

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker menjadi salah satu masalah kesehatan terbesar di dunia, *Global Cancer Observatory* mencatat pada tahun 2022 total kasus kanker di Indonesia mencapai 408.661 kasus dengan total kematian mencapai 242.998 kasus (Ferlay et al., 2024). Kanker merupakan jenis penyakit dengan angka harapan hidup yang kecil terutama pada kasus kanker yang sudah bermetastasis. Pengobatan kanker dapat dilakukan dengan beberapa cara di antaranya operasi, radioterapi, kemoterapi, imunoterapi, terapi bertarget, terapi hormon, transplantasi *stem cell*, dan *precision medicine* (Saini et al., 2020). Salah satu teknik radioterapi yang dinilai lebih efektif adalah terapi proton karena mampu mempertahankan jaringan sehat dengan cara lebih efisien sehingga banyak digunakan dalam pengobatan pasien kanker.

Terapi proton mampu mendepositkan dosis radiasi secara presisi pada tumor dengan memanfaatkan fenomena *Bragg Peak* untuk meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitar organ target. Seiring perkembangan teknologi telah membawa perubahan signifikan dalam fasilitas terapi proton sejak pertama kali diperkenalkan. Saat ini, fasilitas terapi proton sudah banyak dioperasikan di beberapa negara, tingginya penggunaan terapi proton akan mempengaruhi paparan radiasi yang dihasilkan. Oleh karena itu, fasilitas terapi proton dirancang dengan standar keselamatan radiasi yang tinggi untuk memastikan paparan radiasi tidak memberi dampak negatif bagi objek di sekitarnya.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir paparan radiasi tersebut adalah dengan menggunakan perisai radiasi yang dapat menyerap dan menahan radiasi dengan efektif. Perisai radiasi pada fasilitas terapi proton bertujuan memperlambat dan menyerap neutron menjadi energi panas untuk mengurangi dosis ekuivalen efektif dari sumber ke lingkungan. Keakuratan perisai radiasi sangat penting sebagai persyaratan keselamatan dalam desain fasilitas terapi proton untuk pelindung dari sumber pemancar.

Hal yang perlu diperhatikan untuk desain perisai dan kalkulasi perisai radiasi meliputi jenis sumber, batasan dosis dan rancangan desain perisai (dinding). Timbal telah lama menjadi material yang populer digunakan sebagai perisai radiasi. Namun material ini memiliki kelemahan signifikan seperti toksisitas, sifat mekanik yang rendah dan stabilitas yang rendah (Han et al., 2022). Oleh karena itu, pengembangan material untuk perisai radiasi terus dilakukan. Di antara material yang dieksplorasi penggunaan beton menjadi pilihan yang sangat efektif karena ketersediaan luas, biaya yang murah, daya tahan baik, dan sifat perisai yang baik terhadap sinar gamma dan neutron. Pemilihan material yang digunakan akan mempengaruhi efektivitas dari beton yang dihasilkan, seperti penambahan agregat yang berdensitas tinggi akan menghasilkan jenis beton berat yang memiliki kemampuan lebih baik sebagai perisai radiasi dibandingkan dengan beton konvensional.

Penelitian untuk mengembangkan beton telah menghasilkan berbagai inovasi dalam mengeksplorasi potensi berbagai penggunaan material alam sebagai perisai radiasi. Ramoisiaux et al., (2022) mengintegrasikan simulasi partikel dari BDSIM dan perhitungan aktivasi menggunakan FISPACT-II untuk menguji *Low Activation Concrete* (LAC) sebagai perisai terapi proton. Hasilnya LAC menunjukkan pengurangan signifikan dalam volume material yang teraktivasi dibandingkan dengan penggunaan beton biasa. Secara spesifik setelah 20 tahun operasional volume material teraktivasi dengan beton biasa mencapai sekitar 109.5 m³, sedangkan dengan LAC volume tersebut menurun menjadi hanya sekitar 5.4 m³. Hal ini menunjukkan pengurangan lebih dari 95% yang menekankan efisiensi LAC dalam mengurangi produksi limbah radioaktif. Penelitian yang dilakukan oleh Khalaf et al. (2019) menggunakan *heavyweight concrete* dari kaca daur ulang tabung sinar katoda sebagai agregat halus untuk menggantikan agregat konvensional dalam produksi beton untuk perisai radiasi.

Lalu Ban et al. (2021) melakukan analisis literatur terkait penggunaan lebih dari satu jenis nanomaterial untuk menghasilkan *heavyweight concrete*. Dalam penelitian Anunike et al. (2024) telah melakukan kajian terhadap beberapa material agregat yang berpotensi untuk digunakan sebagai salah satu material dalam

produksi *Ultra High Performance Concrete* (UHPC). Sementara itu, Zeyad et al. (2022) mengkaji pengembangan UHPC dengan menggunakan kombinasi agregat berat magnetit, hematit, ilmenite, dan barit serta penggunaan serat baja, serat timbal, dan serat basalt.

Dalam beberapa tahun terakhir penelitian yang mengembangkan beton berat sebagai penahan radiasi masih pada desain material secara umum dan belum secara spesifik diterapkan pada *Compact Proton Therapy Centers* (CPTC). Selain itu, kajian kemampuan perisai beton terhadap dosis ekuivalen $H^*(10)$ akibat radiasi sekunder masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi dosis pada penerapan perisai LAC dan beton berat secara spesifik untuk CPTC menggunakan simulasi MCNP 6.2. Simulasi dilakukan untuk melihat nilai koefisien atenuasi, *Half Value Layer* (HVL), *Ten Value Layer* (TVL) dan dosis ekuivalen $H^*(10)$. Beton yang disimulasikan dalam penelitian untuk perisai radiasi yaitu beton LAC dengan densitas 2.18 g/cm^3 , beton berat galena yang memiliki densitas 7.141 g/cm^3 dan beton berat hematit yang memiliki densitas 4.898 g/cm^3 .

Monte Carlo N Particle (MCNP) 6.2 memiliki peran penting dalam memvalidasi dan memverifikasi distribusi dosis pada perencanaan terapi proton. Metode komputasi berbasis Monte Carlo dapat secara akurat menggambarkan interaksi neutron dengan materi (Aliyah et al., 2023). Simulasi berbasis Monte Carlo dilakukan pada fasilitas terapi proton yang direncanakan di Houston, Texas untuk memverifikasi bahwa desain shielding berkinerja dengan baik dan dosis neutron sekunder masih dalam batas yang ditentukan (Titt et al., 2021). Seperti simulasi Monte Carlo dan Geant4 untuk memprediksi dosis ekivalen lingkungan dari medan neutron sekunder di fasilitas terapi proton (Cadini et al., 2016). Lalu penggunaan teknik analitik dan simulasi Monte Carlo untuk memperkirakan dosis neutron di luar dinding perisai (Sunil, 2016). Selanjutnya, untuk mengkarakterisasi efektivitas perisai di CPTC dengan menghitung setara dosis ekuivalen $H^*(10)$ menggunakan MCNP6 (Cevallos-Robalino et al., 2020).

Sejalan dengan perkembangan penelitian simulasi perisai yang telah dilakukan dengan berbagai inovasi dan peningkatan yang signifikan untuk mengetahui efektivitas dari proteksi radiasi pada konstruksi maupun di sekitar

fasilitas terapi proton. Pada penelitian ini dilakukan simulasi dosis perisai LAC dan beton berat pada CPTC menggunakan MCNP 6.2. Penelitian ini bertujuan untuk menilai dan menganalisis kemampuan perisai dengan menghitung setara dosis ekuivalen $H^*(10)$ di luar *bunker* dari CPTC.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh nilai parameter atenuasi: koefisien atenuasi, HVL, dan TVL pada perisai LAC dan beton berat untuk CPTC menggunakan MCNP 6.2.
2. Memperoleh pemodelan fasilitas CPTC dengan sumber proton menggunakan MCNP 6.2.
3. Memperoleh dosis ekuivalen $H^*(10)$ setara di sekitar fasilitas CPTC menggunakan MCNP 6.2.
4. Memperoleh perbandingan kemampuan model perisai dalam mereduksi dosis ekuivalen $H^*(10)$ di CPTC menggunakan MCNP 6.2.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui paparan radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi dan masyarakat di *area* sekitar *bunker* terapi proton. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam pembuatan *bunker* terapi proton yang optimal dengan menggunakan simulasi MCNP 6.2.