BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radioterapi adalah terapi menggunakan radiasi untuk membunuh tumor ganas (kanker) dengan menggunakan radiasi pengion seperti foton, elektron, proton, neutron, maupun ion berat. Penggunaan radiasi untuk terapi kanker secara fisis merupakan proses transfer energi akibat adanya interaksi radiasi dengan materi yang terkuantifikasi menjadi dosis serap. Tujuan utama dari radioterapi adalah memberikan dosis semaksimal mungkin pada tumor dan meminimalkan kerusakan pada jaringan normal disekitarnya terutama pada *organ at risk* (OAR). Untuk mencapai tujuan tersebut maka setiap instalasi radioterapi memiliki *treatment planning system* (TPS) yang berfungsi untuk merencanakan mekanisme pemberian dosis radiasi konformal pada pasien (Khan, 2014).

Untuk mendapatkan efektivitas klinis radioterapi dalam pelaksanaanya dilakukan dengan tidak memberikan dosis secara langsung melainkan bertahap, proses ini disebut fraksinasi. Fraksinasi adalah sebuah metode dalam radioterapi di mana total dosis radiasi yang direncanakan tidak diberikan sekaligus, melainkan dipecah menjadi beberapa sesi atau fraksi dengan dosis yang lebih kecil. Perawatan ini diberikan dalam beberapa sesi yang terpisah selama beberapa minggu. Proses ini merupakan inti dari efektivitas klinis radioterapi sinar eksternal (EBRT) (Nahum & Hill, 2018). Fraksinasi pada dasarnya adalah tindakan membagi total dosis menjadi sejumlah fraksi kecil. Tujuan utama dilakukannya fraksinasi adalah untuk memberikan waktu bagi jaringan sehat disekitar tumor untuk pulih selama sesi perawatan. Hal ini bisa terjadi karena sel-sel sehat memiliki kemampuan perbaikan kerusakan yang lebih baik dibandingkan sel-sel tumor (Saberian et al., 2016). Pada kasus tertentu akan muncul efek *skin sparing* biasanya terjadi pada saat berkas elektron atau foton belum mampu memberikan dosis dipermukaan. Untuk menghindari efek tersebut dibutuhkan material yang dapat meningkatkan dosis radiasi di permukaan, material tersebut adalah bolus (Jaya et al., 2020).

Bolus merupakan material yang digunakan untuk kasus tumor atau kanker yang letaknya di area permukaan kulit dengan maksud memberikan peningkatan dosis di permukaan. Posisi dan berat bolus dapat merubah bentuk kontur pasien yang harus dipertimbangkan saat perencanaan radioterapi. Penggunaan bolus harus dipertimbangkan pada saat pemosisian pasien agar ketidak pastian yang tidak diinginkan dalam dosimetri tidak terjadi (Richmond, 2017). Selain untuk meningkatkan dosis dipermukaan, penggunaan bolus dalam radioterapi memiliki tujuan, yaitu: (1) Mengurangi dampak kerusakan untuk jaringan sehat akibat dari hamburan radiasi, (2) mengurangi daya tembus ke jaringan sehat di sekitar area kanker kulit, dan (3) untuk mendapatkan distribusi dosis yang seragam pada permukaan (Ahmad Lothfy et al., 2015; Günhan et al., 2003; Park & Yea, 2016). Umumnya bahan bolus terbuat dari lilin (*paraffin wax*), *playdough, red plastisin, natural ruber*, komposit silika, tembaga, *besswax, petrileum jelly, alginate, dan silicone ruber* (Fajriani et al., 2024).

Saat ini, plastisin merupakan salah satu bahan bolus yang paling umum digunakan diberbagai fasilitas radioterapi. Namun, karakteristik plastisin yang sangat lentur membuatnya tidak mampu kembali ke bentuk semula setelah mengalami tekanan. Kondisi ini dapat berdampak pada ketidakstabilan bentuk dan berpotensi menurunkan konsistensi penyerapan dosis selama proses terapi, dari awal hingga akhir fraksi(Leony et al., 2022). Selain itu, densitas fisis bolus plastisin juga dilaporkan berada di atas densitas jaringan kulit. Di sisi lain, bolus berbahan *Silicone rubber* muncul sebagai alternatif yang menjanjikan. Material ini memiliki koefisien atenuasi yang menyerupai jaringan tubuh manusia, dengan nilai *Relative Electron Density* (RED) yang konsisten mendekati air, atau berada di antara jaringan lunak dan padat. Keunggulan lain dari *silicone rubber* adalah sifatnya yang lebih fleksibel, memiliki elastisitas tinggi, dan cenderung mempertahankan bentuknya lebih baik dibandingkan plastisin, serta memiliki susunan bahan yang homogen (Sutanto et al., 2019).

Meskipun *silicone rubber* menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan plastisin, penelitian terus berlanjut untuk mengembangkan material bolus yang tidak hanya stabil secara fisik tetapi juga memiliki karakteristik atenuasi radiasi

yang dapat dioptimalkan. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah dengan menggabungkan polimer fleksibel dengan material bernomor atom tinggi (*high-Z*) untuk menciptakan bolus komposit. Tungsten merupakan material yang sangat potensial untuk tujuan ini karena memiliki densitas yang lebih tinggi daripada timbal, koefisien atenuasi yang besar, dan tidak beracun, sehingga menjadi alternatif yang lebih aman dan efektif sebagai material perisai radiasi. Studi oleh (Yoon et al., 2022) menunjukkan bahwa filamen berbasis tungsten yang digunakan dalam teknologi cetak 3D mampu memberikan performa perisai radiasi yang superior dibandingkan material pelindung konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini akan menginvestigasi penggunaan komposit *Silicone rubber* dengan penambahan serbuk tungsten sebanyak 6% sebagai bahan bolus inovatif. Penambahan tungsten dalam konsentrasi terkendali diharapkan dapat meningkatkan nilai HU bolus tanpa mengorbankan fleksibilitasnya, yang krusial untuk penyesuaian kontur tubuh pasien.

Pada bolus terdapat nilai *Hounsfield Unit* (HU) yang berasal dari pemindaian computed tomography (CT) yang sudah ada sebagai alat diagnostik yang menjanjikan. Kepadatan jaringan diindikas dari pemindaian CT, setiap piksel diwakili oleh nilai HU (Hiyama et al., 2024). Nilai HU merupakan satuan dalam perhituangan CT number yang selalu ada pada pesawat CT-Scan. HU adalah satuan nilai dalam pelemahan sinar-x setelah melewati objek, menggambarkan perbedaan suatu organ. Oleh karena itu ketepatan dalam penentuan nilai HU harus selalu diperhatikan agar tidak memberikan hasil yang salah dalam melakukan perencanaan radioterapi (Roo'in Mas'uul & Sutanto, 2014). Peda saat melakukan TPS nilai HU sangan penting untuk menghitung distribusi dosis radiasi yang akan diberikan ke pasien, khususnya dalam memperhitungkan heterogenitas jaringan. Perubahan nilai HU dapat berdampak signifikan pada akurasi perhitungan dosis radioterapi oleh TPS. Variasi nlai HU, bahkan yang realtif kecil, dapat memengaruhi kurva kalibrasi HU-RED, yang menjadi dasar perhitungan dosis. Akurasi dosiss yang dihitung sangat bergantung pada data CT dan kalibrasi HU ke RED. Jika nilai HU berubah, maka kurva kalibrasi HU ikut berubah, sehingga dosis yang dihitung pada saat TPS bisa menjadi tidak akurat (Mahur et al., 2017)

Penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada efektivitas dosimetri berbagai bahan bolus, namun studi yang secara spesifik membandingkan stabilitas nilai HU antara bolus konvensional (plastisin), bolus polimer murni (*Silicone rubber*), dan bolus komposit (*Silicone rubber*-tungsten) selama proses fraksinasi radioterapi masih sangat terbatas. Perubahan nilai HU, sekecil apapun, dapat berdampak signifikan pada akurasi perhitungan dosis oleh TPS. Seperti Penelitian yang dilakukan oleh Fitriani, 2022 membahas tentang efektivitas penggunaan bolus berbahan plastisin dengan ketebalan 0,2 cm dan 0,5 cm pada energi elektron 15 MeV. Penelitian lain juga dilakukan (Jannah, 2021) membahas tentang evaluasi surface dise pada kasus kanker postmastectomy dengan teknik 3D-CRT menggunakan Energi Foton 6 MV dengan menggunakan bolus dan tanpa bolus. Ada juga penelitian dari (Sekartaji et al., 20201) yang membahas menenai karakteristik dosimetri bebrapa bahan bolus untuk terapi radiasi menggunakan berkas foton 6 MV dan 10 MV. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji karakteristik dosimetri beragam bahan bolus, seperti plastisin dan *silicone rubber*, namun kajian yang secara spesifik menilai stabilitas longitudinal nilai HU bolus selama fraksinasi dan dampaknya terhadap akurasi perhitungan dosis pada TPS masih sangat terbatas. Padahal, perubahan nilai HU, bahkan dalam rentang puluhan satuan, berpotensi memodifikasi kurva kalibrasi HU-RED yang digunakan TPS dan menimbulkan deviasi dosis pada volume target maupun organ sehat di sekitarnya. Sejumlah kajian melaporkan bahwa deviasi HU sekitar ±20 HU untuk jaringan lunak umumnya hanya menghasilkan perubahan dosis <1-2%, sehingga kisaran tersebut sering dijadikan acuan toleransi klinis dalam kalibrasi HU-RED. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang tidak hanya membandingkan stabilitas nilai HU antara bolus plastisin, *silicone rubber*, dan komposit *silicone rubber*-W selama 25 fraksinasi, tetapi juga mengevaluasi apakah perubahan yang terjadi masih berada dalam batas toleransi klinis distribusi dosis TPS.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Optimasi elastisitas bolus berdasarkan *tensile strenght* dan *elongation at break* dari ketiga bahan bolus.

2. Memperoleh CT-Number berdasarkan nilai HU bolus sebelum, selama fraksinasi, dan sesudah fraksinasi, setiap fraksi ke 5, 10, 15, 20, 25.
3. Mengevaluasi besarnya perubahan CT-Number berdasarkan nilai HU ketiga jenis bolus selama 25 fraksinasi dan menilai apakah perubahan tersebut masih berada dalam batas toleransi klinis distribusi dosis pada sistem TPS.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat teoritis penelitian ini adalah menambah wawasan mengenai stabilitas CT-Number material bolus selama proses radioterapi, sedangkan untuk manfaat praktis dari penelitian ini adalah memberikan pemahaman kepada rumah sakit mengenai bahan mana yang lebih baik digunakan sebagai bolus pada saat penyinaran radioterapi.