

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker merupakan salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia sebesar 18,1 juta kasus baru dan 9,6 juta kematian. Berdasarkan WHO pada tahun 2018 kanker adalah kumpulan berbagai jenis penyakit yang dapat muncul di hampir semua organ atau jaringan tubuh. Penyakit ini terjadi ketika sel-sel abnormal berkembang tidak terkontrol, melewati batas pertumbuhan normal, dan menyerang jaringan di sekitarnya bahkan ke organ lain. Kanker merupakan penyebab utama kematian pertama atau kedua sebelum usia 70 tahun di 112 dari 183 negara (Sung *et al.*, 2021). Angka kejadian kanker di Indonesia (136,2 per 100.000 penduduk) menempati urutan ke-8 di Asia Tenggara, dan ke-23 di Asia. Melihat tingginya angka tersebut, Kementerian Kesehatan melakukan upaya pencegahan yang sejalan dengan penanganan penderita kanker di Indonesia, yaitu dengan mengoptimalkan fasilitas kesehatan, deteksi dini bagi yang belum terdiagnosis kanker, serta pemberian radioterapi bagi penderita kanker sebagai langkah pengendalian (Sianturi *et al.*, 2019).

Diantara berbagai jenis kanker, tumor pelvis superfisial merupakan kasus yang memiliki tantangan khusus dalam penanganan radioterapi karena lokasinya berada dekat permukaan jaringan tetapi berada pada area pelvis yang memiliki kontur kompleks dan struktur kritis di sekitarnya. Tumor ini mencakup lesi superfisial pada vagina, vulva, perineum, daerah inguinal, serta metastasis kulit di area pelvis, yang memerlukan teknik iradiasi presisi tinggi agar dosis optimal dapat dicapai pada permukaan tanpa meningkatkan risiko toksisitas jaringan dalam (Wang *et al.*, 2022 ; Anghel *et al.*, 2024). Kondisi ini menyebabkan kebutuhan terhadap bolus sebagai material setara jaringan menjadi penting, terutama untuk memastikan bahwa dosis permukaan cukup tinggi untuk mengobati lesi superfisial secara efektif.

Pengobatan kanker umumnya dilakukan melalui pembedahan, kemoterapi, atau radioterapi. Radioterapi merupakan metode yang menggunakan radiasi pengion untuk membunuh sel kanker (Fathin *et al.*, 2021). Salah satu alat yang digunakan adalah Linear Accelerator (LINAC), yang menghasilkan berkas foton dan elektron berenergi tinggi. LINAC dapat digunakan untuk mengobati berbagai jenis kanker, baik yang berada di dalam tubuh maupun di permukaan kulit. Namun, dosis radiasi dari LINAC pada permukaan kulit sering kali tidak maksimal, karena sebagian besar radiasi terserap lebih dalam, bahkan ke jaringan sehat, yang berisiko menimbulkan kanker baru (Sianturi *et al.*, 2024). Pada energi tinggi (>6 MV), efek *build-up* menyebabkan dosis maksimum berada beberapa milimeter di bawah permukaan. Oleh karena itu, dalam terapi kanker superfisial, diperlukan teknik tambahan agar dosis maksimum tercapai pada jaringan target dengan meminimalkan kerusakan jaringan sehat. Salah satu teknik yang umum digunakan adalah penambahan bolus (Sianturi *et al.*, 2019).

Bolus adalah bahan yang setara atau menyerupai jaringan tubuh manusia yang diletakkan langsung pada kulit untuk meratakan permukaan yang tidak beraturan sehingga diperoleh keseragaman dosis permukaan, dan juga untuk mengurangi dampak radiasi pada jaringan yang sehat (Sutanto *et al.*, 2019). Bolus yang sering digunakan memiliki ketebalan antara 0,5–1,5 cm, karena pada ketebalan tersebut tidak terlalu mengubah bentuk kurva isodosis kedalaman (Fathin *et al.*, 2021). Pemilihan bahan yang digunakan dalam pembuatan bolus didasarkan pada karakteristiknya, seperti mudah dibuat (produksi), elastis, tidak mengandung racun, tidak lengket saat digunakan dan memiliki daya tahan yang baik (Hariyanto *et al.*, 2019). Bahan yang digunakan sebagai penyusun bolus harus memperhatikan aspek kelenturan, material harus stabil pada suhu 4°C sampai 52°C, tidak berbau, tidak lengket, dan tidak bersifat toksik untuk kulit (Podgorsak, 2006). Beberapa bahan yang telah digunakan dalam sintesis bolus, antara lain *natural rubber*, *superflab*, *polimer gel*, HAPRC (*Highly Absorbent Polypropylene and Rayon Cloth*), *plasticine*, *material thermoplastic*, dan *silicone rubber* (Leony *et al.*, 2022 ; Sutanto *et al.*, 2019 ; Astuti *et al.*, 2018). Namun, material tersebut memiliki beberapa kekurangan, seperti *natural rubber* menghasilkan bolus dengan

permukaan yang tidak merata (Sutanto *et al.*, 2019), *superflab* memiliki pembiasan yang kurang tepat saat diaplikasikan pada kulit pasien, HAPRC hanya bisa sekali pakai (Astuti *et al.*, 2018), *plasticine* menghasilkan banyak gelembung udara (Leony *et al.*, 2022), dan *material thermoplastic* akan menjadi kaku dan mengeras ketika mengering (Astuti *et al.*, 2018). *Silicon rubber* merupakan salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan dalam pembuatan bolus.

Silicon rubber (SR) digunakan sebagai material alternatif karena mudah ditemukan di Indonesia dan memiliki beberapa keunggulan, seperti mampu membentuk bagian tubuh pasien secara akurat, tidak beracun, tidak menyebabkan iritasi pada kulit, serta dapat meningkatkan dosis permukaan kulit (Fathin *et al.*, 2021 ; Jaya *et al.*, 2020). Namun, penggunaan SR sebagai bahan dasar sintesis bolus menghadapi tantangan seperti pada penelitian (Sutanto *et al.*, 2019) telah dilakukan sintesis bolus berbahan dasar SR dengan ketebalan 1 cm dan menghasilkan *Percentage Surface Dose* (PSD) lebih dari 100% pada energi 8 MeV dan 10 MeV sebesar 102,32% dan 101,32%, serta pada penelitian (Chen *et al.*, 2024) lebih dari 101%. Untuk menurunkan presentase dosis permukaan tersebut dapat dilakukan dengan penambahan material komposit lain untuk meningkatkan densitas agar dosis radiasi yang dihasilkan bisa lebih optimum dalam pengobatan kanker.

Penambahan logam berat bernomor atom tinggi (high-Z) pada bolus silikon rubber (SR) diketahui dapat meningkatkan dosis permukaan secara signifikan serta membantu mengurangi terbentuknya rongga udara pada area perawatan (Das *et al.*, 2025). Material SR sendiri memiliki densitas dan bilangan atom efektif yang relatif rendah ($Z \approx 14$), sehingga interaksinya terhadap radiasi masih terbatas. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi penyerapan dosis dapat dilakukan dengan menambahkan filler logam high-Z yang mampu meningkatkan *relative electron density* (RED) dan memperkuat hamburan elektron sekunder (Chen *et al.*, 2024). Beberapa logam seperti bismuth (Bi), silika (Si), timbal (Pb), dan tembaga (Cu) telah diuji sebagai tambahan dalam material bolus, namun penggunaannya sering menurunkan kesetaraan jaringan atau menimbulkan masalah stabilitas kimia (Astuti *et al.*, 2018; Fathin *et al.*, 2021; Endarko, 2021; Hidayatullah *et al.*, 2023).

Penelitian ini berfokus pada pengembangan komposit *silicon rubber*–perak (SR–Ag), di mana SR dipilih karena sifatnya yang elastis, tahan lama, dan mudah dicetak mengikuti kontur anatomi pasien (Sutanto *et al.*, 2019), sementara perak (Ag) dipilih sebagai filler karena memiliki nomor atom tinggi, stabil secara kimia, serta memiliki sifat antimikroba yang menguntungkan (Marx dan Barillo, 2014). Studi sebelumnya oleh (Restuccia dan Torrisi, 2018) menunjukkan bahwa nanopartikel Ag dapat meningkatkan serapan radiasi dan fungsi sebagai *enhancer* dalam berbagai jenis radioterapi. Namun, pemanfaatan Ag sebagai pengisi logam dalam bolus radioterapi, khususnya dalam kombinasi dengan SR, masih jarang diteliti sehingga penelitian ini memiliki kontribusi baru dalam pengembangan material bolus dengan efektivitas tinggi. Adanya inovasi pembuatan bolus berbasis *Silicon Rubber*-Perak (SR-Ag), diharapkan dapat meningkatkan efektivitas terapi radiasi dengan distribusi dosis yang lebih optimal pada jaringan target. Pengujian pada *solid water phantom* akan memberikan gambaran awal tentang efektivitas material ini sebelum diaplikasikan lebih lanjut dalam aplikasi klinis. Oleh karena itu, penelitian ini berperan penting dalam pengembangan material radioterapi yang lebih inovatif dan berdaya guna dalam bidang medis.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mensintesis bolus berbasis komposit *Silicon Rubber*-Perak (SR-Ag) dengan variasi konsentrasi partikel perak (Ag) 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 wt% dalam matriks *silicon rubber* (SR).
2. Menganalisis karakteristik fisik dan mekanik bolus SR-Ag, termasuk densitas bahan, homogenitas, morfologi, dan densitas relatif terhadap jaringan tubuh.
3. Menganalisis kemampuan bolus SR-Ag dalam meningkatkan dosis serap permukaan pada simulasi radioterapi menggunakan *solid water phantom*.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan inovasi baru material bolus yang bersifat elastis, homogen, dan memiliki densitas elektron mendekati jaringan tubuh sehingga meningkatkan akurasi distribusi dosis pada terapi kanker *superficial*, seperti tumor pelvis *superficial*.
2. Mengurangi risiko pembentukan rongga udara (air gap) karena bolus dapat menyesuaikan kontur kulit dengan lebih baik, sehingga distribusi dosis permukaan menjadi lebih merata.
3. Memberikan data karakteristik fisik dan evaluasi dosimetri bolus SR-Ag (densitas bahan, densitas elektron, serta uji dosimetri) sebagai dasar penilaian kelayakan material dan referensi pengembangan bolus pada radioterapi superfisial.