DESAIN MOBILE SHIELDING UNTUK PESAWAT SINAR-X PORTABLE PADA RADIOLOGI DIAGNOSTIK

Deddy Rusdiana[1], Eko Sapto Aji[2]
deddyrus@gmail.com[1], e.sapto@bapeten.go.id[2]
Yayasan Pendidikan Maju Sidoarjo

ABSTRAK

Penggunaan pesawat sinar-X portable pada radiologi diagnostik memberikan fleksibilitas pelayanan, terutama ketika pemeriksaan harus dilakukan di luar ruang radiologi. Namun, mobilitas tersebut menimbulkan kebutuhan terhadap proteksi radiasi tambahan bagi petugas dan orang lain yang berada di sekitar area pemeriksaan. Penggunaan penahan berbasis timbal konvensional dalam bentuk pelat kaku memiliki kendala berupa massa yang besar, sulit dipindahkan, dan kurang praktis untuk penggunaan berpindah lokasi. Tulisan ini bertujuan mendesain mobile shielding yang dapat dibongkar-pasang, mudah dipindahkan, dan tetap menyediakan penahan radiasi berbasis lead rubber dengan target ekuivalensi 0,5 mmPb. Desain yang dikembangkan menggunakan rangka pipa stainless steel modular dengan lebar 120 cm, tinggi 2 m, serta target bobot maksimum 30 kg. Material penahan berupa lead rubber, yaitu material elastomer yang mengandung timbal sebagai bahan penyerap radiasi sehingga lebih fleksibel dibandingkan lembaran timbal kaku. Data pengujian pada tanggal 2 Januari 2025 digunakan sebagai data acuan karakteristik bahan 0,5 mmPb. Hasil pengujian acuan menunjukkan tidak ditemukan benjolan maupun perforasi, tidak ditemukan kerutan pada area uji, penipisan sebesar 1,5% pada layer 1 dan 3,6% pada layer 2 (keduanya memenuhi batas ≤10%), serta tidak ditemukan robekan/patahan pada seluruh area uji. Shielding dinyatakan laik pakai untuk parameter pengujian tersebut. Hasil ini mendukung kelayakan pendekatan material 0,5 mmPb sebagai basis desain, tetapi belum merupakan validasi shielding terhadap prototype mobile shielding.

Kata Kunci: Mobile Shielding, Sinar-X Portable, Lead Rubber, Proteksi Radiasi, Radiologi Diagnostik.

ABSTRACT

The use of portable X-ray systems in diagnostic radiology provides flexibility in healthcare services, particularly when examinations must be performed outside dedicated radiology rooms. However, such mobility creates additional radiation protection requirements for operators and other individuals in the vicinity of the examination area. Conventional lead-based shielding using rigid plates presents several limitations, including high weight, difficulty in transportation, and limited practicality for mobile applications. This study aims to design a mobile shielding system that is demountable, easy to transport, and capable of providing lead rubber-based radiation attenuation with a target lead equivalence of 0.5 mmPb. The proposed design utilizes a modular stainless-steel pipe frame with a width of 120 cm, a height of 2 m, and a target maximum weight of 30 kg. The shielding material consists of lead rubber, an elastomeric material containing lead as a radiation-attenuating component, providing greater flexibility than rigid lead sheets. Test data from a Pb certificate dated January 2, 2025, were used as reference data for the characteristics of the 0.5 mmPb material. The reference test results showed no bulging or perforation, no wrinkles within the tested areas, thickness reductions of 1.5% in Layer 1 and 3.6% in Layer 2, both within the allowable limit of ≤10%, and no tearing or fractures throughout the tested areas. The shielding was considered suitable for use based on the tested parameters. These results support the feasibility of using 0.5 mmPb material as the basis for the proposed mobile shielding design; however, they do not constitute direct validation of the shielding performance of the mobile shielding prototype.

***Keywords**: Mobile Shielding, Portable X-Ray, Lead Rubber, Radiation Protection, Diagnostic Radiology.*

PENDAHULUAN

Radiologi diagnostik berkembang menuju pelayanan yang semakin fleksibel, termasuk penggunaan pesawat sinar-X portable untuk pemeriksaan pada pasien yang tidak memungkinkan dipindahkan ke ruang radiologi. Dalam kondisi tersebut, penerapan prinsip proteksi radiasi tetap harus mempertimbangkan waktu, jarak, dan shielding. IAEA menyatakan bahwa ketiga faktor tersebut perlu dikombinasikan untuk mengoptimalkan proteksi radiasi pekerja dan masyarakat, serta bahwa penahan proteksi tambahan dapat digunakan sesuai kebutuhan prosedur. [1]

Permasalahan praktis muncul ketika penahan radiasi dibuat dari timbal dalam bentuk pelat atau konstruksi yang kaku. Timbal mempunyai densitas tinggi sehingga struktur dengan area penahan cukup luas dapat menjadi berat. Pada pemeriksaan menggunakan pesawat portable, kondisi ini dapat mengurangi mobilitas, meningkatkan kesulitan transportasi, dan memperpanjang waktu persiapan. Oleh karena itu diperlukan desain penahan radiasi yang tetap memiliki ekuivalensi timbal yang ditargetkan, tetapi dapat dilipat atau dibongkar menjadi beberapa bagian.

Konsep yang diajukan dalam penelitian ini adalah mobile shielding berbasis lead rubber dengan rangka pipa stainless steel yang dapat disusun. Lead rubber merupakan material komposit fleksibel yang menggunakan senyawa/partikel timbal sebagai komponen attenuasi radiasi dalam matriks elastomer. Keunggulan konseptual material ini untuk mobile shielding adalah sifatnya yang lebih fleksibel dan dapat dipasang pada rangka tanpa membutuhkan lembaran timbal kaku sebagai struktur utama. Standar IEC 61331-3 membahas persyaratan desain, material, dan sifat atenuasi untuk perangkat proteksi terhadap sinar-X diagnostik. [2]

METODE PENELITIAN

1. Konsep desain

Penelitian ini merupakan perancangan produk proteksi radiasi dengan pendekatan desain modular. Tahapan meliputi identifikasi masalah mobilitas penahan berbasis timbal, penetapan spesifikasi teknis, pemilihan material penahan dan rangka, penyusunan komponen, dokumentasi prototype, serta pembandingan karakteristik material terhadap data pengujian yang tersedia.

2. Spesifikasi rancangan

Parameter	Spesifikasi rancangan	Keterangan
Material penahan	Lead rubber	Material fleksibel berbasis elastomer dengan kandungan timbal
Ekuivalensi penahan	0,5 mmPb	Target ekuivalensi timbal
Lebar	120 cm	Lebar bidang penahan
Tinggi	2 m	Interpretasi teknis dari permintaan awal '2 mm'; 2 mm tidak realistis sebagai tinggi barrier
Rangka	Pipa stainless steel	Modular dan dapat disusun/dibongkar
Bobot maksimum	30 kg	Target massa total unit

Konfigurasi	Mobile / modular	Dapat dipindahkan dan dirakit di Lokasi

3. Prinsip penggunaan lead rubber

Pada rancangan ini, lead rubber ditempatkan sebagai bidang penghalang utama, sedangkan pipa stainless steel berfungsi sebagai struktur penopang. Material penahan harus dipasang tanpa celah terbuka pada bidang yang dimaksudkan sebagai area proteksi. Sambungan antarbagian juga perlu dibuat sedemikian rupa sehingga tidak menciptakan jalur langsung bagi radiasi. Prinsip tersebut sejalan dengan panduan IAEA yang menekankan bahwa joints dan penetrations pada shielding harus diatur agar efektivitas shielding tetap terjaga. [1]

4. Data pengujian acuan

Data pengujian yang digunakan berasal dari Sertifikat Pengukuran Paparan Radiasi dan Proteksi Radiasi.

Parameter	**Layer 1**	**Layer 2**	**Kriteria/hasil**
Benjolan	Tidak ada	Tidak ada	Lolos
Perforasi (lubang)	Tidak ada	Tidak ada	Lolos
Penutup/Gasper	Baik	Baik	Lolos
Kerutan/tactile	Tidak ada	Tidak ada	Lolos
Penipisan tebal	1,5%	3,6%	≤10%
Robekan/patahan	0 cm	0 cm	≤5,4 cm

Dokumen pengujian tersebut menyimpulkan shielding laik pakai untuk parameter uji di atas dan merekomendasikan kalibrasi ulang setiap tahun. Data ini diposisikan sebagai data acuan material 0,5 mmPb.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil desain fisik

Prototype yang didokumentasikan menunjukkan bidang penahan berwarna biru yang dipasang pada rangka logam stainless steel. Rangka memiliki susunan batang vertikal dan horizontal dengan pengikat pada beberapa titik, sehingga bidang penahan dapat dipertahankan pada posisi tegak. Konstruksi belakang menunjukkan pembagian rangka menjadi modul-modul yang dapat dilepas dan disusun kembali. Konsep tersebut ditujukan untuk mengatasi keterbatasan penahan timbal kaku yang sulit dipindahkan.



Gambar 1. Dokumentasi desain/prototype mobile shielding – tampak depan.



Gambar 2. Dokumentasi rangka mobile shielding – tampak belakang.

2. Analisis spesifikasi desain

Lebar 120 cm dan tinggi 2 m dirancang agar bidang penghalang memiliki cakupan yang cukup untuk ditempatkan di antara area kerja dan arah paparan hambur, dengan tetap mempertahankan karakter mobile. Tinggi 2 m juga konsisten dengan prinsip bahwa

penghalang vertikal pada fasilitas radiologi perlu memberikan cakupan yang memadai; IAEA menyebutkan bahwa shielding dinding pada ruang radiologi setidaknya 2 m, meskipun kebutuhan shielding aktual tetap harus ditentukan berdasarkan beban kerja, jenis pemeriksaan, geometri, dan kondisi ruangan. [1]

Penggunaan pipa stainless steel dipilih karena memberikan kekakuan struktural, ketahanan korosi, dan kemungkinan konstruksi modular. Dalam desain mobile, sambungan mekanis perlu dibuat kuat tetapi mudah dilepas. Bobot total maksimum 30 kg menjadi parameter penting karena tujuan utama produk adalah meningkatkan mobilitas. Massa aktual perlu diverifikasi dengan penimbangan prototype setelah material, sambungan, kaki penopang, dan aksesori final terpasang.

3. Pembahasan hasil pengujian acuan

Data pengujian shielding 0,5 mmPb menunjukkan kondisi fisik yang baik: tidak ditemukan benjolan maupun perforasi pada kedua layer, serta penutup/gasper dinilai baik. Pengujian tactile juga menunjukkan tidak adanya kerutan pada area yang diuji. Penipisan terukur 1,5% pada layer 1 dan 3,6% pada layer 2, keduanya masih di bawah nilai lolos uji ≤10%. Pada pengujian robekan/patahan menggunakan X-ray, seluruh area yang diuji menunjukkan nilai 0 cm, sedangkan batas lolos uji tercantum ≤5,4 cm.

Secara desain, hasil tersebut memberikan dasar bahwa material dengan spesifikasi 0,5 mmPb dapat digunakan sebagai kandidat bahan penahan fleksibel. Namun, tidak tepat menyatakan bahwa mobile shielding telah terbukti memiliki atenuasi 0,5 mmPb hanya berdasarkan pengujian saja.

4. Aspek keselamatan dan validasi

Mobile shielding harus diposisikan untuk menghindari paparan langsung pada personel dan mengurangi paparan hambur. IAEA menekankan bahwa personel tidak boleh dikenai berkas langsung dan bahwa perangkat proteksi tambahan dapat digunakan dalam prosedur tertentu. [1] Sebelum digunakan secara operasional, prototype perlu dievaluasi melalui pengujian kesesuaian/atenuasi oleh personel atau lembaga yang kompeten sesuai ketentuan yang berlaku. Pengujian tersebut sebaiknya membandingkan laju dosis di sisi terlindung dan tidak terlindung pada kondisi eksposur yang terdokumentasi.

Selain performa shielding, stabilitas mekanik perlu diuji. Karena tinggi 2 m dan bidang 120 cm memiliki luas cukup besar, gaya lateral dari pergerakan udara atau benturan dapat memengaruhi kestabilan. Kaki penopang, pengunci sambungan, dan distribusi massa perlu diuji agar unit tidak mudah terguling. Hal ini merupakan bagian dari validasi produk dan belum dapat disimpulkan dari dokumen pengujian.

5. Keterbatasan penelitian

Belum tersedia data laju dosis di sisi terlindung prototype pada kondisi paparan sinar-X portable.

Komposisi rinci lead rubber, massa jenis, dan sertifikat ekuivalensi timbal material prototype belum dicantumkan.

KESIMPULAN

Desain mobile shielding untuk pesawat sinar-X portable dapat dikembangkan menggunakan lead rubber dengan target ekuivalensi 0,5 mmPb yang dipasang pada rangka pipa stainless steel modular. Rancangan yang diajukan memiliki lebar 120 cm, tinggi 2 m, dan target bobot maksimum 30 kg. Konsep modular ditujukan untuk meningkatkan mobilitas dibandingkan penahan berbasis timbal kaku.

Data pengujian yang tersedia menunjukkan hasil fisik yang memenuhi parameter pengujian: tidak terdapat benjolan/perforasi, tidak terdapat kerutan, penipisan 1,5% dan 3,6% masih di bawah batas 10%, serta tidak ditemukan robekan/patahan. Dokumen

tersebut menyatakan shielding laik pakai untuk parameter yang diuji. Data ini dapat digunakan sebagai acuan karakteristik material 0,5 mmPb, tetapi tidak dapat menggantikan pengujian shielding terhadap prototype mobile shielding.

Dengan demikian, tahap berikutnya yang direkomendasikan adalah pengujian langsung prototype untuk verifikasi ekuivalensi/atenuasi, pengukuran laju dosis pada sisi terlindung, uji kestabilan mekanik, pengukuran bobot aktual, serta evaluasi kemudahan bongkar-pasang dan transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. IAEA Safety Standards Series No. SSG-46. Vienna: IAEA; 2018.

International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61331-3:2014. Protective devices against diagnostic medical X-radiation – Part 3: Protective clothing, eyewear and protective patient shields. Geneva: IEC; 2014.

National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. NCRP Report No. 147. Bethesda, MD: NCRP; 2004.