

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi iradiasi memainkan peran penting di industri peralatan medis, terutama untuk sterilisasi dan memastikan keamanan produk medis dari kontaminasi mikroorganisme seperti virus, bakteri, parasit, dan spora jamur (Danyo dkk., 2024). Proses iradiasi ini memanfaatkan radiasi pengion yang dihasilkan oleh sumber seperti akselerator elektron untuk menghambat atau mematikan mikroorganisme. Efektivitas proses iradiasi sangat bergantung pada distribusi dosis serap radiasi dalam material yang diiradiasi. Distribusi dosis yang tidak merata dapat mengurangi efisiensi sterilisasi dan bahkan merusak material peralatan medis (Rahmawati dkk., 2024).

Material yang digunakan dalam peralatan medis seperti polimer, logam panduan, dan komposit memiliki karakteristik dalam menyerap radiasi, ketebalan, densitas, dan komposisi kimia material memengaruhi bagaimana radiasi tersebar dan diserap (Yani, 2022). Material yang lebih tebal cenderung menyerap lebih banyak radiasi, menyebabkan distribusi dosis tidak seragam di dalamnya. Pemahaman mendalam tentang interaksi radiasi dengan material ini sangat penting untuk merancang sistem iradiasi yang efektif, serta memastikan daya tahan material terhadap paparan radiasi yang tinggi (Bliznyuk dkk., 2022).

Kondisi ini menimbulkan kebutuhan akan teknik yang dapat memodelkan dan memprediksi distribusi dosis serap dengan presisi yang lebih akurat. Simulasi Monte Carlo merupakan metode yang banyak digunakan untuk perhitungan yang detail mengenai radiasi dengan material, termasuk geometri kompleks dan berbagai jenis radiasi (Miza Osman dkk., 2022). Salah satu perangkat lunak Monte Carlo yang dirancang khusus untuk aplikasi ini adalah PUFFIn, PUFFIn menawarkan berbagai fitur untuk memodelkan distribusi dosis radiasi dengan akurasi tinggi, termasuk kemampuan untuk menangani geometri yang kompleks, seperti ketebalan, densitas, dan komposisi material yang bervariasi (Schwarz dkk., 2025).

Tuan dkk. (2019) melakukan penelitian tentang analisis kedalaman distribusi dosis pada material homogen dan non-homogen dengan berkas elektron, menggunakan simulasi MCNP (Monte Carlo N-Particle). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman distribusi dosis pada material homogen dan non-homogen berbeda, tergantung pada jenis material yang digunakan. Semakin kecil densitas material posisi kedalaman maksimum semakin meningkat. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kurva dosis dalam standar yang digunakan untuk produk homogen tidak bisa digunakan untuk produk yang non-homogen, namun bergantung pada densitas material.

Schwarz dkk. (2024) membandingkan hasil simulasi dan eksperimen kedalaman distribusi dosis pada material aluminium, *etafoam*, *polistirena* dan kayu, menggunakan PUFFIn (*Penelope-Based User Friendly Fast Interface*) dengan berkas elektron sebagai sumber radiasi. Hasil perbandingan simulasi dan eksperimen tersebut menunjukkan keseragaman distribusi dosis, dengan menentukan rasio antara dosis maksimum dan dosis minimum yang diterima dalam suatu material selama proses iradiasi atau yang sering disebut DUR (*Dose Uniformity Ratio*) yang berarti PUFFIn efektif dalam melakukan simulasi. Hasil kedalaman distribusi dosis menunjukkan bahwa semakin dalam material maka persentase dosis radiasi yang diterima akan semakin besar hingga mencapai kedalaman maksimum. Setelah melewati kedalaman maksimum persentase dosis radiasi yang menurun secara eksponensial.

Fifield dkk. (2021) menjelaskan penelitian tentang perbandingan dosis radiasi gamma, elektron, dan sinar-x terhadap karakteristik dari empat material polimer pada alat kesehatan. Hasilnya menunjukkan bahwa radiasi elektron maupun sinar-X dapat menjadi alternatif yang layak untuk proses sterilisasi perangkat medis berbasis polimer dibandingkan dengan radiasi gamma. Perbandingan antaran distribusi dosis dari lima material polimer yang digunakan menunjukkan material berdensitas rendah cenderung menerima dosis lebih merata dan dapat menghasilkan dosis serap yang lebih tinggi diseluruh volume, dibandingkan dengan material berdensitas tinggi sebagian besar energi dilepaskan

pada lapisan permukaan, sehingga dosis cepat turun seiring bertambahnya kedalaman.

Liu dkk., (2023) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh distribusi dosis radiasi terhadap densitas dan komposisi kimia dengan variasi material aluminium, molibdenum, tantalum, timbal, titanium, dan tungsten menggunakan sumber radiasi elektron. Hasilnya menunjukkan bahwa kedalaman distribusi dosis dalam material berbeda tergantung pada jenis material, di mana bahan dengan komposisi kimia lebih tinggi seperti tungsten dan tantalum menunjukkan kedalaman maksimum distribusi dosis cenderung berada di kedalaman dangkal dibandingkan bahan dengan komposisi kimia yang lebih kecil.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, penelitian ini berfokus pada pengukuran kedalaman distribusi dosis untuk setiap jenis material dalam aplikasi iradiasi, guna meningkatkan akurasi dan efektivitas proses sterilisasi. Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi dan menganalisis distribusi dosis serap radiasi pada material industri peralatan medis menggunakan metode Monte Carlo berbasis PUFFIn. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kedalaman distribusi dosis radiasi serta optimasi proses iradiasi pada material polimer, untuk meningkatkan efektivitas dalam aplikasi industri peralatan medis.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi kedalaman distribusi dosis serap pada material industri peralatan medis menggunakan metode Monte Carlo berbasis perangkat lunak PUFFIn.
2. Menganalisis pengaruh karakteristik material, seperti densitas dan komposisi kimia terhadap distribusi dosis serap radiasi.

Manfaat dari penelitian ini diharapkan memberi kontribusi ilmiah dalam pemahaman interaksi radiasi dengan material industri peralatan medis dan memahami penggunaan perangkat lunak PUFFIn sebagai alat yang akurat untuk memodelkan distribusi dosis serap radiasi.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada analisis simulasi kedalaman distribusi dosis serap radiasi pada material yang sering terpapar radiasi dalam proses sterilisasi, yaitu 11 jenis material polimer yang umum digunakan pada industri peralatan medis sekali pakai. Geometri material yang digunakan berukuran $100 \times 25,5 \times 10$ cm, dengan 100 titik pengukuran pada sumbu z. Simulasi dilakukan menggunakan metode Monte Carlo melalui perangkat lunak PUFFIn. Parameter yang digunakan dalam simulasi, seperti geometri material dan geometri sumber radiasi, disesuaikan dengan spesifikasi *e-beam machine* 10 MeV milik BRIN di kawasan Pasar Jumat, menggunakan sumber radiasi elektron sebesar 10 MeV.

