

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker menjadi penyebab utama kematian di negara-negara maju dan penyebab kedua kematian di negara-negara berkembang (*Global Cancer Statistics, 2022*). Berdasarkan data WHO tahun 2022, jenis kanker yang paling mematikan di Indonesia adalah kanker paru-paru dengan persentase potensi kematian sebesar 88,27%. Jumlah kasus kanker paru-paru di Indonesia mencapai 38.904 kasus, dengan angka kematian sebanyak 34.339 jiwa (*World Health Organization, 2022*). Tingginya angka kematian akibat kanker paru-paru disebabkan oleh keterbatasan akses terhadap pengobatan yang efektif (Nichols et al., 2012). Kondisi ini menunjukkan perlunya perbaikan strategi penanganan yang dapat diakses dan memberikan hasil klinis yang optimal (Botta et al., 2019). Untuk menjawab tantangan ini, dibutuhkan kontribusi fisika medis dalam merancang dan mengoptimalkan terapi radiasi sebagai modalitas utama pengobatan kanker paru-paru (Khan, 2010).

Pengobatan kanker bisa dilakukan dengan radioterapi sinar-X. Radioterapi sinar-X efektif untuk mengobati kanker paru-paru stadium I karena dapat memusatkan dosis radiasi tinggi secara tepat ke area tumor, sehingga meningkatkan peluang kesembuhan dan meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitarnya. Salah satu jenis alat radioterapi yang digunakan untuk menghasilkan sinar-X berenergi tinggi adalah *Linear Accelerator (Linac)*, yaitu perangkat yang mampu memproduksi sinar-X atau elektron yang diarahkan langsung ke tumor untuk menghancurkan sel-sel kanker secara efisien (Kubo et al., 2016). Saat ini sudah terdapat 49 rumah sakit di Indonesia yang memiliki fasilitas *Linac* untuk menunjang terapi sinar-X (Perhimpunan Onkologi Radiasi Indonesia, 2022). Penyebab kurang optimalnya terapi kanker di Indonesia adalah keterlambatan diagnosis akibat rendahnya kesadaran masyarakat

terhadap deteksi dini. Hal ini menjadi masalah karena menyebabkan banyak pasien datang dalam kondisi stadium lanjut, sehingga peluang keberhasilan terapi menurun, biaya pengobatan meningkat, dan angka kematian tetap tinggi (Icanervilia et al., 2021). Tingginya jumlah kasus kanker paru-paru menunjukkan pentingnya mengoptimalkan metode terapi, termasuk perencanaan jumlah lapangan penyinaran, agar radiasi lebih tepat mengenai tumor, meningkatkan efektivitas pengobatan, dan mengurangi dampak pada jaringan sehat (Mcgowan et al., 2013).

Penggunaan terapi sinar-X memerlukan perencanaan dosis radiasi yang akan diberikan kepada pasien. Perhitungan dosis ini bisa dilakukan dengan menggunakan beberapa *software* seperti MCNP (Monte Carlo *N-Particle Transport Code*), PHITS (*Particle and Heavy Ion Transport System*), dan Geant4. Untuk mencapai distribusi dosis yang lebih akurat dan efisien, digunakan metode simulasi Monte Carlo dengan program PHITS sebagai alat pemodelan. PHITS dipilih karena memiliki kemampuan tinggi dalam melakukan simulasi interaksi partikel secara detail dan akurat, serta mendukung berbagai jenis radiasi dan geometri kompleks yang dibutuhkan dalam perencanaan terapi kanker (Carter et al., 2019). Perencanaan radioterapi kanker menggunakan *software* seperti PHITS dapat digunakan untuk menganalisis berbagai parameter fisik yang berperan penting, seperti jumlah lapangan penyinaran, jarak penyinaran, dan dosis radiasi (D. Krstić, 2023).

Penggunaan jumlah lapangan penyinaran yang optimal memiliki dampak langsung terhadap tingkat presisi distribusi dosis antara sel kanker dan jaringan sehat. Variasi dalam jumlah lapangan dapat menghasilkan distribusi dosis yang berbeda, sehingga memengaruhi efektivitas dan keamanan terapi. Oleh karena itu, menentukan konfigurasi lapangan penyinaran yang optimal menjadi langkah penting dalam meningkatkan kualitas terapi.

Penelitian yang dilakukan oleh Li et al. pada tahun 2020 telah mengeksplorasi efek 7 dan 11 lapangan penyinaran terhadap distribusi

dosis pada *phantom* yang memiliki kanker paru-paru stadium I. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan menambahkan analisis menggunakan 9 lapangan penyinaran. Dengan variasi baru ini, diharapkan dapat ditemukan pilihan yang lebih efisien dalam waktu perawatan sekaligus meningkatkan presisi dosis yang terfokus pada sel kanker tanpa merusak jaringan sehat di sekitarnya. Sampai saat ini belum ditemukan pendekatan serupa yang memanfaatkan simulasi Monte Carlo dengan PHITS secara spesifik untuk kasus kanker paru-paru di Indonesia.

Menurut Pedoman Nasional Pelayanan Kedokteran Kanker Paru-Paru yang diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan Indonesia, rumah sakit di Indonesia saat ini menggunakan standar 12 lapangan penyinaran untuk pasien kanker paru-paru stadium I (Gondhowiardjo et al., 2017). Namun, standar ini belum mempertimbangkan variasi lain yang mungkin lebih efektif. Penelitian ini berupaya membandingkan variasi jumlah lapangan untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi distribusi dosis radiasi. Temuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi pengembangan standar radioterapi di Indonesia, mendukung terapi kanker yang lebih baik, dan meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan secara keseluruhan.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti memandang pentingnya topik ini sehingga mendorong dilaksanakannya penelitian dengan judul “Optimasi Lapangan Penyinaran Radiasi pada Terapi Sinar-X untuk Kanker Paru-Paru Menggunakan Program PHITS Versi 3.33 Guna Menunjang Terapi Kanker di Rumah Sakit”. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi penting dalam memajukan keefektifan perawatan kanker dan meningkatkan presisi serta keamanan radioterapi pada tingkat individual.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan penelitian dapat dirumuskan dalam pertanyaan penelitian sebagai berikut:

- a. Bagaimana variasi jumlah lapangan penyinaran menentukan

konfigurasi optimal dosis pada *organ-at-risk* (OAR) kanker paru-paru stadium I berdasarkan simulasi PHITS?

- b. Berapa jumlah fraksinasi dan waktu iradiasi yang diperlukan dalam penerapan jumlah lapangan yang optimal?
- c. Bagaimana penerapan jumlah lapangan penyinaran yang optimal dapat membantu meningkatkan efektivitas dan efisiensi radioterapi kanker paru-paru stadium I di rumah sakit?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian menunjukkan sasaran yang harus dicapai sesuai dengan rumusan masalah yang ditetapkan. Tujuan penelitian yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengevaluasi pengaruh variasi jumlah lapangan penyinaran terhadap distribusi dosis pada *organ-at-risk* (OAR) guna menentukan konfigurasi penyinaran yang paling optimal pada kasus kanker paru-paru stadium I, berdasarkan hasil simulasi dengan program PHITS.
- b. Menentukan jumlah fraksinasi dan waktu iradiasi yang diperlukan dalam penerapan jumlah lapangan yang optimal.
- c. Menganalisis kontribusi penerapan jumlah lapangan penyinaran yang optimal dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi terapi kanker paru-paru stadium I di rumah sakit.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang menjadi fokus kajian penelitian ini dan tujuan yang ingin dicapai, maka diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan kontribusi khusus pada fisika nuklir dengan menerapkan prinsip interaksi radiasi sinar-X dengan materi untuk mengoptimalkan distribusi dosis dalam radioterapi kanker paru-paru. Dengan menggunakan simulasi Monte Carlo melalui perangkat lunak

PHITS, penelitian ini memperluas pemahaman tentang penyerapan energi radiasi pada jaringan biologis, khususnya dalam menentukan jumlah lapangan penyinaran yang efektif.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini memberikan manfaat praktis dalam mendukung perencanaan terapi radiasi bagi pasien kanker paru-paru, khususnya di fasilitas kesehatan yang memiliki keterbatasan waktu dan sumber daya. Hasil penelitian ini menyajikan data komparatif awal mengenai jumlah lapangan optimal, yang berpotensi mengurangi durasi penyinaran tanpa mengorbankan kualitas terapi. Selain itu, temuan ini dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan perencanaan radioterapi berbasis simulasi sebelum diterapkan pada tahap klinis.

