.3 Pengujian Efektivitas

Skema pengujian efektivitas *lead apron* dapat dilihat pada Gambar 2, pesawat sinar-X konvensional diarahkan secara vertikal atau tegak lurus pada *lead apron* dan *focus film distance* diatur pada jarak 110 cm. OSLD diletakkan pada bagian luar dan dalam *lead apron*, *central point* diarahkan pada titik OSLD. Faktor eksposi yang digunakan yaitu pada 102 kV dan 2,5 mAs. Penyinaran dilakukan secara bergantian pada masing-masing titik pengujian sebanyak satu kali.

Data dosis yang diperoleh digunakan untuk menghitung efektivitas *lead apron*, efektivitas *lead apron* dihitung menggunakan Persamaan 1, dimana \dot{D}_0 adalah laju dosis sebelum melewati perisai dan \dot{D} adalah laju dosis sebelum melewati perisai. Analisis efektivitas *lead apron* adalah dengan membandingkan data yang diperoleh dengan Katalog Infab tahun 2016. *Lead apron* reguler memiliki efektivitas sebesar 96,0% pada tegangan 100 kV.

$$\% \text{efektivitas} = \frac{\dot{D}_0 - \dot{D}}{\dot{D}_0} \times 100\% \quad (1)$$

II. HASIL DAN DISKUSI

2.1 Pengamatan dan Pendataan

Hasil pengamatan dan pendataan *lead apron* dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pengecekan kondisi fisik terhadap sampel *lead apron* diperoleh kondisi bahwa 4 dari 5 *lead apron* mengalami kerusakan, yaitu berupa permukaan yang tidak rata dan terdapat lekukan-lekukan. Saat proses pengamatan, lekukan pada

sampel *lead apron* tidak terlihat dengan jelas, tetapi dapat diketahui melalui saat proses perabaan. Berdasarkan Lambert dan McKeon (2001), adanya lekukan tidak termasuk jenis kerusakan yang mengakibatkan peningkatan dosis radiasi yang diterima tubuh, sehingga luas lekukan tidak diukur.

Penyimpanan sampel *lead apron* 1, 2 dan 3 sudah sesuai dengan ketentuan Kepmenkes No. 1250 (2009), namun masih ditemukan lekukan-lekukan pada bagian permukaan. Berdasarkan hasil wawancara dengan fisikawan medis, *lead apron* yang telah digunakan masih diletakkan dengan posisi bertumpuk dan posisi tersebut diperbaiki pada pagi hari sebelum pemeriksaan. Posisi *lead apron* yang bertumpuk setelah digunakan dapat mengakibatkan lekukan pada *lead apron*.

Tabel 1 Kondisi fisik *lead apron* berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara

No. Sampel <i>Lead apron</i>	Ruang penyimpanan	Usia penyimpanan (tahun)	Cara penyimpanan	Kondisi fisik		
				Permukaan rata (tidak terdapat lekukan)	Jahitan terlepas	Robekan pada kain
1	Ruang pesawat sinar-X konvensional	7	Dibentangkan di atas meja pemeriksaan	×	×	×
2	Ruang CT-Scan			×	×	×
3	Ruang dental panoramic			×	×	×
4	Ruang ICU		Digantung pada <i>shielding</i>	✓	×	×
5	Ruang IGD		Dibentang di atas alat	×	×	×

✓ berarti ya dan × berarti tidak.

Pemantauan rutin terhadap penyimpanan sampel *lead apron* 1, 2 dan 3 baru dilakukan selama ± 2 tahun terakhir. Pada awal hingga 5 tahun penggunaan, tidak dilakukan pemantauan rutin terhadap cara penyimpanan *lead apron*. *Lead apron* baru digunakan selamat ± 7 tahun dan seharusnya belum terjadi kerusakan pada *lead apron* hingga 10 tahun penggunaan (Infab, 2016).

Sampel *Lead apron* 4 disimpan dengan cara yang tidak sesuai dengan ketentuan yaitu dengan cara digantung pada alat yaitu (*shielding*). Meskipun demikian, pada sampel *lead apron* 4 tidak ditemukan adanya lekukan dan lebih rata apabila dibandingkan dengan sampel yang lain. Hal ini dikarenakan, *shielding* memiliki permukaan yang rata sehingga pada proses penyimpanannya *lead apron* tidak tertumpuk dan terlipat.

Penyimpanan sampel *lead apron* 5 telah dilakukan dengan cara dibentangkan, namun *lead apron* dibentangkan pada permukaan yang tidak rata. Keadaan ini berpotensi menyebabkan kerusakan pada *lead apron* 5. Selama proses perabaan, terasa adanya lekukan di seluruh permukaan *lead apron* dan di rasakan adanya patahan. Sampel *Lead apron* 5 lebih jarang digunakan dibandingkan dengan *lead apron* 1, 2, dan 3. Namun demikian, akibat penyimpanan yang tidak benar mengakibatkan kerusakan yang lebih parah dibandingkan dengan *lead apron* 1, 2 dan 3.

2.2 Pengujian Kelayakan *Lead apron*

Dari hasil pengujian kelayakan sampel *lead apron*, diperoleh 20 citra yang digunakan untuk mengukur luas kerusakan pada sampel *lead apron*. Luas kerusakan pada sampel *lead apron* dapat dilihat pada Tabel 2. Secara umum, luas kerusakan *lead apron* berkisar (0,8-198,7) mm².

Sampel *lead apron* 1, 2 dan 3 memiliki kondisi fisik dan cara penyimpanan yang sama. Namun ternyata, berdasarkan citra hasil pengujian kelayakan, hanya sampel *lead apron* 2 yang tidak mengalami kerusakan berupa retakan, patahan dan lubang. Hal ini dapat terjadi karena sampel *lead apron* 2 lebih jarang digunakan dibandingkan sampel *lead apron* 1 dan 3. Perlu diperhatikan bahwa penumpukan sampel *lead apron* setelah digunakan dapat menyebabkan kerusakan pada materialnya. Oleh karena itu, posisi penyimpanan untuk sampel *lead apron* yang telah digunakan sangat penting untuk dijaga agar menghindari kemungkinan terjadinya kerusakan.

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa sampel *lead apron* 1 dan 3 sama-sama mengalami kerusakan. Namun apabila dibandingkan, kerusakan yang dialami oleh sampel *lead apron* 3 lebih ringan daripada yang terjadi pada sampel *lead apron* 1. Perbedaan ini dapat terlihat dari jenis kerusakan yang dialami sampel *lead*

apron. Sampel *lead apron* 3 hanya mengalami retakan, sedangkan sampel *lead apron* 1 mengalami retakan dan patahan. Kerusakan yang lebih parah pada sampel *lead apron* 1 kemungkinan disebabkan karena sampel *lead apron* 1 lebih sering digunakan dibandingkan sampel *lead apron* 3.

Tabel 2 Luas kerusakan *lead apron*

No. Sampel <i>Lead apron</i>	Kuadran	Kerusakan	Hasil pengukuran			Kerusakan pada Area	Layak/tidak layak
			Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)		
1	1	Patahan	20,5	2,0	47,1	KS	Layak
	2	✘	✘	✘	✘	✘	
	3	Retakan	23,1	1,0	23,1	KS	
	4	✘	✘	✘	✘	✘	
2	1	✘	✘	✘	✘	✘	Layak
	2	✘	✘	✘	✘	✘	
	3	✘	✘	✘	✘	✘	
	4	✘	✘	✘	✘	✘	
3	1	✘	✘	✘	✘	✘	Layak
	2	✘	✘	✘	✘	✘	
	3	Retakan	23,1	1,0	23,1	KS	
	4	✘	✘	✘	✘	✘	
4	1	Lubang	(1,0-2,3)*		0,8-4,2	KS dan S	Layak
	2						
	3						
	4						
5	1	✘	✘	✘	✘	✘	Layak
	2	✘	✘	✘	✘	✘	
	3	Lubang	1,5*		1,8	S	
	3	Patahan	86,4	2,3	198,7	KS	
	4	✘	✘	✘	✘	✘	

KS berarti area kurang sensitif, S berarti area sensitif, * berarti diameter dan ✘ berarti tidak.

Dilihat dari segi kondisi fisik, sampel *lead apron* 4 menunjukkan kondisi yang lebih baik karena memiliki permukaan yang rata dan tidak terdapat lakukan pada permukaannya. Namun demikian, hasil citra pengujian kelayakan terlihat adanya bitnik hitam yang tersebar di seluruh permukaan sampel *lead apron*. Bitnik hitam tersebut merupakan tanda lubang pada material sampel *lead apron* (Kartikasari et al., 2018). Kemungkinan kerusakan ini disebabkan oleh cara penyimpanan sampel *lead apron* yaitu dengan digantung. Hal ini menekankan pentingnya metode penyimpanan yang tepat untuk menjaga keutuhan dan keandalan perlindungan radiasi dari setiap jenis sampel *lead apron*. Penyimpanan dengan menggantung dapat menyebabkan kerusakan struktural seperti lubang pada material sampel *lead apron*.

Berdasarkan hasil pengujian kelayakan, ditemukan bahwa sampel *lead apron* 5 mengalami kerusakan berupa lubang dan patahan. Meskipun penggunaan sampel *lead apron* 5 lebih jarang dibandingkan dengan sampel *lead apron* 1, sampel *lead apron* 2 dan sampel *lead apron* 3, namun kerusakannya ternyata lebih luas. Penyebab kerusakan tersebut dapat diakibatkan cara penyimpanan sampel *lead apron* 5, dimana sampel *lead apron* disimpan dengan cara dibentangkan pada permukaan yang tidak rata. Perbedaan ketinggian pada tempat penyimpanan menyebabkan tarikan pada material sampel *lead apron* sehingga menimbulkan lubang. Selain itu, permukaan yang tidak rata juga dapat menyebabkan lekukan pada sampel *lead apron* dan mengakibatkan terjadinya patahan.

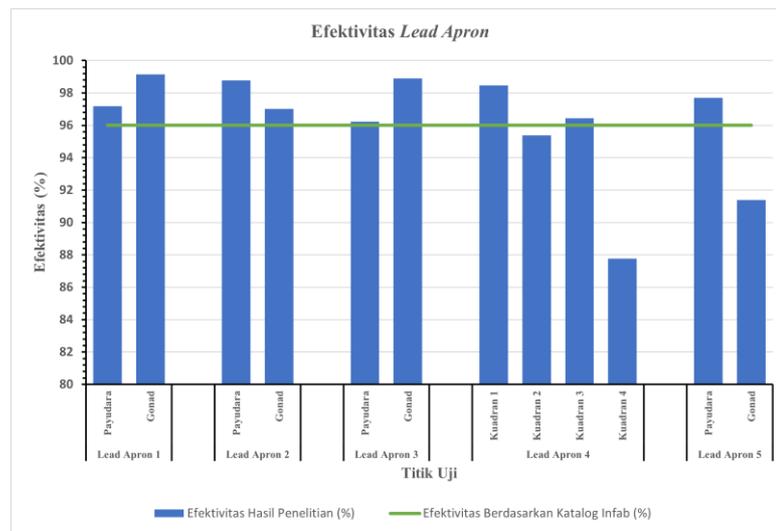
Berdasarkan hasil pengujian kelayakan yang telah dilakukan, ditemukan bahwa kerusakan pada sampel *lead apron* baik di area sensitif maupun area kurang sensitif, tidak melebihi batas toleransi yang telah disarankan oleh Lambert dan McKeon. Oleh karena itu, berdasarkan tingkat kerusakan yang ada, dapat dinyatakan bahwa seluruh sampel *lead apron* yang diamati masih layak digunakan.

2.3 Pengujian Efektivitas Sampel *lead apron*

Berdasarkan hasil pembacaan dosis, dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan 1 dan diperoleh hasil seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2. Diagram balok pada Gambar 2 merepresentasikan hasil penelitian, sedangkan garis hijau menggambarkan efektivitas sampel *lead apron* baru yang tertera

pada Katalog Infab. Pada Katalog Infab menggunakan tegangan 100 kV, sementara pada penelitian ini menggunakan tegangan sebesar 102 kV. Meskipun terdapat perbedaan tegangan sebesar 2 kV, namun perbedaan tersebut tidak signifikan dan seharusnya hasil yang diperoleh tidak jauh berbeda.

Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa sembilan dari dua belas titik menunjukkan efektivitas yang melebihi nilai efektivitas yang tercantum dalam Katalog Infab yaitu >96,0%. Dalam hal ini, seharusnya efektivitas sampel *lead apron* lebih rendah daripada angka tersebut karena pengujian pada katalog infab dilakukan menggunakan sampel *lead apron* baru, sedangkan dalam penelitian ini digunakan sampel *lead apron* yang telah digunakan selama ± 7 tahun. Hal ini dapat diakibatkan karena pada penelitian hanya sekali percobaan dan tidak dilakukan percobaan berulang. Selain itu, pengujian juga dilakukan pada area sensitif yang tidak mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan area sensitif sangat rentan mengalami gangguan akibat radiasi ICRP (2007), dan memerlukan perlindungan yang lebih intensif dibanding area kurang sensitif.



Gambar 3 Persentase efektivitas sampel *lead apron*

Berdasarkan evaluasi efektivitas sampel *lead apron*, diperoleh hasil bahwa efektivitas sampel *lead apron* 1, sampel *lead apron* 2 dan sampel *lead apron* 3 bernilai >96,0%. Rata-rata efektivitas sampel *lead apron* 1 bernilai 98,2%, sampel *lead apron* 2 bernilai 97,9% dan sampel *lead apron* 3 bernilai 97,6%. Sampel *lead apron* 1 dan sampel *lead apron* 3 mengalami kerusakan sedangkan sampel *lead apron* 2 tidak mengalami kerusakan, seharusnya sampel *lead apron* 1 dan sampel *lead apron* 3 memiliki efektivitas yang lebih rendah dibandingkan sampel *lead apron* 2. Namun, hasil penelitian tidak dapat dilihat hubungan antara luas kerusakan dengan penurunan efektivitas sampel *lead apron*. Hal ini diakibatkan karena titik pengujian efektivitas tidak dilakukan pada titik kerusakan.

Berdasarkan hasil pengujian kelayakan, sampel *lead apron* 4 mengalami kerusakan berupa lubang-lubang pada hampir seluruh permukaan. Kerusakan terjadi pada area kurang sensitif dan area sensitif, sehingga untuk memastikan sampel *lead apron* aman digunakan maka titik pengujian pada sampel *lead apron* 4 ditambah menjadi 4 titik. Berdasarkan pengujian efektivitas, sampel *lead apron* 4 mengalami penurunan efektivitas pada kuadran 2 dan 4 dan memiliki efektivitas paling rendah pada kuadran 4. Hal ini dapat terjadi akibat salah satu *chip* berada tepat di bawah lubang.

Berdasarkan Gambar 3, efektivitas sampel *lead apron* 5 paling rendah pada area gonad. Sampel *lead apron* 5 mengalami kerusakan berupa lubang dengan luas 1,8 mm² pada sekitar area gonad dan patahan dengan luas 198,7 mm² pada kuadran 3. Kerusakan sampel *lead apron* 5 pada kuadran 3 merupakan kerusakan paling luas dibanding sampel *lead apron* lain, jarak antara kerusakan lebih dekat pada area gonad dibandingkan area payudara. Hal ini yang mengakibatkan efektivitas sampel *lead apron* 5 mengalami penurunan pada area gonad.

Kerusakan yang dialami seluruh sampel *lead apron* tidak melebihi batas toleransi dari Lambert dan McKeon (2001), namun efektivitas sampel *lead apron* telah menurun pada sampel *lead apron* 4 dan sampel *lead apron* 5. Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan bahwa peletakan setelah proses penggunaan dan cara penyimpanan sampel *lead apron* sangat berpengaruh terhadap kondisi sampel *lead apron*. Kepmenkes No. 1250 (2009) juga menyatakan bahwa penyimpanan yang tidak sesuai dengan ketentuan dapat mengakibatkan kerusakan internal dan mengurangi efektivitas sampel *lead apron*. Oleh karena itu, peletakan

dan cara penyimpanan sampel *lead apron* harus sangat diperhatikan agar tidak terjadi kerusakan lebih lanjut dan mengakibatkan penurunan efektivitas sampel *lead apron*.

III. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh luas kerusakan keseluruhan *lead apron* berkisar (0,8-198,7) mm². Luas kerusakan *lead apron* tidak ada yang melebihi batas toleransi yang telah disarankan oleh Lambert dan McKeon sehingga seluruh *lead apron* dinyatakan layak untuk digunakan. Efektivitas *lead apron* berkisar antara (87,8-99,1) %, dimana 9 dari 12 titik uji memiliki efektivitas melebihi nilai yang tertera pada katalog Infab yaitu >96,0%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTKMMN BRIN) dan Rumah Sakit Universitas Andalas yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian dapat dilakukan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R., & Husaini. (2017). Logam Berat Sekitar Manusia. In *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar* (Vol. 6, Issue August).
- BAPETEN. (2011). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011*.
- 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 Intervensional*.
- He, X., Zhao, R., Rong, L., Yao, K., Chen, S., & Wei, B. (2017). Answers to if the sampel *lead aprons* are really helpful in nuclear medicine from the perspective of spectroscopy. *Radiation Protection Dosimetry*, 174(4), 558–564. <https://doi.org/10.1093/rpd/new255>
- IAEA. (2010). Radiation biology. In *Cancer* (Vol. 55, Issue 9 S). [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(19850501\)55:9+<2051::AID-CNCR2820551404>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1097-0142(19850501)55:9+<2051::AID-CNCR2820551404>3.0.CO;2-Y)
- ICRP No.103. (2007). Annals of the ICRP Annals of the ICRP Annals of the ICRP. In *Radiation Physics and Chemistry* (Vol. 188, Issue 24). [https://www.icrp.org/docs/ICRP_Publication_103-Annals_of_the_ICRP_37\(2-4\)-Free_extract.pdf](https://www.icrp.org/docs/ICRP_Publication_103-Annals_of_the_ICRP_37(2-4)-Free_extract.pdf)
- IEC. (2016). From the IEC standard to the German standard. In *Mavig*. https://mavig.com/wp-content/uploads/2021/12/06_Flyer-61331_en_1121.pdf
- Ilupeju, Y., Ibrahim, U., Yusuf, S. D., Mundi, A. A., & Idris, M. . (2021). Radiological Evaluation of Sampel *lead apron* Integrity in Five Selected Hospitals in Abuja, Nigeria. *Journal of Radiography and Radiation Sciences*, 35(1), 1–5. <https://doi.org/10.48153/jrrs/2021/szcv3165>
- Infab. (2016). *Product catalog radiation protection*. <https://pdf.medicaexpo.com/pdf/infab-corporation/product-catalog/85019-167338.html>
- Kartikasari, Y., Fathoni, M. A. N., Indrati, R., & Naliska, I. (2018). Uji Fungsi Alat Pelindung Radiasi (Sampel *lead apron*) di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Iin Naliska 4. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir*, 374–384.
- Kemenkes No. 1250. (2009). *KMK No 1250 Tahun 2009 Tentang Kendali Mutu Radiodiagnostik.pdf*. <https://rskgm.ui.ac.id/wp-content/uploads/2021/03/056.-kmk12502009.pdf>
- Lambert, K., & McKeon, T. (2001). Inspection of sampel *lead aprons*: Criteria for rejection. *Health Physics*, 80(5 SUPPL.), 67–69. <https://doi.org/10.1097/00004032-200105001-00008>
- Lloyd, P. J. (2001). *Quality Assurance Workbook for Radiographers & Radiological Technologists*. Geneva. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42412>
- Nikmawati, A., & Masrochah, S. (2018). Evaluasi Performance Sampel *lead apron*. *Jurnal Radiografer Indonesia*, 1(2), 104–109.
- Sari, O. P., Dasril, D. N., Nisa, C., & Almaiza. (2020). Pengujian Kebocoran Apron Tahun 2019. In *Jurnal Imejng Diagnostik (JIImeD)* (Vol. 6, Issue 2). <https://doi.org/10.31983/jimed.v6i2.5826>