

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Radioterapi merupakan salah satu metode utama dalam penanganan kanker yang memanfaatkan radiasi pengion untuk merusak sel tumor melalui deposisi energi pada jaringan biologis. Dalam praktik klinis modern, perangkat yang paling umum digunakan adalah linear accelerator (LINAC) yang mampu menghasilkan berkas foton berenergi tinggi untuk terapi tumor yang berada pada kedalaman jaringan (Khan and Gibbons, 2014). Penggunaan energi tinggi memberikan keuntungan berupa peningkatan daya penetrasi dan distribusi dosis yang lebih merata pada target.

Namun demikian, penggunaan energi tinggi juga meningkatkan kompleksitas proteksi radiasi. Selain radiasi primer yang diarahkan ke pasien, terdapat radiasi hambur (*scatter radiation*) dan radiasi bocor (*leakage radiation*) yang dapat memberikan paparan pada area di luar ruang terapi. Pada energi di atas 10 MV bahkan dapat terjadi produksi radiasi sekunder yang meningkatkan risiko paparan tambahan. Oleh karena itu, desain *shielding* pada fasilitas radioterapi menjadi aspek yang sangat penting untuk menjamin keselamatan pasien, pekerja radiasi, serta masyarakat umum (NCRP, 2005).

Perancangan *shielding* bunker radioterapi secara internasional mengacu pada pedoman yang diterbitkan oleh National Council on Radiation Protection and Measurements dalam NCRP Report No. 151, yang menjelaskan parameter desain seperti *workload* (W), *use factor* (U), *occupancy factor* (T), serta batas dosis yang diizinkan di area terkendali dan tidak terkendali (NCRP, 2005). Besaran proteksi radiasi yang digunakan adalah *ambient dose equivalent* $H^*(10)$, dengan koefisien konversi dari *fluks* partikel yang direkomendasikan oleh International Commission on Radiological Protection (ICRP, 2010). Di Indonesia, batas dosis bagi masyarakat umum ditetapkan sebesar 1 mSv per tahun dan bagi pekerja radiasi sebesar 20 mSv per tahun rata-rata lima tahun berturut-turut, sebagaimana diatur oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN, 2013).

Material yang umum digunakan dalam konstruksi bunker radioterapi adalah beton konvensional dengan densitas sekitar 2,3–2,4 g/cm³ karena ketersediaan dan kemudahan konstruksinya. Akan tetapi, pada energi tinggi, ketebalan beton konvensional yang dibutuhkan untuk memenuhi batas proteksi radiasi dapat menjadi sangat besar sehingga berdampak pada efisiensi ruang dan biaya konstruksi. Oleh karena itu, material alternatif dengan densitas lebih tinggi seperti beton magnetite (*heavy concrete*) maupun tungsten heavy alloy (WHA) menjadi kandidat yang potensial untuk meningkatkan efektivitas peredaman radiasi.

Metode Monte Carlo diakui sebagai pendekatan numerik yang sangat akurat dalam memodelkan transport partikel radiasi karena mampu mensimulasikan interaksi foton seperti efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan secara stokastik. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah MCNP yang dikembangkan oleh Los Alamos National Laboratory dan telah divalidasi dalam berbagai aplikasi proteksi radiasi dan desain *shielding* (Pelowitz, 2013).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji sifat atenuasi material *shielding*. Akkurt et al. (2010) melaporkan bahwa beton dengan agregat densitas tinggi memiliki koefisien atenuasi massa yang lebih besar dibandingkan beton konvensional pada energi gamma tertentu. Singh et al. (2013) menunjukkan bahwa *heavy concrete* mampu meningkatkan kemampuan peredaman radiasi secara signifikan dibandingkan beton biasa berdasarkan pengujian eksperimental dan analisis teoritis. Sementara itu, Korkut et al. (2012) menggunakan simulasi Monte Carlo untuk mengevaluasi kemampuan atenuasi berbagai material pada energi foton tinggi dan menemukan bahwa material berbasis tungsten memiliki efisiensi peredaman yang lebih tinggi dibandingkan material berbasis semen.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut menunjukkan potensi peningkatan performa *shielding* menggunakan material berdensitas tinggi, kajian komparatif yang secara simultan membandingkan beton konvensional, beton magnetite, dan tungsten heavy alloy dalam satu model simulasi berbasis energi klinis LINAC 6 MV, serta geometri dan parameter yang sama masih terbatas. Integrasi hasil simulasi dengan konversi ke besaran proteksi radiasi dalam satuan Sv/jam sesuai regulasi juga belum banyak dibahas secara komprehensif.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan kajian komparatif berbasis simulasi Monte Carlo untuk mengevaluasi efektivitas beton konvensional, beton magnetite, dan tungsten heavy alloy sebagai material *shielding* pada fasilitas LINAC 6 MV dengan mempertimbangkan parameter desain bunker dan batas proteksi radiasi yang berlaku. Hipotesis pada penelitian ini adalah berdasarkan densitas massa secara teoritis, tungsten heavy alloy lebih unggul dalam efektivitas material *shielding*, dibanding beton magnetite dan beton konvensional, namun beton magnetite lebih unggul dibanding beton konvensional. Permasalahan ini menjadi penting untuk diteliti karena berkaitan langsung dengan aspek keselamatan radiasi, efisiensi desain konstruksi bunker, serta optimalisasi pemilihan material pada fasilitas radioterapi.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan kajian komparatif terhadap efektivitas beberapa material *shielding* pada fasilitas radioterapi LINAC 6 MV menggunakan pendekatan simulasi Monte Carlo. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mensimulasikan distribusi radiasi menggunakan *tally* F6 untuk material beton konvensional, beton magnetite, dan tungsten heavy alloy.
2. Membandingkan efektivitas ketiga material berdasarkan kemampuan reduksi dosis terhadap variasi ketebalan berbasis TVL, serta performa koefisien atenuasi dan efisiensi ketebalan.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Manfaat Teoretis

- Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian proteksi radiasi khususnya pada desain *shielding* fasilitas radioterapi berbasis simulasi Monte Carlo.
- Menambah referensi akademik mengenai perbandingan efektivitas beton konvensional, beton magnetite, dan tungsten *heavy alloy* dalam mereduksi laju dosis radiasi pada energi klinis LINAC 6 MV.

- Menjadi dasar pengembangan penelitian lanjutan terkait optimasi material *shielding* menggunakan pendekatan numerik dan komputasi.

B. Manfaat Praktis

- Memberikan informasi teknis mengenai ketebalan material yang diperlukan untuk memenuhi batas proteksi radiasi sesuai regulasi yang berlaku.
- Menjadi bahan pertimbangan dalam perancangan dan evaluasi bunker radioterapi, khususnya dalam pemilihan material *shielding* yang lebih efisien dan aman.
- Mendukung peningkatan aspek keselamatan radiasi bagi pekerja, pasien, dan masyarakat di sekitar fasilitas radioterapi.