

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Radiasi proton terapi adalah salah satu metode inovatif yang digunakan dalam pengobatan kanker, memanfaatkan partikel proton untuk menghancurkan sel-sel kanker secara lebih efektif. Keunggulan utama dari radiasi proton terapi dibandingkan dengan jenis radiasi lainnya, seperti radiasi gamma dan X, terletak pada kemampuan proton untuk menembus jaringan tubuh dengan lebih tepat, sehingga dapat meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitarnya. Hal ini sangat penting dalam pengobatan kanker, di mana kerusakan pada jaringan sehat bisa menyebabkan efek samping yang serius bagi pasien. Namun, meskipun memiliki kelebihan, radiasi proton terapi juga memiliki kelemahan yang perlu diwaspadai. Salah satu risiko yang paling signifikan adalah munculnya radiasi neutron sebagai hasil dari interaksi proton dengan atom-atom di dalam tubuh. Radiasi neutron ini dapat berpotensi merusak jaringan tubuh dan meningkatkan risiko terjadinya kanker sekunder. Oleh karena itu, penelitian mengenai radiasi neutron dan cara-cara untuk mengurangi dampaknya menjadi sangat penting, khususnya dalam konteks ruangan proton terapi (Yu & Chen, 2024).

Pemanfaatan teknologi kedokteran modern seperti radioterapi menjadi salah satu pilihan pengobatan kanker yang cukup banyak digunakan. Namun, radiasi yang digunakan dalam terapi harus dijaga keamanannya agar tidak menyebabkan efek samping bagi pasien maupun petugas medis. Oleh karena itu, diperlukan adanya perisai atau perisai radiasi yang mampu menyaring radiasi secara efektif (Anunike dkk., 2024). Tujuan utama perisai radiasi ini adalah melindungi orang-orang di luar ruangan dari dosis radiasi yang tidak perlu. Bahan yang umumnya digunakan untuk perisai radiasi adalah beton karena kuat dan murah. Namun, beton memiliki kepadatan yang rendah sehingga ketebalannya perlu dihitung berdasarkan jumlah *tenth value layer* (TVL) yang dibutuhkan. Bahan tambahan seperti timah atau baja dapat ditambahkan pada perisai radiasi karena memiliki kepadatan yang lebih tinggi. Hal ini bermanfaat untuk mengurangi ketebalan yang dibutuhkan. Penelitian mengenai

dampak penggunaan timah dan baja sebagai bahan tambahan perisai radiasi telah dilakukan. Hasilnya menunjukkan bahwa kedua bahan tersebut memberikan perbedaan yang cukup signifikan terhadap dosis neutron. Sedangkan terhadap dosis foton, kedua bahan tersebut memberikan kontribusi yang hampir sama. Hal ini perlu dipertimbangkan dalam memilih bahan tambahan perisai radiasi. Dengan pemilihan bahan perisai radiasi dan perhitungan ketebalan yang tepat, diharapkan dapat melindungi seluruh area di luar ruangan radioterapi dari paparan radiasi sehingga keselamatan pasien dan tenaga kesehatan dapat terjaga dengan baik. Evaluasi berkelanjutan perlu dilakukan untuk memastikan keefektifan dari penggunaan perisai radiasi ruangan radioterapi (Mendes dkk., 2022).

Beton dengan aktivasi rendah digunakan sebagai perisai radiasi di bunker *Compact Proton Therapy Centers* (CPTC). Hal ini dikarenakan beberapa alasan. Pertama, kepadatan radiasi di bunker CPTC lebih tinggi dibandingkan pusat radioterapi berkamar ganda karena luas lahannya yang lebih sempit dan jarak-jarak yang lebih dekat. Dengan kepadatan radiasi yang lebih tinggi, bahan perisai berisiko mengalami aktivasi yang lebih besar. Kedua, bahan perisai yang teraktivasi dapat meningkatkan dosis tambahan bagi pasien dan petugas kesehatan di kemudian hari. Oleh karena itu, bahan dengan aktivasi rendah lebih baik daripada bahan berkepadatan tinggi. Selanjutnya, beton dengan aktivasi rendah memiliki kepadatan 2,18 gram per sentimeter kubik. Walaupun lebih rendah dari beton *Portland* biasa, kemampuan atenuasinya hampir sama. Kedalaman untuk mencapai dosis di bawah batas hukum juga sama untuk kedua jenis beton tersebut. Meskipun terdapat ketidakpastian mengenai komposisi dan kepadatan beton aktual, simulasi menunjukkan bahwa penggunaan beton dengan aktivasi rendah mampu mengurangi dosis radiasi di luar perisai radiasi hingga 10-15% dibandingkan beton *Portland*. Oleh karena alasan-alasan tersebut, beton dengan aktivasi rendah merupakan pilihan terbaik sebagai bahan perisai radiasi di bunker CPTC guna melindungi pasien dan tenaga kesehatan serta memenuhi standar keselamatan radiasi (Garcia-Fernandez dkk., 2021a). Selain itu, bahan campuran agregat berat yang memiliki kerapatan tinggi seperti barit, ilmenit, magnetit, dan hematit dapat digunakan untuk membuat perisai radiasi radioterapi. Ini dikarenakan agregat berat mampu menyerap radiasi dengan ketebalan yang lebih

kecil. Selain itu, tambahan nanomaterial dan serat baja juga terbukti mampu meningkatkan kepadatan serta kualitas beton *ultra high performance* sehingga mampu menyerap radiasi secara lebih efisien dan efektif. Oleh karena itu, penelitian mengenai formulasi campuran ini perlu dilakukan untuk menghasilkan perisai radiasi radioterapi yang aman bagi pasien maupun tenaga Kesehatan (Anunike dkk., 2024).

Ruangan proton terapi dirancang dengan berbagai fitur untuk meminimalkan risiko radiasi neutron dan menjaga keselamatan pasien serta tenaga medis. Desain ruangan ini mencakup penggunaan bahan pelindung dan pengaturan yang memungkinkan pengoperasian yang aman. Namun, meskipun desain ini bertujuan untuk mengurangi risiko, masih terdapat tantangan nyata terkait radiasi neutron yang dihasilkan selama proses pengobatan. Penelitian yang ada saat ini cenderung terbatas pada analisis radiasi neutron, tanpa menawarkan solusi praktis untuk mengatasi masalah ini. Dengan mempertimbangkan keterbatasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis lebih dalam mengenai sumber radiasi neutron dalam ruangan proton terapi. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sumber-sumber radiasi neutron dan mengembangkan metode yang efektif dan efisien untuk menguranginya. Selain itu, penelitian ini juga berupaya untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana radiasi neutron dapat mempengaruhi keselamatan kerja bagi tenaga medis dan pasien. Penelitian ini tidak hanya akan berfokus pada aspek teknis, tetapi juga akan mempertimbangkan dampak keselamatan bagi semua pihak yang terlibat di ruangan proton terapi. Dengan mengurangi dampak radiasi neutron, diharapkan dapat meningkatkan keselamatan kerja bagi pekerja medis dan pasien, serta menciptakan lingkungan pengobatan yang lebih aman. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini akan menggunakan metode simulasi Monte Carlo, yang dikenal luas sebagai alat yang efektif dalam menganalisis dan memodelkan radiasi neutron. Metode ini memungkinkan peneliti untuk melakukan simulasi yang mendetail tentang bagaimana radiasi neutron berinteraksi dengan berbagai jenis bahan pelindung. Selain itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi penggunaan bahan perisai yang telah terbukti efektif dalam mengurangi radiasi neutron. Dengan melakukan pengujian ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih baik untuk mengurangi risiko radiasi (García-Fernandez dkk., 2023a).

Perisai Radiasi merupakan aspek penting dalam desain fasilitas *Compact Proton Therapy Center* (CPTC) untuk memastikan keselamatan pasien dan tenaga medis dari paparan radiasi yang berbahaya. Beton telah lama digunakan sebagai material perisai radiasi karena kemampuannya dalam menyerap dan menghamburkan radiasi gamma serta neutron. Namun, berbagai inovasi diperlukan untuk meningkatkan efektivitas perisai, mengurangi ketebalan perisai yang diperlukan, serta meningkatkan ketahanan mekanis material. Beton *Portland* merupakan material perisai radiasi konvensional yang efektif dalam mengurangi intensitas radiasi melalui mekanisme atenuasi dan hamburan. Untuk meningkatkan efisiensinya, beton dapat dimodifikasi dengan bahan tambahan seperti nano seng oksidasi dan nano-silika, yang memperbaiki mikrostruktur beton, meningkatkan kepadatan, serta memperkuat daya serap terhadap radiasi. Kombinasi material nano ini juga meningkatkan ketahanan mekanis beton terhadap beban struktural serta degradasi lingkungan. Selain modifikasi nano-material, penggunaan agregat berat seperti timbal oksida (PbO) memberikan perlindungan yang lebih optimal terhadap radiasi gamma dengan meningkatkan densitas dan kemampuan atenuasi. Beton yang mengandung paduan timah dan bismuth memiliki keunggulan dalam menyerap radiasi gamma serta neutron, menjadikannya material yang sangat efektif untuk perisai dalam lingkungan radiasi tinggi. Alternatif lain yang dapat digunakan adalah beton berbasis bijih kromium dan titanium dioksida, yang memiliki kepadatan tinggi serta ketahanan terhadap suhu ekstrem, menjadikannya ideal untuk perlindungan jangka panjang. Sementara itu, beton berbasis *Ferrochrome Slag Aggregate* menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah industri sebagai bahan utama, tanpa mengurangi efektivitasnya dalam melindungi terhadap radiasi pengion. Dengan karakteristik masing-masing, keenam jenis beton ini memiliki potensi besar sebagai material perisai radiasi yang dapat diterapkan dalam desain *Compact Proton Therapy Center* (CPTC), memastikan keseimbangan antara perlindungan radiasi yang optimal, efisiensi desain, serta ketahanan struktural dalam jangka panjang.

Penelitian ini akan melakukan perhitungan dosis radiasi neutron yang dihasilkan di sekitar ruangan proton terapi, khususnya di *Compact Proton Therapy*

*Center* (CPTC). Fokus utama dari penelitian ini adalah evaluasi efektivitas perisai radiasi bunker dalam mengurangi dosis radiasi neutron yang diterima oleh tenaga medis dan pasien. Pengukuran dosis dilakukan dengan menghitung setara dosis ekuivalen ambien neutron  $H^*(10)$  di luar bunker CPTC. Untuk mencapai tujuan ini, pendekatan stokastik melalui simulasi Monte Carlo akan digunakan dengan perangkat lunak MCNP 6.2, yang memungkinkan perhitungan akurat mengenai efek neutron sekunder yang dihasilkan dari interaksi proton dengan komponen fasilitas. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman mengenai radiasi neutron dan dampaknya, serta memberikan informasi yang akurat mengenai dosis radiasi yang mungkin diterima, sehingga dapat menjadi acuan bagi tenaga medis, pasien, dan pihak-pihak terkait dalam meningkatkan keselamatan dan efektivitas pengobatan kanker. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya akan memperkaya pengetahuan tentang radiasi neutron, tetapi juga berpotensi menghasilkan inovasi dalam praktik medis yang lebih aman dan efisien.

### **1.2. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka tujuan penelitian antara lain

1. Memperoleh nilai parameter material perisai radiasi pada ruang CPTC menggunakan simulasi MCNP 6.2
2. Menganalisis pengaruh variasi jenis material terhadap kemampuan perisai radiasi pada ruang CPTC menggunakan simulasi MCNP 6.2
3. Memperoleh nilai dosis ekuivalen ambien pada perisai radiasi berbasis logam berat di ruang CPTC menggunakan simulasi MCNP 6.2 dan membandingkannya terhadap nilai Batasan dosis yang ditetapkan oleh BAPETEN
4. Menganalisis nilai dosis ekuivalen ambien ruang CPTC terhadap variasi jenis material perisai radiasi berbasis logam berat

### **1.3. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi dalam perancangan bunker terapi proton, dengan mempertimbangkan variasi material, ketebalan, jarak, dan energi proton. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian menggunakan program simulasi MCNP 6.2.