

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radiasi pengion merupakan jenis radiasi yang dapat mengionisasi materi yang dilewatinya (Podgoršak, 2006). Ketika radiasi pengion mengenai suatu materi, elektron-elektron penyusun materi tersebut dibebaskan melalui mekanisme ionisasi, yang menghasilkan elektron-elektron bebas (Hiswara dkk., 2023). Salah satu jenis radiasi pengion berdasarkan panjang gelombangnya adalah sinar-X. Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm C. Rontgen pada tahun 1895. Penemuan sinar-X telah mendorong perkembangan di berbagai bidang, termasuk di bidang medis. Dalam konteks medis, sinar-X dimanfaatkan untuk beberapa tujuan, yaitu diagnostik dan terapi (Henriksen dkk., 2003). Namun, penggunaan sinar-X dapat memiliki dampak negatif terhadap kesehatan jika tidak digunakan dengan tepat.

Paparan sinar-X yang tidak terkontrol mampu menyebabkan dampak negatif pada biologis tubuh, baik dari paparan sinar-X secara langsung maupun dari kontribusi genetik yang pernah terpapar sinar-X (Nugraheni dkk., 2022). Respon tubuh yang timbul akibat paparan sinar-X dapat mencakup kanker, kerusakan genetik, katarak, eritema, dan bahkan kematian. Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalkan risiko ketika menggunakan radiasi pengion, yaitu menggunakan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) dan menetapkan dosis ambang radiasi pengion yang diperbolehkan untuk diterima tubuh (Bushberg, 2012).

Acuan proteksi radiasi pengion di Indonesia telah ditetapkan oleh Badan Pengawasan Tenaga Nuklir (BAPETEN). Salah satu upaya proteksi radiasi yang diatur dalam peraturan BAPETEN No. 4 Tahun 2020 adalah penggunaan material *shielding* (penahan) radiasi pengion. Secara umum, material yang digunakan untuk *shielding* radiasi pengion adalah timbal (Pb). Timbal memiliki beberapa keunggulan diantaranya, nomor atom (Z) yang tinggi sehingga mampu

mengatenuasi dosis radiasi dengan baik, mudah dibentuk menyesuaikan kebutuhan, fabrikasi yang relatif murah, dan ketersediaannya melimpah (Kim, 2022; dan Hulbert dkk., 2009). Di samping itu, beberapa penelitian menunjukkan sisi kontra dari penggunaan timbal sebagai material *shielding*.

Penelitian AbuAlRoos dkk. (2019) menyatakan bahwa timbal mengandung senyawa karsinogenik. Kemudian Katsari dkk. (2020) menemukan adanya debu timbal pada permukaan luar pakaian proteksi radiasi personal, yaitu apron berbahan timbal. Debu timbal dapat berisiko bagi kesehatan pekerja radiasi, pendamping pasien, pasien, dan lingkungan sekitar apabila terhirup ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan. Selain itu, densitas material timbal yang tinggi mengakibatkan massanya berat ketika digunakan sebagai material *shielding* pada apron. Masalah-masalah tersebut mendorong penelitian untuk mencari material alternatif timbal untuk *shielding* radiasi pengion (McCaffrey dkk., 2007).

Penelitian mengenai material alternatif timbal sebagai *shielding* radiasi pengion telah dilakukan baik secara eksperimen maupun komputasi. Metode komputasi yang biasanya digunakan untuk penelitian adalah Monte Carlo. Monte Carlo dipilih karena andal untuk mengestimasi besaran-besaran fisika yang sifatnya acak, seperti besaran dosis radiasi setelah melewati *shielding* radiasi pengion (Landau dan Binder, 2015). Program komputasi berbasis Monte Carlo meliputi *Particle and Heavy Ion Transport Code System* (PHITS), *Geometry and Tracking* (GEANT), *Monte Carlo N-Particle* (MCNP), dan FLUKA (Hashemi dkk., 2020).

Penelitian sebelumnya yang menganalisis material alternatif timbal menggunakan metode komputasi antara lain dilakukan oleh Zehtabian dkk. (2015), yang menggunakan material Ba, Bi, Gd, Sn, dan W dengan simulasi MCNP5 untuk energi sinar-X sebesar 80 dan 120 kVp. Penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh Zolkepli dkk. (2022) dengan menambahkan material Al dan mengevaluasi *shielding* untuk energi 1 MeV menggunakan PHITS dengan variasi *multilayer shielding*. Selain itu, Aziz dkk. (2018) melakukan evaluasi *shielding* menggunakan MCNP5 dibandingkan dengan eksperimen secara langsung. Hasil penelitian Aziz dkk. (2018) menyatakan hasil simulasi baik untuk evaluasi *shielding* secara tidak

langsung. Namun, Alzahrani dkk. (2021) menyatakan bahwa material alternatif potensial seperti Ba, Bi, dan W sangat tidak ekonomis karena ketersediaannya yang terbatas. Oleh karena itu, dipertimbangkan material alternatif lain seperti Al dan Cu.

Pemilihan material Al dan Cu sebagai kandidat dalam penelitian *shielding* radiasi pengion didasari pada keunggulan masing-masing material. Keunggulan dari material Al untuk *shielding* radiasi pengion, yaitu sifatnya tidak karsinogenik, ekonomis, ringan, dan dapat membentuk lapisan oksida sehingga bersifat tahan korosi (Zolkepli dkk., 2022; dan Mishra dkk., 2018). Untuk keunggulan Cu, diketahui material tersebut lentur, tahan korosi, dan durabilitas relatif lama (Sakar, 2020). Penelitian sebelumnya yang menganalisis Al dan Cu sebagai *shielding* telah dilakukan oleh Aziz dkk. (2018) menggunakan radiasi gamma dari Cs-137 dan Na-22 dengan MCNP 4c.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, kekurangan penelitian yang ada adalah belum adanya evaluasi *shielding* Al dan Cu menggunakan radiasi sinar-X pada energi radiografi umum. Selain itu, evaluasi Al dan Cu belum dilakukan menggunakan metode *multilayer shielding* (*shielding* yang terdiri dari beberapa material yang disusun paralel). Kemudian belum dilakukan analisis berupa dosis ekuivalen relatif pada material Al dan Cu untuk mempertimbangkan efektivitas material alternatif menggantikan *shielding* Pb. Oleh karena itu, didukung juga dengan adanya fasilitas program simulasi versi 6.2, mendorong penelitian ini yang bertujuan untuk melakukan “Analisis Al dan Cu sebagai *Shielding* Radiasi Sinar-X Rentang Energi Radiografi Umum Menggunakan Simulasi *Monte Carlo N-Particle*”.

1.2 Tujuan Penelitian

Pelaksanaan penelitian didasari oleh beberapa tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Menentukan koefisien atenuasi linear material Al, Cu, dan Al-Cu untuk masing-masing energi sinar-X pada rentang energi radiografi umum.
2. Menentukan nilai ralat relatif koefisien atenuasi linear hasil simulasi MCNP dengan XCOM untuk masing-masing energi sinar-X pada rentang energi radiografi umum.
3. Menentukan material yang efektif antara Al, Cu, dan gabungan Al-Cu untuk menggantikan Pb sebagai *shielding* sinar-X dalam radiografi umum.
4. Menentukan pengaruh urutan penyusunan *shielding* gabungan Al dan Cu pada rentang energi radiografi umum.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam penggunaan *shielding* radiasi sinar-X rentang energi radiografi umum menggunakan material selain timbal baik untuk proteksi radiasi personal (apron) maupun proteksi radiasi pada dinding ruangan radiografi umum.