

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kanker paru merupakan salah satu jenis keganasan dengan angka kejadian dan tingkat kematian tertinggi di dunia. Data *Global Cancer Statistics* (GLOBOCAN) tahun 2020 serta laporan *World Health Organization* tahun 2024 menunjukkan bahwa kanker paru menempati urutan kedua sebagai kanker yang paling sering terjadi di dunia dengan sekitar 2,21 juta kasus baru. Selain itu, kanker paru juga menjadi penyebab utama kematian akibat kanker secara global dengan sekitar 1,79 juta kematian setiap tahunnya (Li et al., 2023; Sung et al., 2021). Di Indonesia, kanker paru juga menjadi permasalahan kesehatan yang signifikan dengan kecenderungan peningkatan kasus dari tahun ke tahun.

Penanganan kanker paru memerlukan pendekatan multidisiplin yang melibatkan pembedahan, kemoterapi, imunoterapi, dan radioterapi. Radioterapi memiliki peran penting dalam tata laksana kanker paru, baik sebagai modalitas tunggal maupun kombinasi dengan modalitas lain. Radioterapi dapat diberikan dengan tujuan kuratif pada stadium dini yang tidak dapat dioperasi, atau sebagai terapi paliatif untuk mengurangi gejala pada stadium lanjut, maupun sebagai bagian dari pendekatan kemoradioterapi definitif pada stadium III (Riely et al., 2024).

Seiring dengan perkembangan teknologi, teknik radioterapi modern terus mengalami kemajuan yang signifikan. Salah satu teknik yang banyak digunakan saat ini adalah *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT), yang merupakan pengembangan dari *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT). Teknik VMAT bekerja dengan memanfaatkan pergerakan gantri secara kontinu dalam satu atau beberapa lintasan busur, di mana dosis radiasi dimodulasi secara simultan melalui perubahan laju dosis, kecepatan gantri, serta posisi daun *Multi-Leaf Collimator* (MLC). Mekanisme ini memungkinkan tercapainya distribusi dosis yang sangat konformal terhadap target tumor, sehingga jaringan sehat di sekitarnya dapat lebih terlindungi, sekaligus memberikan efisiensi waktu penyinaran yang lebih baik dibandingkan teknik IMRT konvensional (Otto, 2008; Teoh et al., 2011).

RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo Purwokerto sebagai rumah sakit tipe B pendidikan milik Pemerintah Provinsi Jawa Tengah telah dilengkapi dengan fasilitas radioterapi modern berupa *linier accelerator* (linac) Elekta Versa HD. Perangkat ini merupakan linac generasi terbaru yang dilengkapi dengan teknologi Agility™ MLC serta HD120™ MLC yang memiliki 160 daun dengan lebar 5 mm pada isocenter. Teknologi tersebut memungkinkan pelaksanaan penyinaran dengan teknik VMAT, baik menggunakan *Dynamic Conformal Arc* (DCA) maupun *Intensity Modulated Arc Therapy* (IMAT). Selain itu, linac Versa HD juga dilengkapi dengan sistem pencitraan XVI (*X-ray Volume Imaging*) yang mendukung pelaksanaan *Image-Guided Radiation Therapy* (IGRT), serta mampu menghasilkan radiasi foton dan elektron berenergi tinggi (Paulsen et al., 2013; Rønn et al., 2016).

Dalam proses perencanaan penyinaran radioterapi, RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo menggunakan *Treatment Planning System* (TPS) Monaco versi 5.40 yang dikembangkan oleh Elekta. TPS Monaco menggunakan algoritma *Monte Carlo* sebagai metode utama dalam perhitungan distribusi dosis. Algoritma ini bekerja dengan melakukan simulasi transport foton dan elektron secara statistik menggunakan jumlah partikel yang sangat besar, sehingga mampu menghasilkan perhitungan dosis dengan tingkat akurasi yang tinggi, khususnya pada jaringan yang bersifat tidak homogen seperti paru-paru. Keunggulan ini menjadikan Monaco lebih akurat dibandingkan beberapa algoritma analitik konvensional seperti *Pencil Beam* atau *Collapsed Cone* dalam perencanaan radioterapi kanker paru (Burmeister et al., 2002; Reynaert et al., 2007).

Kualitas rencana penyinaran atau *treatment plan* merupakan faktor yang sangat penting dalam keberhasilan terapi radiasi. Suatu rencana penyinaran yang optimal harus mampu memberikan dosis radiasi yang cukup dan merata pada seluruh volume target untuk memastikan eliminasi sel tumor secara efektif, sekaligus meminimalkan paparan radiasi pada organ sehat di sekitarnya atau *organ at risk* (OAR) guna mencegah efek samping radiasi. Evaluasi terhadap kualitas rencana penyinaran umumnya dilakukan melalui analisis *Dose Volume Histogram* (DVH) dengan menggunakan berbagai parameter dosis dan indeks statistik (Sumner et al., 2017).

International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) melalui laporan ICRU Report 83 memberikan pedoman mengenai peresepan, pencatatan, dan pelaporan dosis pada radioterapi dengan teknik IMRT maupun VMAT. Dalam laporan tersebut direkomendasikan penggunaan parameter dosis berbasis volume, yaitu $D_x\%$, yang menggambarkan dosis yang diterima oleh sejumlah persentase tertentu dari volume target. Parameter yang umum digunakan meliputi $D_{98\%}$ sebagai *near minimum dose*, $D_{50\%}$ sebagai *median dose*, $D_2\%$ sebagai *near maximum dose*, serta D_{mean} sebagai dosis rata-rata pada volume target (Vol, 2010).

Selain parameter dosis yang direkomendasikan oleh ICRU 83, penilaian kualitas rencana penyinaran juga dilakukan menggunakan beberapa indeks kuantitatif, di antaranya *Homogeneity Index (HI)* dan *Conformity Index (CI)*. *Homogeneity Index* digunakan untuk menilai tingkat keseragaman distribusi dosis di dalam *Planning Target Volume (PTV)*, sedangkan *Conformity Index* digunakan untuk mengukur tingkat kesesuaian antara volume dosis preskripsi dengan volume target yang direncanakan. Kombinasi parameter-parameter tersebut memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kualitas suatu rencana penyinaran (Euvret et al., 2006; Mrozowska & Kukołowicz, 2015).

Evaluasi kualitas rencana penyinaran VMAT secara berkala dan sistematis merupakan bagian penting dari program *quality assurance (QA)* dalam pelayanan radioterapi. Namun demikian, hingga saat ini belum tersedia data evaluasi yang komprehensif mengenai kualitas rencana penyinaran VMAT pada kasus kanker paru berdasarkan parameter ICRU 83 yang dihasilkan dari penggunaan TPS Monaco dan linac Elekta Versa HD di RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo Purwokerto. Mengingat adanya karakteristik khusus pada algoritma *Monte Carlo* dalam TPS Monaco serta spesifikasi teknis dari linac Versa HD, maka evaluasi terhadap sistem ini menjadi penting untuk dilakukan (Paulsen et al., 2013).

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi kualitas rencana penyinaran VMAT pada kanker paru berdasarkan parameter dosis target (D98%, D2%, D50%) sesuai rekomendasi ICRU 83 di RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo Purwokerto.
2. Menganalisis nilai *Conformity Index* (CI) dan *Homogeneity Index* (HI) rencana penyinaran VMAT pada kanker paru di RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo Purwokerto.
3. Mengkaji dosis yang diterima *organ at risk* (OAR) pada rencana penyinaran VMAT kanker paru dibandingkan dengan batasan dosis yang direkomendasikan.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

- 1) Menambah pengetahuan dan wawasan dalam bidang fisika medis, khususnya mengenai evaluasi kualitas treatment planning radioterapi teknik VMAT menggunakan TPS Monaco pada linac Versa HD untuk kanker paru berdasarkan parameter ICRU 83.
- 2) Memberikan data evaluasi kualitas rencana penyinaran VMAT kanker paru menggunakan kombinasi Monaco-Versa HD yang dapat digunakan sebagai acuan dalam program QA dan peningkatan layanan radioterapi di RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo Purwokerto.
- 3) Memberikan gambaran tentang kualitas rencana penyinaran yang dihasilkan TPS Monaco dan menjadi dasar untuk peningkatan kompetensi fisikawan medik dalam treatment planning pada sistem Elekta.