

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radiasi gamma merupakan salah satu bentuk radiasi pengion (*ionizing radiation*) yang memiliki daya tembus sangat tinggi dan berpotensi menimbulkan efek biologis serius apabila tidak dikendalikan dengan baik. Paparan radiasi gamma dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan kerusakan jaringan, mutasi sel, serta peningkatan risiko kanker (More et al., 2021). Oleh karena itu, proteksi terhadap radiasi gamma menjadi aspek penting dalam berbagai bidang seperti kedokteran nuklir, industri radiografi, dan fasilitas energi nuklir. Prinsip proteksi radiasi melalui pengaturan waktu, jarak, dan perisai (*shielding*) merupakan pendekatan utama dalam mengurangi paparan radiasi. Penggunaan material perisai menjadi metode yang efektif untuk menurunkan intensitas radiasi dan terus dikembangkan dalam penelitian material pelindung radiasi modern (Ihsani et al., 2024).

Pada umumnya, material pelindung radiasi gamma menggunakan logam berat seperti timbal (Pb) karena memiliki nomor atom tinggi dan densitas besar sehingga efektif dalam menyerap dan melemahkan energi foton gamma. Dalam kajian komprehensif yang dipublikasikan oleh Ihsani dkk. (2024), disebutkan bahwa efektivitas timbal berasal dari nilai koefisien atenuasi yang tinggi akibat dominasi interaksi fotolistrik pada energi tertentu. Namun demikian, timbal memiliki kelemahan berupa sifat toksik, berat jenis yang tinggi, serta kurang fleksibel untuk aplikasi tertentu seperti apron pelindung dan pelapis dinding. Selain itu, regulasi lingkungan yang semakin ketat juga mendorong pengurangan penggunaan material berbasis timbal dan pengembangan material alternatif bebas timbal (*lead-free shielding materials*) (Abualroos et al., 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, komposit polimer telah menarik perhatian sebagai alternatif material pelindung radiasi karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain ringan, fleksibel, mudah diproses, tahan korosi, serta memiliki biaya produksi yang relatif lebih ekonomis dibandingkan logam murni.

Salah satu pendekatan yang banyak dilakukan adalah menambahkan *filler* dengan nomor atom tinggi (high-Z *filler*) ke dalam matriks polimer untuk meningkatkan kemampuan atenuasi radiasi gamma (More et al., 2021). Penambahan *filler* anorganik ke dalam matriks polimer diketahui dapat meningkatkan densitas dan probabilitas interaksi foton gamma dengan material, sehingga efektivitas perisai radiasi menjadi lebih baik.

BaSO₄ dan Fe₂O₃ merupakan *filler* anorganik yang banyak dikaji dalam pengembangan komposit polimer pelindung radiasi. Penelitian oleh Plangpleng et al. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan fraksi berat BaSO₄ secara signifikan meningkatkan nilai koefisien atenuasi massa (MAC) dan linear (LAC) serta menurunkan *Half Value Layer* (HVL), yang dikaitkan dengan kontribusi unsur Ba ($Z = 56$) terhadap peningkatan probabilitas interaksi fotolistrik. Temuan serupa dilaporkan oleh Turhan et al. (2023), di mana peningkatan kandungan barium dalam komposit berbanding lurus dengan kenaikan densitas dan nomor atom efektif material. Di sisi lain, Fe₂O₃ juga menunjukkan potensi signifikan sebagai *filler* penguat atenuasi radiasi pada komposit polimer. Studi eksperimental oleh Khalil et al. (2024) melaporkan bahwa penambahan nanopartikel Fe₂O₃ ke dalam matriks epoxy menghasilkan peningkatan nilai LAC dan MAC serta penurunan HVL pada rentang energi 59–1408 keV. Peningkatan performa tersebut dikaitkan dengan kenaikan densitas dan nomor atom efektif komposit akibat kontribusi unsur Fe yang meningkatkan probabilitas interaksi foton melalui mekanisme fotolistrik dan hamburan Compton. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa BaSO₄ dan Fe₂O₃ memiliki potensi untuk meningkatkan parameter atenuasi radiasi gamma ketika diintegrasikan ke dalam matriks polimer.

Dalam penelitian ini, matriks yang digunakan adalah PVC, yaitu polimer termoplastik yang memiliki sifat ringan, mudah diproses, serta memiliki kompatibilitas yang baik dengan berbagai *filler* anorganik. Untuk meningkatkan fleksibilitas dan homogenitas komposit, digunakan PEG sebagai plasticizer. Penambahan PEG dapat meningkatkan mobilitas rantai polimer sehingga membantu proses dispersi *filler* di dalam matriks PVC menjadi lebih merata. Selain itu, penggunaan PEG juga dapat mengurangi kemungkinan terbentuknya

aglomerasi partikel *filler* selama proses sintesis komposit (Xie et al., 2022). Homogenitas distribusi *filler* di dalam matriks menjadi faktor penting karena sangat memengaruhi karakteristik fisik maupun kemampuan atenuasi radiasi gamma pada komposit yang dihasilkan.

Selain karakterisasi sifat fisik dan pengujian kemampuan atenuasi radiasi gamma, karakterisasi gugus fungsi juga penting dilakukan untuk mengetahui interaksi antar komponen penyusun komposit. Salah satu metode karakterisasi yang banyak digunakan pada material polimer komposit adalah *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Analisis FTIR dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi khas dari PVC, PEG, BaSO_4 , dan Fe_2O_3 berdasarkan spektrum serapan inframerah pada bilangan gelombang tertentu (Stuart, 2004). Melalui identifikasi tersebut, FTIR dapat memberikan informasi mengenai keberadaan masing-masing komponen penyusun komposit sekaligus mendukung evaluasi keberhasilan proses pencampuran material. Dengan demikian, karakterisasi FTIR dinilai telah memadai untuk mendukung pembahasan mengenai interaksi kimia antar penyusun komposit yang berkaitan dengan karakteristik fisik dan kemampuan atenuasi radiasi gamma.

Meskipun komposit polimer dengan *filler* tunggal BaSO_4 maupun Fe_2O_3 telah banyak diteliti, kajian mengenai kombinasi kedua *filler* tersebut dalam matriks PVC yang dimodifikasi PEG untuk aplikasi perisai radiasi gamma masih sangat terbatas. Selain itu, karakterisasi gugus fungsi pada komposit PVC-PEG/ BaSO_4 - Fe_2O_3 menggunakan FTIR juga belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi BaSO_4 - Fe_2O_3 terhadap karakteristik fisik, gugus fungsi, dan parameter atenuasi radiasi gamma pada komposit PVC-PEG. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material perisai radiasi gamma yang ringan, fleksibel, dan bebas timbal.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mensintesis komposit PVC-PEG/ BaSO_4 - Fe_2O_3 menggunakan metode *solvent casting* dengan variasi komposisi *filler* BaSO_4 dan Fe_2O_3 .

2. Menganalisis karakteristik fisik dan struktur kimia komposit PVC–PEG/ $\text{BaSO}_4\text{--Fe}_2\text{O}_3$ melalui pengukuran densitas, ketebalan, dan analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR).
3. Menganalisis parameter atenuasi radiasi gamma yang meliputi koefisien atenuasi linear (LAC), koefisien atenuasi massa (MAC), *Half Value Layer* (HVL), *Tenth Value Layer* (TVL), dan *Mean Free Path* (MFP) pada komposit PVC–PEG/ $\text{BaSO}_4\text{--Fe}_2\text{O}_3$ menggunakan sumber radiasi Americium-241 dan Cesium-137.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan data ilmiah mengenai pengaruh variasi komposisi *filler* $\text{BaSO}_4\text{--Fe}_2\text{O}_3$ terhadap karakteristik fisik dan gugus fungsi komposit PVC–PEG melalui pengukuran densitas, ketebalan, dan analisis FTIR.
2. Memberikan data parameter atenuasi radiasi gamma komposit PVC–PEG/ $\text{BaSO}_4\text{--Fe}_2\text{O}_3$ yang meliputi nilai LAC, MAC, HVL, TVL, dan MFP pada energi radiasi dari sumber Am-241 dan Cs-137.
3. Menjadi dasar pengembangan material komposit polimer bebas timbal (*lead-free shielding material*) yang ringan, fleksibel, dan efektif sebagai perisai radiasi gamma.