

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker dikenal sebagai tumor ganas atau neoplasma. Kanker ditandai oleh pertumbuhan sel abnormal yang berlangsung cepat dan tidak terkendali, sehingga melampaui batas fisiologis normal. Sel-sel tersebut mampu menyerang bagian tubuh yang berdekatan dan menyebar ke organ lain melalui proses yang dikenal sebagai metastasis, yang menjadi penyebab utama tingginya angka kematian akibat kanker (Brown *et al.*, 2023). Menurut *database Global Cancer Observatory* (GLOBOCAN) tahun 2022, terdapat 19,9 juta kasus kanker dan 9,7 juta kematian akibat penyakit kanker (Ferlay *et al.*, 2024). Radioterapi merupakan salah satu modalitas untuk mengobati kanker. Salah satu radioterapi yaitu terapi proton (Kobeissi *et al.*, 2022).

Terapi proton memiliki keunggulan yaitu dapat menurunkan dosis radiasi ke organ sehat di sekitar kanker, menaikkan efektivitas, dan menurunkan toksisitas (Bekelman *et al.*, 2018). Proton memiliki massa dan muatan yang membuatnya mempunyai karakteristik unik, biasa disebut dengan Puncak Bragg. Puncak Bragg merupakan kejadian ketika proton berhenti pada kedalaman deposisi dosis maksimum (James *et al.*, 2018). Hal tersebut mengakibatkan energi radiasi dapat terkirim secara fokus ke target (Rutenberg & Nichols, 2020).

Dalam fasilitas terapi proton, inti hidrogen dipercepat ke energi kinetik antara 70 hingga 230 MeV. Tetapi tidak semua proton mencapai target, sebagian besar bertumbukan dengan bahan komponen fasilitas terapi proton, seperti akselerator dan degrader. Terdapat dua reaksi utama ketika proton melintasi materi yaitu ionisasi dan reaksi nuklir. Reaksi nuklir menghasilkan neutron sekunder dan partikel bermuatan lainnya seperti proton sekunder dan partikel alfa (Titt *et al.*, 2020). Partikel yang dihasilkan dari reaksi nuklir merupakan salah satu kelemahan dari terapi proton. Partikel yang paling berbahaya yaitu partikel dengan muatan yang netral. Neutron memiliki muatan yang netral, sehingga dapat menempuh jarak

yang jauh sebelum diserap dan akan menyebabkan dosis yang tidak diinginkan pada pasien, pekerja, dan publik (Hubert *et al.*, 2016).

Pendirian fasilitas terapi proton baru memerlukan penyelidikan menyeluruh tentang perisai radiasi. Sesuai dengan kesepakatan *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), kuantitas dosis operasional yang digunakan untuk pemantauan area yaitu dosis ekuivalen ambien $H^*(10)$. $H^*(10)$ berfungsi sebagai estimasi dosis efektif seseorang yang berada di dalam medan radiasi. Untuk menyelidiki neutron harus berurusan dengan medan radiasi campuran. Dalam simulasi komputer, sangat mungkin untuk memisahkan berbagai konstituen dari medan radiasi campuran (Hälg & Schneider, 2020).

Metode Monte Carlo (MC) merupakan metode simulasi yang mengandalkan sampel acak berulang dan analisis statistik untuk menghitung hasilnya. Sebuah distribusi statistik digunakan sebagai sumber untuk setiap input, lalu diambil sampel acak dari tiap distribusi, yang kemudian mewakili nilai variabel input. Setiap set masukan akan mendapatkan satu set keluaran. Nilai keluaran merupakan hasil dalam simulasi yang dijalankan. Terakhir, dilakukan analisis statistik terhadap nilai keluaran (Raychaudhuri, 2008).

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya terkait simulasi Monte Carlo untuk verifikasi desain perisai radiasi dan perhitungan dosis $H^*(10)$ neutron pada fasilitas terapi proton. Penelitian yang dilakukan Titt *et al.* (2020) menggunakan *software Monte Carlo N-Particle* (MCNP6). Divariasikan dua jenis beton, beton Portland (densitas $2,3 \text{ g/cm}^3$) dan beton kepadatan tinggi (densitas $3,4 \text{ g/cm}^3$). Hasilnya, nilai dosis $H^*(10)$ masih di bawah persyaratan yang ditentukan. Penelitian lain dilakukan García-Fernández *et al.* (2023) menggunakan *software* MCNP6. Divariasikan dua jenis akselerator, sinkrosiklotron dan sinkrotron. Hasilnya, nilai dosis $H^*(10)$ masih di bawah batas yang ditentukan dan tidak mencapai 60% dari nilai maksimum yang diizinkan untuk publik. Penelitian selanjutnya dilakukan Lesmana (2023) menggunakan *software Particle and Heavy Ion Transport code System* (PHITS). Divariasikan dua jenis beton, beton Portland (densitas $2,3 \text{ g/cm}^3$) dan beton aktivasi tinggi (densitas $4,8 \text{ g/cm}^3$). Hasilnya, semakin tinggi nilai densitas beton maka redaman radiasinya semakin tinggi.

Dari beberapa penelitian sebelumnya, hanya fokus dengan material perisai radiasi, kurang mempertimbangkan arah berkas proton. Oleh karena itu, perlu ditinjau lebih lanjut paparan radiasi pada fasilitas terapi proton ketika digunakan secara klinis untuk perawatan. Hal tersebut dapat dicapai dengan memvariasikan arah berkasnya. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi distribusi dosis dan efektifitas perisai radiasi neutron pada fasilitas CPTC berbasis Monte Carlo menggunakan *software* MCNP6.2. Perisai radiasi neutron yang digunakan pada bunker fasilitas CPTC tersusun atas material beton Portland (densitas $2,3 \text{ g/cm}^3$) dan beton Nelco N300 densitas $4,8 \text{ g/cm}^3$). Akan divariasikan empat arah berkas proton yang merepresentasikan rotasi gantry 360° . Kemudian akan dihitung dosis $H^*(10)$ neutron untuk mengetahui distribusi dosis neutron di dalam dan sekitar fasilitas CPTC.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diraih dalam penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis distribusi dosis ekivalen ambien $H^*(10)$ neutron pada pembuatan fasilitas *Compact Proton Therapy Center* (CPTC) dengan empat variasi arah berkas proton menggunakan *software* MCNP6.
2. Memverifikasi efektivitas proteksi radiasi dari perisai radiasi neutron pada pembuatan fasilitas *Compact Proton Therapy Center* (CPTC) menggunakan *software* MCNP6.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan serta pengembangan dari metode Monte Carlo menggunakan *software* MCNP6 untuk terapi proton khususnya desain fasilitas *Compact Proton Therapy Center* (CPTC).
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sebuah modal pengembangan bagi terapi proton di Indonesia khususnya untuk referensi dalam pembuatan fasilitas terapi proton dan aspek proteksi radiasinya.