

ABSTRAK

Penggunaan radiasi pengion dalam bidang medis memerlukan optimasi *shielding* struktural, terutama pada fasilitas dengan keterbatasan ruang. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas *shielding* radiasi hambur sekunder, berdasarkan jarak fantom-dinding terhadap serta memperoleh estimasi awal jarak fantom-dinding yang berpotensi memenuhi batas dosis aman bagi masyarakat umum (<1 mSv/tahun). Simulasi dilakukan menggunakan metode *monte carlo* dengan perangkat lunak *Particle and Heavy Ion Transport code System* (PHITS) versi 3.35, dengan sumber spektrum sinar-X tegangan puncak 150 kVp yang dihasilkan melalui SpekCalc sebagai representasi kondisi *worst-case*. Jarak fantom-dinding divariasikan dari 0,25 m hingga 2,0 m, dengan tiga konfigurasi *shielding* dibandingkan berupa beton 20 cm (densitas $2,35 \text{ g/cm}^3$), timbal 2 mm (densitas $11,34 \text{ g/cm}^3$), dan kombinasi timbal 2 mm dengan beton 20 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *shielding* selapis, baik beton maupun timbal, tidak mampu memenuhi batas dosis 1 mSv/tahun pada seluruh rentang jarak yang diuji, dengan estimasi dosis tahunan berkisar 3,10–134,11 mSv/tahun untuk beton dan 15,06–602,71 mSv/tahun untuk timbal. Konfigurasi kombinasi beton-timbal menunjukkan efektivitas atenuasi yang jauh lebih superior, dengan reduksi radiasi pada seluruh rentang jarak yang diuji mendekati atau di bawah ambang batas sensitivitas statistik simulasi mengindikasikan tingkat atenuasi yang sangat tinggi. Pada jarak 0,25 m, estimasi dosis tahunan sebesar 0,968 mSv/tahun masih berada di bawah batas aman masyarakat, sementara pada jarak 0,5–2,0 m tidak terdapat foton yang terdeteksi sama sekali dalam 10^9 *history* partikel. Hal ini menunjukkan atenuasi yang melampaui kapasitas deteksi simulasi, sehingga membuat hasil memiliki *relative error* yang tinggi. Hasil ini menunjukkan secara kualitatif keunggulan konfigurasi kombinasi dibandingkan *shielding* selapis, sekaligus mengindikasikan perlunya jumlah partikel yang lebih besar atau teknik *variance reduction* pada penelitian lanjutan untuk memperoleh karakterisasi kuantitatif jarak optimum yang lebih presisi.

Kata kunci: *shielding* radiasi, PHITS, *Monte Carlo*, kombinasi beton-timbal, sinar-X diagnostik, $H^*(10)$.

ABSTRACT

The use of ionizing radiation in the medical field requires the optimization of structural shielding, particularly in facilities with limited space. This study aims to comparing the effectiveness of secondary scattered-radiation shielding based on the phantom-to-wall distance, and to obtain a preliminary estimate of the phantom-to-wall distance that may potentially satisfy the public dose safety limit (<1 mSv/year). Simulations were performed using the monte carlo method with the Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) perangkat lunak, version 3.35, with an X-ray spectrum source at 150 kVp peak voltage generated through SpekCalc as a worst-case representation. The phantom-to-wall distance was varied from 0.25 m to 2.0 m, comparing three shielding configurations: 20 cm concrete (density 2.35 g/cm^3), 2 mm lead (density 11.34 g/cm^3), and a combination of 2 mm lead with 20 cm concrete. Simulation results show that single-layer shielding, whether concrete or lead, failed to meet the 1 mSv/year dose limit across the entire range of distances tested, with estimated annual doses ranging from 3.10–134.11 mSv/year for concrete and 15.06–602.71 mSv/year for lead. The combined concrete-lead configuration demonstrated markedly superior attenuation effectiveness, with radiation reduction across the entire tested distance range approaching or falling below the statistical sensitivity threshold of the simulation, indicating a very high level of attenuation. At a distance of 0.25 m, the estimated annual dose of 0.968 mSv/year remains below the public safety limit, while at distances of 0.5–2.0 m, no photons were detected at all in 10^9 particle histories. This indicates attenuation that exceeds the simulation's detection capacity, resulting in results with a high relative error. These results qualitatively demonstrate the superiority of the combined configuration over single-layer shielding, while also indicating the need for a larger number of particles or variance reduction techniques in future research to obtain a more precise quantitative characterization of the optimal distance.

Keywords: radiation shielding, PHITS, Monte carlo, concrete-lead combination, diagnostic X-ray, $H^(10)$.*

\