

PENGUJIAN KEBOCORAN *LEAD APRON* DENGAN MENGUNAKAN PESAWAT RADIOLOGI KONVENSIIONAL DI LABORATORIUM RADIOLOGI POLITEKNIK AL ISLAM BANDUNG

Oktarina Damayanti^{1*}, Dimas Agil Alfikri², Ardiana³

¹Program Studi Radiologi, Politeknik Al Islam Bandung

Email : oktarina.st@gamil.com

ABSTRAK

Salah satu upaya proteksi radiasi di ruang radiologi adalah penggunaan *lead apron* sebagai alat pelindung diri (APD). Untuk menjaga kualitas dan fungsi APD, uji kelayakan pakai harus dilakukan secara berkala, minimal satu kali dalam setahun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prosedur dan hasil pengujian *lead apron* di Laboratorium Radiologi Politeknik Al Islam Bandung pada bulan Maret 2024. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Data dikumpulkan melalui observasi, pengujian kebocoran dengan cara mengekspose permukaan *lead apron* yang dibagi menjadi empat kuadran menggunakan pesawat radiologi konvensional, serta studi terhadap citra radiografi hasil uji. Data yang diperoleh kemudian diamati, dianalisis, dan dibandingkan dengan standar kebocoran dari BAPETEN untuk memperoleh simpulan. Pengujian terhadap empat *lead apron* dilakukan dengan menggunakan pesawat radiologi dan kaset berukuran 30 × 40 cm yang dibagi menjadi empat kuadran agar seluruh permukaan *lead apron* mendapatkan penyinaran. Hasil menunjukkan bahwa *lead apron* 1 tidak mengalami kebocoran. *Lead apron* 2 memiliki kebocoran seluas 51,05 mm², *lead apron* 3 mengalami kebocoran sebesar 3.418,27 mm², dan *lead apron* 4 mengalami kerusakan berat dengan lempengan timbal (*lead*) terpisah menjadi beberapa bagian dan kebocoran seluas 670 mm². Berdasarkan standar BAPETEN, *lead apron* 1 dan 2 masih layak digunakan, sedangkan *lead apron* 3 dan 4 dinyatakan tidak layak pakai.

Kata kunci: kebocoran, *lead apron*, proteksi radiasi

ABSTRACT

One of the radiation protection efforts in radiology rooms is the use of a *lead apron* as personal protective equipment (PPE). To maintain its quality and protective function, regular feasibility testing must be conducted at least once a year. This study aims to determine the procedure and results of *lead apron* leakage testing conducted at Radiology Laboratory of Politeknik Al Islam Bandung in March 2024. This research is an experimental study. Data were collected through observation, leakage testing by exposing the surface of the *lead apron* divided into four quadrants using a conventional radiology unit, and analysis of the radiographic images obtained. The data were then observed, analyzed, and compared with the leakage standards set by BAPETEN to draw conclusions. Leakage testing was carried out on four *lead aprons* using a radiology unit and a 30 × 40 cm cassette divided into four quadrants to ensure full exposure of each apron. The results showed that *lead apron* 1 exhibited no leakage. *Lead apron* 2 had a leakage area of 51.05 mm², *lead apron* 3 showed poor condition with a leakage area of 3,418.27 mm², and *lead apron* 4 was severely damaged, with the lead sheet separated into several parts and a leakage area of 670 mm². Based on BAPETEN standards, *lead*

apron 1 and 2 were still suitable for use, while lead apron 3 and 4 were deemed unfit for further use.

Keywords : *apron lead, leak, radiation protection*

PENDAHULUAN

Penggunaan alat pelindung diri (APD) berupa *lead apron* di instalasi radiologi merupakan salah satu upaya penting dalam proteksi radiasi bagi tenaga kesehatan dan pasien (Lópes et al., 2025). Paparan radiasi terionisasi, khususnya sinar-X dan hamburan (*scatter radiation*), dapat membawa risiko akut jangka panjang pada organ dan jaringan tubuh manusia (Talapko et al., 2024). APD seperti *lead apron* dengan ekuivalen timbal (Pb) digunakan untuk mengurangi dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiologi atau pendukung prosedur intervensi (Budošová et al., 2022). Namun efektivitasnya sangat bergantung pada kondisi fisik dan pemeliharaan APD tersebut. Studi terkini menunjukkan adanya kerusakan fisik, penumpukan lipatan, robekan, atau kebocoran material pelindung pada *lead apron* yang masih digunakan di beberapa fasilitas radiologi (Asriningrum et al., 2023). Di Indonesia, praktik pengujian dan pemeliharaan APD kadangkala tidak konsisten dengan ketentuan minimal pengujian satu tahun sekali dan prosedur penyimpanan yang baik (Hana et al., 2024), karena Ketidakhati-hatian dalam pemeliharaan dan pengujian *lead apron* dapat mengurangi tingkat perlindungan yang seharusnya diberikan, sehingga mengancam keselamatan tenaga kerja dan pasien (Naqiyyun & Hutahaean, 2023).

Penelitian lain menunjukkan bahwa evaluasi kelayakan *lead apron* di fasilitas radiologi umumnya difokuskan pada aspek redaman dosis radiasi (dosimetri) atau inspeksi visual semata. Studi-studi seperti yang dilakukan oleh Asriningrum et al. (2023), Taufiq et al. (2024), dan Demetrius & Sukadana (2024) di Indonesia, serta penelitian internasional oleh Periyasamy & Kagineili (2023), Kim et al. (2023), dan König et al. (2023), menilai kemampuan apron dalam mengurangi paparan radiasi melalui pengukuran intensitas atau attenuasi menggunakan detektor dosis. Pendekatan tersebut efektif untuk menentukan fungsi proteksi radiasi, namun belum sepenuhnya mampu menggambarkan integritas fisik material pelindung (timah/Pb) dan lokasi spesifik area kebocoran yang mungkin sudah terbentuk akibat lipatan, tekanan, atau umur pakai. Di sisi lain, beberapa penelitian lain seperti Nansih et al. (2022) dan Bjørkås (2020) memang melakukan inspeksi visual terhadap retakan, tetapi tanpa pengukuran kuantitatif luas kebocoran yang dapat menjadi dasar keputusan kelayakan secara objektif.

Berdasarkan celah penelitian (*research gap*) tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan baru dengan menggabungkan radiografi konvensional dan analisis citra digital (software ImageJ) untuk mengukur luas kebocoran *lead apron* secara kuantitatif dalam satuan milimeter persegi (mm²). Permukaan apron dibagi menjadi empat kuadran sehingga pengujian dapat dilakukan secara sistematis dan menyeluruh, baik pada area vital maupun non-vital. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan batas kebocoran yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) serta pedoman Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). Dengan demikian, penelitian ini menghadirkan model uji kebocoran yang sederhana, murah, dan replikatif, namun tetap menghasilkan data empiris yang akurat dan sesuai standar proteksi radiasi. Pendekatan ini menjadi kontribusi baru dalam sistem pengujian dan pemeliharaan alat pelindung diri (APD) di lingkungan pendidikan radiologi, serta memperkuat praktik keselamatan kerja berbasis bukti di fasilitas radiologi di Indonesia.

Rumusan masalah penelitian ini adalah “Apakah prosedur pengujian kebocoran dan kondisi fisik *lead apron* di Laboratorium Radiologi Politeknik Al Islam Bandung sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan?, seberapa besar luas kebocoran atau kerusakan yang ditemukan pada *lead apron* yang diuji?, dan apakah hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa *lead apron* masih layak digunakan atau perlu diganti?. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prosedur

dan hasil pengujian kebocoran lead apron di Laboratorium Radiologi Politeknik Al Islam Bandung. Adapun manfaat penelitian ini adalah (1) memberikan informasi empiris tentang kondisi fisik dan kinerja lead apron di lingkungan pendidikan radiologi; (2) mendukung peningkatan sistem mutu pengujian dan pemeliharaan APD di instalasi radiologi; dan (3) sebagai dasar rekomendasi untuk kebijakan penggantian atau pemeliharaan lead apron, sehingga memperkuat proteksi radiasi di fasilitas radiologi.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan paradigma positivistik/empiris dengan pendekatan eksperimental laboratorium. Pendekatan eksperimen dipilih karena penelitian bertujuan menghasilkan pengukuran kuantitatif tentang luas kebocoran pada *lead apron* melalui prosedur pengujian yang terkontrol dan dapat diulang. Asumsi teori yang mendasari adalah bahwa material pelindung radiasi (timah/lead) harus mempunyai kontinuitas fisik dan ekuivalen timbal tertentu, jika terdapat kerusakan/pecah, akan muncul gambaran kebocoran yang dapat diukur dari citra radiografi (Kaginelli, 2023).

Waktu dan lokasi penelitian.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Radiologi Politeknik Al Islam Bandung pada bulan Maret 2024. Total waktu pengumpulan data dan analisis berlangsung selama 2 minggu (pengujian lapangan 2–3 hari, pengolahan citra dan analisis 7–10 hari).

Sebelum dilakukan penyinaran, tiap apron dibentangkan pada *stand holder* dan permukaannya dibagi menjadi empat kuadran dengan penanda non-radiopak. Tujuan pembagian ini adalah agar seluruh permukaan apron terekspos secara merata dan hasil pengukuran dapat menggambarkan kondisi integritas pelindung di setiap area (vital dan non-vital).

Parameter paparan ditentukan berdasarkan uji awal (*test exposure*) untuk menghasilkan kontras citra yang optimal dan menghindari overexposure. Setiap kuadran diekspos sebanyak tiga kali untuk menjamin reliabilitas pengukuran. Data citra yang diperoleh dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menghitung luas area kebocoran (dalam mm²). Nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan dicatat sebagai hasil akhir tiap kuadran seperti yang tersaji pada tabel 1 tentang parameter paparan yang digunakan pada proses pengujian.

Tabel 1. Parameter Paparan pada Pengujian Kebocoran Lead Apron

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Keterangan
1	Tegangan tabung	kVp	75 kVp	Menentukan energi sinar-X untuk penetrasi material Pb
2	Arus dan waktu paparan	mAs	25 mAs	Mengatur intensitas radiasi untuk menghasilkan kontras citra optimal
3	Jarak fokus ke detektor	SID (FFD)	100 cm	Menjamin geometri penyinaran konstan dan hasil replikasi konsisten
4	Ukuran kaset/detektor	–	30 × 40 cm	Bidang pencitraan untuk tiap kuadran apron
5	Jumlah pengulangan per kuadran	–	3 kali	Untuk menguji repeatabilitas hasil pengukuran

Setelah proses eksposur, citra dikalibrasi dengan skala panjang menggunakan fitur *Set Scale* pada ImageJ berdasarkan dimensi kaset. Pengukuran area kebocoran dilakukan melalui teknik *thresholding* dan *Analyze Particles* yang menghasilkan total luas kebocoran (mm²) pada masing-masing kuadran. Kriteria kelayakan *lead apron* ditetapkan dengan mengacu pada Peraturan BAPETEN No. 8 Tahun 2011 tentang *Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X di Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, serta pedoman Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA, 2015). Berdasarkan acuan tersebut, *lead apron* dinyatakan

tidak layak digunakan apabila ditemukan kebocoran $> 15 \text{ mm}^2$ pada area vital, atau kebocoran $> 670 \text{ mm}^2$ pada area non-vital. Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan sesuai prinsip proteksi radiasi ALARA (As Low As Reasonably Achievable), dengan penggunaan *lead apron* tambahan bagi operator, pembatasan waktu paparan, serta pengawasan teknisi radiologi bersertifikat selama proses penyinaran.

Sampel atau bahan yang digunakan Adalah empat buah *lead apron* yang tersedia di laboratorium (diberi kode *Lead Apron* 1–4). Informasi identitas tiap apron dicatat (merk, tahun pembelian, kondisi fisik awal). Bahan referensi/pembanding: pengukur (mistar/penggaris), label identifikasi, kain pembersih kering.

Peralatan berupa pesawat sinar X konvensional yang telah dikalibrasi sebelum pengujian, Kaset/detektor berukuran $30 \times 40 \text{ cm}$ (digunakan sebagai bidang pencitraan referensi), Stand/holder untuk menempatkan *lead apron* dan kaset agar posisi stabil dan tegak lurus terhadap sumbu sinar, Penanda (*marker*) non-radiopak untuk menandai kuadran pada apron atau pada bingkai kaset, Jangka sorong (*caliper*) atau mistar untuk kalibrasi panjang pada citra, Komputer dengan perangkat lunak pengolahan citra (mis. ImageJ/Fiji atau perangkat lunak radiologi lain) untuk mengukur luas area kebocoran dari citra, Dosimeter atau alat QA unit X-ray (opsional, untuk verifikasi keluaran radiasi), Alat pelindung diri bagi operator selama pengujian (apron pembantu, sarung tangan bila perlu, kacamata pelindung).

Sebelum pengujian dilakukan, diadakan tahap persiapan dan *quality assurance* (QA) terhadap seluruh peralatan yang digunakan. Proses ini meliputi verifikasi fungsi dan kalibrasi unit pesawat sinar-X oleh teknisi QA untuk memastikan kinerja alat sesuai dengan spesifikasi pabrikan. Parameter keluaran seperti tegangan tabung (kVp) dan arus-waktu paparan (mAs) dicatat sebagai data acuan. Selanjutnya, kaset atau detektor diperiksa untuk memastikan kebersihan dan fungsi optimal, kemudian dilakukan uji paparan standar (*exposure test*) guna menjamin citra yang dihasilkan memiliki ketajaman dan keseragaman yang memadai. Selain itu, dilakukan pemeriksaan fisik awal terhadap setiap *lead apron*, meliputi observasi adanya robekan, lipatan, atau deformasi yang tampak pada permukaan. Setiap kondisi fisik awal didokumentasikan melalui foto digital sebagai bukti pendukung sebelum proses penyinaran dimulai.

Prosedur pengujian (step-by-step).

1. Setiap *lead apron* dibentangkan pada stand holder sehingga permukaan depan rata. Bidang yang akan diekspos dibagi menjadi empat kuadran sama besar (kuadran superior-kiri, superior-kanan, inferior-kiri, inferior-kanan). Penandaan dibuat pada bingkai/holder (bukan langsung pada apron) dengan marker non-radiopak untuk menghindari kerusakan material.
2. Pengaturan geometri dan parameter eksposur dengan menempatkan kaset/detektor di bawah permukaan *lead apron* (atau sesuai konfigurasi yang dipilih), sejajar dan tegak lurus terhadap sinar. *Focal spot-to-detector distance* (FDD/SID) dipertahankan konstan yaitu 100 cm. Parameter eksposur dipilih untuk menghasilkan kontras yang memungkinkan deteksi area kebocoran yaitu kVp 80, mAs 25). melakukan uji coba awal (*phantom/test exposure*) untuk memastikan kualitas citra memadai.
3. Pelaksanaan eksposur untuk setiap kuadran, peneliti melakukan eksposur terpisah sehingga seluruh permukaan apron terpapar sinar pada masing-masing kuadran dan memastikan adanya tumpang tindih minimal antar eksposur agar tidak melewati area peralihan. Pengulangan eksposur per kuadran dilaksanakan tiga kali untuk menilai repeatabilitas, menyimpan semua citra mentah. sementara operator dan asisten berada di luar ruang sinar atau di belakang pelindung radiasi selama eksposur.
4. Citra disimpan dengan penamaan terstandar, kemudian mencatat parameter eksposur, waktu, nomor apron, dan kondisi khusus lainnya. Setelah itu mengambil foto dokumentasi kondisi fisik *lead apron* sebelum dan setelah pengujian.

Pengolahan citra dan pengukuran luas kebocoran

1. Pada setiap citra, skala piksel dikalibrasikan ke milimeter dengan merujuk pada ukuran kaset (30×40 cm) atau objek berukuran diketahui yang terlihat pada citra dengan menggunakan fitur *set scale* pada ImageJ dan memasukkan panjang referensi dalam mm dan pixel length dari citra (Kajánek et al., 2024).
2. Pengolahan citra dilakukan melalui beberapa tahapan standar meliputi konversi citra ke format *grayscale*, peningkatan kontras untuk memperjelas perbedaan densitas, serta *thresholding* guna memisahkan area kebocoran yang tampak sebagai area berdensitas lebih tinggi pada citra bagian bawah apron dari latar belakang (Ramirez et al., 2023). Selanjutnya, Fitur *Analyze Particles* atau metode serupa pada ImageJ digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur luas area yang terdeteksi sebagai kebocoran. Luaran dari tahap ini berupa nilai luas masing-masing objek (dalam mm²). Total luas kebocoran per kuadran dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai luas objek yang terdeteksi, dan hasil akhir agregat diperoleh dengan mengakumulasi luas kebocoran dari seluruh kuadran pada setiap lead apron (Semitela et al., 2025).
3. Untuk menilai reproduibilitas, setiap kuadran diukur sebanyak tiga kali. Nilai luas kebocoran dari ketiga pengulangan tersebut kemudian dihitung nilai rata-ratanya serta simpangan baku (SD) untuk mengevaluasi tingkat *repeatability* pengukuran. Apabila variasi hasil pengukuran melebihi batas yang ditetapkan (misalnya maka pengukuran diulang setelah dilakukan verifikasi terhadap seluruh parameter pengaturan citra dan prosedur analisis.

Analisis data

Analisis bersifat kuantitatif deskriptif. laporan meliputi luas kebocoran (mm²) per kuadran dan total per *lead apron*, nilai rata-rata dan SD dari pengulangan. Hasil dibandingkan dengan standar kebocoran yang ditetapkan oleh BAPETEN (standar nasional yang berlaku pada saat pengujian). Keputusan layak / tidak layak didasarkan pada kriteria batas kebocoran tersebut. (Catat referensi peraturan BAPETEN yang digunakan beserta nomor dan tahun dokumen.), kemudian dilakukan analisis kualitatif deskriptif terkait bentuk kerusakan (retak, terpisahnya lempengan Pb, robekan kain) untuk mendukung rekomendasi pemeliharaan/penggantian.

Etika dan keselamatan. Pengujian dilakukan sesuai prosedur keselamatan radiasi, semua operator mematuhi standar proteksi radiasi (menjaga jarak, waktu minimal, penggunaan pelindung). Data dan identitas sampel (merk/nomor inventaris) dicatat tetapi hanya digunakan untuk keperluan penelitian dan rekomendasi pemeliharaan.

Validitas dan reliabilitas

Validitas alat dijamin melalui kalibrasi unit X-ray dan pemeriksaan kaset/detektor sebelum pengujian, sedangkan reliabilitas diupayakan dengan pengulangan eksposur ($n=3$) dan penggunaan prosedur pengolahan citra yang terstandar. Semua langkah dokumentasi dicatat agar replikasi oleh peneliti lain dimungkinkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Radiologi Politeknik Al Islam Bandung dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kebocoran empat *lead apron* menggunakan pesawat sinar-X konvensional. Pengujian dilakukan pada bulan Maret 2024 dengan membagi setiap apron menjadi empat kuadran. Proses eksposi dilakukan dengan parameter 75 kV, 1 mAs, dan 200 mA, serta jarak FFD 100 cm.

Hasil Pengujian Lead Apron

Hasil uji kebocoran menunjukkan adanya variasi kondisi fisik dan tingkat kebocoran pada keempat *lead apron*. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1- 4

Tabel 1. Hasil Uji Kebocoran Lead Apron

Identitas Apron	Bagian Lead Apron	Daerah Kerusakan	Hasil Pengukuran	Keterangan
Lead Apron 1	Kuadran 1	-	-	Tidak Ada Kebocoran
	Kuadran 2	-	-	Tidak Ada Kebocoran
	Kuadran 3	-	-	Tidak Ada Kebocoran
	Kuadran 4	-	-	Tidak Ada Kebocoran

Tabel di atas menunjukkan bahwa *Lead Apron 1* tidak menunjukkan kebocoran pada seluruh kuadran.)

Tabel 2. Hasil Uji Kebocoran Lead Apron 2

Identitas Apron	Bagian Lead Apron	Daerah Kerusakan	Hasil Pengukuran	Keterangan
Lead Apron 2	Kuadran 1	Non Vital	32,21 mm ²	Adanya Kebocoran
	Kuadran 2	Non Vital	18,84 mm ²	Adanya Kebocoran
	Kuadran 3	-	-	Tidak Ada Kebocoran
	Kuadran 4	-	-	Tidak Ada Kebocoran
TOTAL KEBOCORAN			51,05 mm ²	

Data di atas menunjukkan bahwa total kebocoran sebesar 51,05 mm², ditemukan pada kuadran 1 dan 2 di area non-vital.

Tabel 3. Hasil Uji Kebocoran Lead Apron 3

Identitas Apron	Bagian Lead Apron	Daerah Kerusakan	Hasil Pengukuran	Keterangan
Lead Apron 3	Kuadran 1	Non Vital	1615,73 mm ²	Ada Kebocoran
	Kuadran 2	Non Vital	1171,57 mm ²	Ada Kebocoran
	Kuadran 3	Vital	11,8 mm ²	Ada Kebocoran
		Non Vital	43,35 mm ²	Ada Kebocoran
	Kuadran 4	Vital	296 mm ²	Ada Kebocoran
		Non Vital	309,5 mm ²	Ada Kebocoran
TOTAL KEBOCORAN			3447,95 mm ²	

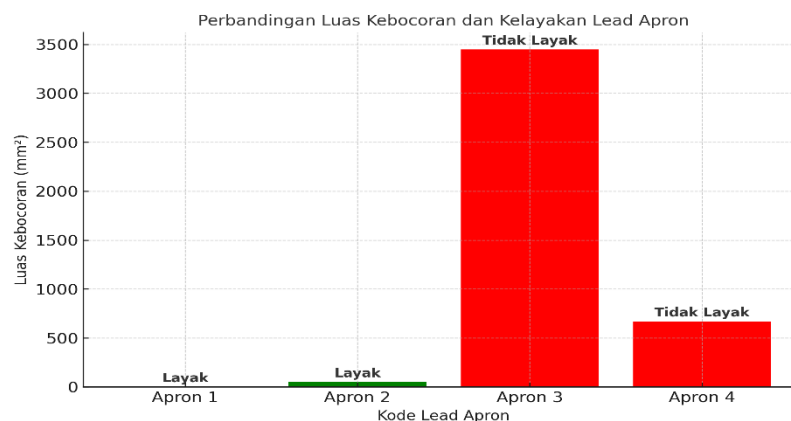
Tabel di atas total kebocoran sebesar 3.447,95 mm² dengan beberapa area vital dan non-vital yang rusak.

Tabel .4. Hasil Uji Kebocoran Lead Apron 4

Identitas <i>Apron</i>	Bagian <i>Lead Apron</i>	Daerah Kerusakan	Hasil Pengukuran	Keterangan
<i>Lead Apron 4</i>	Kuadran 1	Non Vital	>670 mm ²	Ada Kebocoran
	Kuadran 2	Non Vital	>670 mm ²	Ada Kebocoran
	Kuadran 3	Vital	>15 mm ²	Ada Kebocoran
		Non Vital	>670 mm ²	Adanya Kebocoran
	Kuadran 4	Vital	>15 mm ²	Ada Kebocoran
		Non Vital	>670 mm ²	Ada Kebocoran
TOTAL KEBOCORAN			>15 mm ² + >670 mm ²	

Kondisi fisik rusak berat dengan lempengan Pb terpisah, total kebocoran melebihi 670 mm² pada beberapa kuadran. Selain itu, dilakukan pengujian tambahan menggunakan radiasi sekunder untuk *lead apron* 3. Pada eksposi 75 kV, radiasi hambur tidak menembus apron, namun pada 125 kV, ditemukan area kebocoran seluas 4.900,5 mm², menunjukkan penurunan efektivitas penyerapan radiasi pada energi tinggi.

Berikut visualisasi grafik perbandingan luas kebocoran antar lead apron dan status kelayakannya berdasarkan standar BAPETEN dan ARPANSA.



Gambar 1. Grafik perbandingan luas kebocoran antar lead apron

- Hijau = Layak digunakan
- Merah = Tidak layak digunakan

Grafik ini memperjelas bahwa *Lead Apron 1 dan 2* memiliki luas kebocoran sangat kecil yaitu ≤ 51 mm², sedangkan *Lead Apron 3 dan 4* menunjukkan kebocoran jauh di atas ambang batas, sehingga dikategorikan tidak layak pakai.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dua dari empat apron (*Lead Apron 3* dan *4*) tidak memenuhi standar kelayakan berdasarkan pedoman *Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency* (ARPANSA, 2015), yang menyatakan bahwa apron tidak layak jika kerusakan melebihi 15 mm² pada daerah vital atau 670 mm² pada daerah non-vital. Temuan ini juga sejalan dengan hasil Peraturan BAPETEN No. 8 Tahun 2011 yang menekankan pentingnya pemeriksaan berkala dan penyimpanan yang tepat untuk alat pelindung diri radiasi.(BAPETEN.2011)

Perbedaan tingkat kerusakan tersebut sejalan dengan temuan Asriningrum et al. (2023) dan Taufiq et al. (2024) yang mengemukakan bahwa usia pemakaian apron dan cara penyimpanan berpengaruh signifikan terhadap degradasi material pelindung. Lipatan berulang dan tekanan yang terjadi selama penyimpanan dapat menyebabkan mikroretakan (*microcracks*) pada lapisan timbal internal, yang seiring waktu berkembang menjadi celah atau *void* yang menurunkan daya redam radiasi. Penelitian Demetrius dan Sukadana (2024) juga menunjukkan bahwa apron yang disimpan dalam posisi terlipat memiliki tingkat kerusakan lebih tinggi dibanding apron yang digantung secara vertikal.

Secara material, timbal (Pb) bersifat plastis dan lunak, sehingga mudah mengalami deformasi permanen saat menerima tekanan atau lipatan dalam jangka waktu lama. Menurut Periyasamy dan Kagineili (2023), deformasi ini memicu terjadinya delaminasi antara lapisan timbal dan bahan polimer pelapis, yang menurunkan homogenitas ketebalan dan kemampuan attenuasi terhadap foton sinar-X. Hasil penelitian König et al. (2023) pada berbagai jenis apron (*lead-based* dan *lead-free*) memperkuat temuan ini dengan menyatakan bahwa penurunan ketebalan efektif akibat tekanan atau retakan dapat menurunkan efisiensi *shielding* hingga 20–30% pada energi 70–100 kVp.

Selain itu, studi Kim et al. (2023) menunjukkan bahwa *lead apron* yang telah berumur lebih dari lima tahun memiliki risiko kebocoran yang meningkat secara eksponensial, terutama pada area yang sering mengalami lipatan di bahu dan pinggang. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, di mana area kebocoran terbesar pada *Lead Apron 3* dan *Lead Apron 4* terletak pada bagian bawah apron — area yang biasanya mengalami tarikan gravitasi dan tekanan lipatan selama penyimpanan. Temuan ini mengindikasikan bahwa mekanisme utama kerusakan bukan semata-mata akibat paparan radiasi kumulatif, melainkan dominan disebabkan oleh kerusakan mekanis akibat perlakuan fisik dan umur pakai. Nansih et al. (2022) juga mencatat bahwa inspeksi visual sering kali tidak cukup mendeteksi kebocoran mikro, sehingga penggunaan metode radiografi konvensional dengan analisis citra digital seperti pada penelitian ini menjadi langkah yang lebih objektif dan kuantitatif. Dengan demikian, pendekatan pengukuran luas kebocoran dalam satuan mm² memberikan parameter diagnostik baru dalam evaluasi kelayakan apron.

Secara praktis, hasil penelitian ini memperkuat pentingnya penerapan program uji kelayakan tahunan (*quality assurance test*) untuk *lead apron* di fasilitas radiologi, sebagaimana direkomendasikan oleh ARPANSA (2015) dan BAPETEN (2011). Pemeriksaan secara radiografik dapat dijadikan metode alternatif yang murah, mudah, dan akurat untuk mengidentifikasi potensi kebocoran sebelum terjadi penurunan fungsi proteksi yang signifikan. Pendekatan ini juga sejalan dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) dalam menjaga keselamatan radiasi bagi tenaga kesehatan dan pasien.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya prosedur perawatan, penyimpanan, dan pemeriksaan rutin apron di fasilitas pendidikan dan pelayanan radiologi. Selain itu, penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa pengujian kebocoran dapat dilakukan menggunakan radiografi konvensional dengan hasil yang akurat, sesuai rekomendasi standar proteksi radiasi internasional (Kagineili et al., 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terhadap empat buah *lead apron* di Laboratorium Radiologi Politeknik Al Islam Bandung, dapat disimpulkan bahwa kondisi dan kelayakan pakai *lead apron* bervariasi tergantung pada tingkat kerusakan dan luas area kebocoran yang ditemukan. *Lead apron* 1 menunjukkan hasil baik tanpa adanya kebocoran sehingga masih layak digunakan. *Lead apron* 2 memiliki kebocoran dengan luas total 51,05 mm² yang masih berada di bawah batas maksimum kebocoran sesuai standar BAPETEN, sehingga masih dapat digunakan. Sementara itu, *lead apron* 3 dan *lead apron* 4 menunjukkan tingkat kebocoran yang signifikan, masing-masing sebesar 3447,95 mm² dan lebih dari 670 mm², sehingga dinyatakan tidak layak untuk digunakan. Faktor utama penyebab kebocoran pada *lead apron* diduga akibat cara penyimpanan yang tidak sesuai standar, seperti kebiasaan melipat *lead apron* yang menyebabkan kerusakan pada lapisan timbal (Pb). Oleh karena itu, diperlukan prosedur pemeliharaan yang baik, termasuk penyimpanan *lead apron* pada rak khusus tanpa dilipat, serta pelaksanaan uji kelayakan secara berkala minimal satu tahun sekali sesuai rekomendasi BAPETEN dan standar internasional. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan pentingnya penerapan prosedur proteksi radiasi yang ketat, pemeriksaan rutin terhadap peralatan proteksi diri, dan peningkatan kesadaran pengguna dalam menjaga kualitas serta keselamatan radiasi di lingkungan laboratorium radiologi pendidikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Al Islam Bandung, khususnya kepada Laboratorium Radiologi, yang telah memberikan izin, fasilitas, dan dukungan selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan motivasi dalam penyusunan penelitian ini. Tidak lupa, penulis menghaturkan terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa Program Studi D3 Radiologi Politeknik Al Islam Bandung yang telah membantu dalam pelaksanaan pengujian dan pengumpulan data. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peningkatan keselamatan kerja dan kualitas pembelajaran di bidang radiologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). (2015). *Safety guide for radiation protection in diagnostic and interventional radiology. Radiation Protection Series No. 14.1*. Yallambie (AU):
: https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/rps/rps14_1.pdf
- Asriningrum, S., Ardiana, Mulyana, H. Musrifah (2023). Kelayakan lead apron sebagai pelindung Paparan radiasi hambur. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 9(1), 1–5.
<https://doi.org/10.31983/jimed.v9i1.8877>
- Budošová, D., Horvathova, M., Bárdyová, Z., & Balázs, T. (2022). Current trends of radiation protection equipment in interventional radiology. *Radiation Protection Dosimetry*, 198 9-11(9–11), 554–559. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncac098>
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2011). *Pedoman medis: Proteksi dan keselamatan radiasi*. BAPETEN. [https://www.bapeten.go.id/dokumen/document-item/unduh?filename=Pedoman medis Rev 14 02 2013.pdf](https://www.bapeten.go.id/dokumen/document-item/unduh?filename=Pedoman%20medis%20Rev%2014%2002%202013.pdf)
- Hana, E., Ayu, F., Ratriwardani, R. A., & Kuswandi, S. B. A. F. (2024). Improving Compliance With The Use PPE at PT. Lintech Duta Pratama Through The PPE Distribution and Inspection Program. *Community Development Journal*, 8(2), 361–365.
<https://doi.org/10.33086/cdj.v8i2.6303>
- Kim, C. L., Lee, M. J., & Park, J. W. (2023). Radiation shielding effects of lead equivalent thickness of a radiation protective apron during C-arm fluoroscopy. *Medicine*, 102(10), e33628. https://journals.lww.com/md-journal/fulltext/2023/12010/radiation_shielding_effects_of_lead_equivalent.101.aspx
- Kajánek, P., Honti, R., Kopáčík, A., Erdélyi, J., & Kyrinovič, P. (2024). Calibration of measuring

- tapes. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM* .., 24, 189–196.
<https://doi.org/10.5593/sgem2024/2.1/s09.23>
- König, A. M., Bender, S., Mildemberger, P., & Heverhagen, J. (2023). *Comparison of the radiation protection effect of different radiation-protection aprons*. *European Journal of Radiology*, 163, 111001.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.111001>
[https://www.ejradiology.com/article/S0720-048X\(23\)00176-6/abstract](https://www.ejradiology.com/article/S0720-048X(23)00176-6/abstract)
- Lópes, R. D., Vasconcellos Neto, J. R. T. de, & Silva, T. D. A. (2025). Reducing Radiation Exposure in Diagnostic Imaging: The Case for Lead-Protective PPE. *Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Techonology*, 11(3), 145–152.
<https://doi.org/10.9734/ajb2t/2025/v11i3249>.
- Naqiyyun, M. D., & Hutahae, D. (2023). Optimalisasi pengecekan apron pb menggunakan ct scan untuk meminimalkan waktu dan paparan yang diterima pada saat evaluasi kualitas apron pb. *Prosiding Seminar Si-INTAN/Prosiding Seminar Si-Intan*, 3(1), 122–124.
<https://doi.org/10.53862/ssi.v3.092023.021>
- Nansih, N., Rahmadani, R., & Ramadhani, M. (2022). *Uji kebocoran apron menggunakan pesawat sinar-X fluoroskopi di RSUD M. Natsir Solok tahun 2021*. *Jurnal Teras Kesehatan (JUTEK)*, 5(2), 67–77 <https://jurnal.politeknikalislam.ac.id/index.php/jutek/article/view/74>
- Periyasamy, R., & Kagine, S. (2023). *Quality assurance of lead aprons for radiation protection*. *Radiation Protection Dosimetry*, 199(10), 2491–2498 .
- Ramirez, D., Veitia, B. D. R., Ariosa, P. F., Hernández, A. E., Gilart, R. A., Roca, Á. S., & Fals, H. C. (2023). *Pore Segmentation in Industrial Radiographic Images Using Adaptive Thresholding and Morphological Analysis*. e230008. <https://doi.org/10.46420/taes.e230008>
- Semitela, Â., Silva, J., Girão, A. F., Verdasca, S., Futre, R., Lau, N., & Completo, A. (2025). *Combining Infrared Thermography with Computer Vision Towards Automatic Detection and Localization of Air Leaks*. <https://doi.org/10.3390/s25113272>
- Talapko, J., Talapko, D., Katalinić, D., Kotris, I., Erić, I., Belić, D., Mihaljević, M. V., Vasilj, A., Erić, S., Flam, J., Bekić, S., Matić, S., & Škrlec, I. (2024). Health Effects of Ionizing Radiation on the Human Body. *Medicina*. <https://doi.org/10.3390/medicina60040653>
- Taufiq, V., Rachmawati, D., & Yuliani, N. (2024). *Evaluasi kelayakan dan efektivitas lead apron sebagai alat pelindung diri di instalasi radiologi*. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 13(1), 44–53. <https://jfu.fmipa.unand.ac.id/index.php/jfu/article/view/1250>
- Trajkovska Petkoska, A. (2023). *Assessment of the attenuation properties of commercial lead-free radiation-shielding composite materials against medical X-rays*. *Journal of Composites Science*, 7(10), 424. <https://doi.org/10.3390/jcs7100424>