

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker prostat merupakan penyakit kedua paling umum yang menyerang pria (Ferlay dkk., 2024). Berdasarkan data dari *World Health Organization* (WHO) yang tercantum pada *Global Cancer Observatory* kasus baru kanker prostat di Indonesia pada tahun 2022 berjumlah 13.130 pasien. Angka kematian kanker prostat berjumlah 4.860. Jika jenis kanker yang diderita pria diurutkan berdasarkan jumlah kasus baru maka kanker prostat berada pada urutan kelima. Jumlah kasus ini menyumbang 7,4% dari semua kasus baru kanker pada pria di Indonesia (Ferlay dkk., 2024).

Secara teori terapi proton memiliki keunggulan dibandingkan pengobatan lain untuk kanker prostat. Keunggulan tersebut adalah minimalnya kerusakan pada jaringan sehat di sekitar kanker, pengobatan bersifat non-invasif sehingga pasien mampu pulih lebih cepat, dan sesi pengobatan yang lebih cepat (Podder dkk., 2018). Meskipun terapi proton memiliki banyak keunggulan, masih terdapat efek samping yang perlu dipertimbangkan. Diantaranya adalah perubahan kulit di area yang dilewati proton, kelelahan, mual, dan diare. Efek samping tersebut bersifat sementara dan dapat diatasi dengan perawatan yang tepat. Selain itu terdapat efek jangka panjang berupa resiko luka pada uretra, pendarahan rektum, dan disfungsi ereksi.

Hantaran dosis oleh terapi proton menjadi salah satu topik penelitian saat ini untuk memajukan penanganan kanker prostat. Penghantaran dosis radiasi dirancang dengan tujuan memaksimalkan dosis pada kanker sekaligus meminimalkan dosis pada jaringan dan organ sehat. Optimasi terapi proton memanfaatkan sifat proton yang melepaskan sebagian besar energinya tepat sebelum berhenti (Mohan, 2022). Sifat ini disebut sebagai *bragg peak*. Optimasi lebih lanjut dilakukan dengan mengimplementasikan orientasi arah penyinaran proton dengan orientasi-orientasi yang berbeda (Cao dkk., 2015).

Setiap hantaran dosis pada kanker harus mempertimbangkan dosis yang diterima organ-organ lain di sekitarnya atau *organ at risk*. Pada kanker prostat organ-organ tersebut adalah kantung kemih, usus, testis, rektum, uretra, dan tulang pada area pelvis. Dosis radiasi yang diterima *organ at risk* akan meningkatkan potensi efek samping. Oleh karena itu penting untuk mendapatkan estimasi yang akurat pada dosis *organ at risk*.

Perhitungan estimasi dosis *organ at risk* perlu dikembangkan lebih lanjut.

Metode Monte Carlo umumnya diterapkan pada data *Digital Imaging and Communications in Medicine* atau DICOM untuk perhitungan dosis tersebut (Andreo, 2018). Namun pada perhitungan ini tidak semua *organ at risk* dilibatkan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan bagian tubuh tertentu yang dicitrakan dan kemampuan citra untuk mengidentifikasi jaringan dan organ-organ secara keseluruhan.

Simulasi dosimetri menggunakan model manusia (fantom) penting untuk estimasi dosis, memungkinkan pemodelan jaringan dan organ tanpa radiasi pada pasien atau peralatan penelitian. Simulasi ini membantu menemukan konfigurasi terapi efektif dan menghitung interaksi radiasi secara akurat berdasarkan geometri bahan, serta memperoleh sifat stokastik penyebaran dosis melalui interaksi statistik yang signifikan.

Validasi simulasi harus dilakukan untuk memastikan pengukuran dosis simulasi dapat merepresentasikan pengukuran yang sebenarnya. Validasi ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan data penelitian Hang Shu dkk pada *Shanghai Advanced Proton Therapy facility* (SAPT) di tahun 2019. Pada penelitian tersebut dosis fantom air dari *proton pencil beam* diukur dan didapatkan grafik *integral depth dose*. Energi *proton pencil beam* yang digunakan berlaku di kedalaman organ prostat untuk menghantarkan dosis secara optimal. Hal ini mendukung untuk dilakukannya simulasi replikasi penelitian tersebut untuk memvalidasi simulasi paparan kanker prostat.

Geant4 dikenal sebagai perangkat lunak *open source* yang akurat untuk simulasi dosimetri, dengan hasilnya banyak dibandingkan dengan data klinis dalam berbagai studi (Muraro dkk., 2020). Pemodelan fisika yang dikembangkan saat ini untuk perhitungan interaksi radiasi dengan jaringan tubuh akan menjadi modal utama untuk meningkatkan akurasi simulasi dosimetri (Kyriakou dkk., 2022). Bentuk model geometri fantom turut dikembangkan untuk memastikan akurasi, keamanan, dan optimisasi pengobatan terapi radiasi (Xu, 2014). Fantom air digunakan untuk mengetahui bentuk sebaran dosis pada paparan keadaan ideal dan menjadi referensi pelaksanaan *Quality Assurance* (QA) (Essa, 2018). Fantom komputasi memodelkan organ tubuh secara detail untuk perhitungan dosis yang lebih komprehensif. Fantom generasi terbaru yang dikembangkan oleh International Commission on Radiological Protection (ICRP) tersedia secara terbuka melalui publikasi ICRP 145. (Kim dkk., 2020).

Penelitian simulasi dosimetri untuk menelusuri dosis *organ at risk* telah dilakukan oleh Takata dkk. (2020). Penelitian ini menggunakan fantom tubuh

wanita untuk mensimulasikan radioterapi sinar-X pada payudara, menganalisis dampaknya terhadap dosis *organ at risk* dan risiko kanker berulang. Metode ini juga dapat menelusuri pengaruh orientasi penyinaran terapi proton pada kanker prostat.

Geant4 dapat mensimulasikan berbagai orientasi penyinaran proton untuk kanker prostat menggunakan fantom ICRP 145. Setiap jaringan di lintasan proton menerima dosis radiasi, menghasilkan sebaran dosis berbeda. Penelitian ini menelusuri pengaruh orientasi penyinaran terhadap dosis prostat dan *organ at risk* sekitarnya.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Melakukan validasi pengukuran dosis simulasi dengan acuan data *Integral Depth Dose* penelitian (Shu dkk., 2019).
2. Mendapatkan tiga konfigurasi arah penyinaran proton untuk memberikan dosis radiasi optimal pada prostat fantom ICRP 145.
3. Menghitung dosis *organ at risk* fantom ICRP 145 dari tiga orientasi arah penyinaran proton menuju prostat.

1.3 Manfaat Penelitian

Sebaran dosis organ dari bermacam orientasi arah penyinaran proton yang disimulasikan digunakan untuk menilai resiko dan efektivitas paparan. Orientasi arah penyinaran yang optimal dapat diasimilasikan pada peralatan terapi proton untuk mendukung penerapan arah penyinaran tersebut. Posisi dan arah *nozzle* sumber proton, dan orientasi pasien ditentukan dari simulasi yang optimal.