

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Radioterapi merupakan salah satu modalitas pengobatan pasien kanker yang memanfaatkan radiasi pengion (Sinar-X). Prinsip utama radioterapi yaitu meminimalkan dampak negatif pada jaringan sehat dan memaksimalkan dosis radiasi pada sel kanker^[1]. *Linear Accelerator* (Linac) dikembangkan menjadi sumber radiasi yang paling banyak digunakan dalam radioterapi modern. Linac merupakan jenis radiasi eksternal dan memiliki dua jenis berkas radiasi, yaitu foton dan elektron^[2].

Untuk menghasilkan pengobatan yang berkualitas, berkas radiasi Linac, termasuk profil berkasnya, baik *flatness* maupun *symmetry*-nya harus dijaga dalam kondisi bagus, sesuai dengan yang ditetapkan oleh lembaga internasional seperti IAEA atau AAPM. Berkas radiasi Linac termasuk jenis radiasi pengion, dimana elektron yang keluar dari *electron gun* kemudian dipercepat dengan menggunakan sumber *Radio Frequency* (RF) dan dipercepat hingga mencapai energi akhir yang diperlukan^[3]. Linac memiliki keunggulan dalam menghasilkan berkas foton karena memiliki spektrum energi luas yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan klinis. Keunggulan ini memungkinkan berkas foton dapat menembus jaringan kanker pada kedalaman tertentu. Selain itu, Linac juga dapat menghasilkan distribusi energi yang seragam, serta menciptakan tepi penumbra yang lebih tajam pada berkas^[4].

Berkas elektron dalam radioterapi sering digunakan untuk mengobati tumor pada permukaan dan mengurangi terjadinya kerusakan pada jaringan yang posisinya lebih dalam. Keunggulan pertama dari berkas elektron adalah kemampuannya dalam memberikan dosis radiasi yang seragam dari permukaan tubuh ke kedalaman tertentu, sementara dosis secara cepat menurun pada kedalaman yang lebih dalam^[5].

Terapi radiasi pada dasarnya terkait dengan efek radiobiologis, khususnya radiosensitivitas sel kanker. Dalam pemberian dosis radiasi diberikan toleransi sebesar $\pm 5\%$ dari dosis total yang diberikan pada target yang dituju. Prinsip ini sejalan dengan pedoman dari *International Commission on Radiation Units and*

Measurement (ICRU) yang direkomendasikan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dan TRS-381, yang menetapkan bahwa segala ketidakpastian dalam semua pengobatan radioterapi harus dibatasi kurang dari $\pm 5\%$. Menurut laporan TG 224, juga disarankan untuk melakukan pengukuran pancaran berkas radiasi (seperti *output*, *symmetry*, *flatness*, *range* dan *focal spot*) setiap bulan pada sudut *gantry* untuk memastikan kualitas dan keakuratan prosedur radioterapi^[6]. Sesuai dengan ketentuan tersebut, kalibrasi pesawat harus dilakukan untuk seluruh jenis berkas radiasi dan juga untuk memverifikasi dosis sebelum melaksanakan prosedur pengobatan pada pasien^[7].

Quality Assurance (QA) dirancang untuk memastikan akurasi dalam perhitungan dosis yang dilakukan oleh fisikawan medis dengan menggunakan pesawat *Treatment Planning System* dengan pengukuran dosis yang diterima oleh pasien, meliputi pemberian dosis pasien di pesawat Linac, pengiriman data, dan pemosisian yang tepat. Namun, ketidakakuratan dapat disebabkan oleh peralatan yang rusak, kesalahan operasional, dan juga kesalahan manusia^[8]. Tujuan utama dari QA adalah memastikan konsistensi kualitas mesin, keselamatan, dan akurasi dalam memberikan dosis pada pasien, serta mendeteksi kesalahan mekanis atau perangkat lunak^[9]. QA ditekankan pada parameter-parameter yang memiliki dampak kecil terhadap pasien, seperti indikator jarak meja pasien (*lateral*, *longitudinal*, *ketinggian*, dan *rotasi*), luas lapangan berkas radiasi (*beam flatness*), dan konsistensi profil penyinaran^[10].

Selain itu, pengukuran dosimetri harian yang dilakukan sebelum melakukan perawatan, termasuk juga konsistensi *symmetry*, *flatness* keluaran foton dan elektron, biasanya dilakukan oleh Radioterapis (*Radiotherapy Technician*) radiasi untuk melakukan pemanasan pesawat dipagi hari. Hal ini dilakukan untuk memastikan pesawat Linac dalam kondisi yang layak untuk digunakan secara klinis. Peran fisikawan medis sangat penting dalam melakukan perhitungan dosis dan mengukur dan kualitas berkas radiasi serta menjaga variabel keluaran berkas dalam batas toleransi yang ditetapkan^[11].

Symmetry dan *flatness* merupakan dua faktor penting yang mempengaruhi distribusi dosis yang seragam pada titik volume target^[12]. Keseragaman berkas

(*flatness* dan *symmetry*) didefinisikan sebagai variasi dosis di atas 80% pada luas lapangan penyinaran $10 \times 10 \text{ cm}^2$ pada sumbu utama atau tegak lurus dengan keseragaman berkas toleransinya yaitu $\pm 3\%$ ^[13]. Keseragaman berkas memiliki peran penting dalam memastikan berkas radiasi yang memberikan dampak yang tepat pada pasien, keduanya merupakan indikator dalam menentukan keberhasilan terapi kanker^[14]. *Flatness* mengacu pada persentase variasi dosis maksimum yang diizinkan dalam satu lapangan berkas radiasi. *Flatness* dapat mengukur tingkat pada keseragaman dosis dalam area terapeutik biasanya terdapat pada 80% dari lebar bidang radiasi di *isocenter* yang idealnya hampir sama di seluruh bidang kecuali di bagian tepi profil dosis. Sedangkan *Symmetry*, mengukur deviasi maksimum yang diizinkan antara dosis radiasi di sisi kiri dan dosis radiasi di sisi kanan pada lapangan berkas radiasi. Profil dosis yang simetris dapat menandakan bahwa dosis pada sisi kiri dan kanan *central axis* (CAX) adalah sama pada jarak yang sama dari pusat^[15]. Kedua parameter ini sangat penting dalam penjaminan mutu (*quality assurance*) melalui evaluasi kualitas mesin Linac karena *symmetry* dan *flatness* dapat memengaruhi keseragaman dosis pada target yang dituju.

Pengukuran parameter dosimetri meliputi kurva persentase dosis kedalaman (PDD) dan profil berkas radiasi. Dimana, dari profil berkas radiasi dapat ditentukan *flatness* dan *symmetry*. Nilai dari *flatness* dan *symmetry* pada berkas radiasi harus memenuhi batas tertentu agar tidak memberikan kontribusi pada kesalahan yang besar dalam pemberian dosis pada pasien. Menurut rekomendasi dari AAPM dan IAEA nilai *flatness* dan *symmetry* pada berkas harus memenuhi batas toleransi yaitu $\pm 2\%$ dan $\pm 3\%$ untuk dapat digunakan secara klinis. Ketidaksimetrisan dapat menyebabkan *underdosis* pada jaringan sehat atau target dan tergantung pada arah ketidakseimbangannya. *Flatness* yang buruk atau melebihi batas toleransi dapat menyebabkan dosis tersebar secara tidak merata ke target volume, sehingga berdampak pada efektivitas terapi dan risiko efek samping^{[16], [17]}. Jika hasil pengukuran tersebut sesuai dengan spesifikasi maka data tersebut akan dijadikan sebagai acuan dalam program jaminan kualitas pada pesawat radioterapi^[18]. PDD dapat memberikan informasi tentang kualitas berkas agar dosis yang diberikan dapat optimal pada lapangan penyinaran dan kedalaman.

Sedangkan, profil berkas radiasi dapat memberikan informasi kualitas berkas untuk distribusi dosis pada arah lateral^[19].

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa *flatness* dan *symmetry* perlu dilakukan untuk memverifikasi berkas keluaran radiasi pada pesawat Linac. Penelitian yang dilakukan oleh Hasanah, dkk (2020) yaitu menganalisis kurva PDD dan profil berkas radiasi elektron pesawat Linac varian CLINAC CX. Hasil analisis menunjukkan bahwa berkas elektron telah sesuai dengan standarisasi berdasarkan PDD dan profil dosis yaitu $\pm 0,2$. Profil dosis pada arah berkas telah sesuai dengan standarisasi, yaitu $\pm 4,5\%$, $\pm 7\%$ *Flatness* dan $\pm 2\%$ untuk *symmetry*^[20]. Decabooter, dkk (2022) menganalisis 9 parameter berkas yang berbeda pada sudut gantry. Dimana, keluaran, *symmetry*, dan *flatness* berada dalam $\pm 2\%$. Sedangkan, *Full width at half maximum* (FWHM), posisi spot, lebar penumbra pada bidang sumbu tengah berada pada ± 1 mm dimana perbedaan semuanya adalah $\frac{1}{2}$ dari jarak energi 6 MeV relatif terhadap *baseline* dimana menunjukkan skor kesepakatan yang lebih tinggi dari 90%^[21]. Selanjutnya, Dutta, dkk (2023) menganalisis performa dan mengevaluasi variasi dari *truebeam* pada LINAC dimana pergeseran isocenter terjadi karena *gantry*, kolimator, dan meja, sedangkan untuk rotasi berada didalam lingkaran yang berdiameter ± 2 mm. kemudian, kesesuaian bidang optik dan radiasi yang diukur simetris untuk semua energi yang tersedia yaitu berada dalam ± 2 mm^[22]. Narayanasamy, dkk (2016) mengkaji Akselerator Linear Elektra Versa HD pada data dosimetrik untuk sinar foton dengan energi 6 MV, 10 MV, dan 18 MV. Data dosimetrik menunjukkan bahwa profil sinar pada variasi kedalaman ukuran lapangan dan kedalaman termasuk pada PDD 10 cm. Hasilnya menunjukkan *flatness* dan *symmetry* berada dalam batas toleransi klinis dengan nilai *flatness* meningkat seiring dengan energi^[23]. Chowdhury, dkk (2024) melakukan analisis karakteristik *beam profile* akselerator linear diberbagai tingkat energi. Hasil menunjukkan *flatness* akan meningkat seiring dengan bertambahnya energi dan ukuran lapangan. Nilai *flatness* pada ukuran luas lapangan 10×10 cm² sebesar 2,51% untuk 6 MV, 2,62% 6 MV, 2,62% untuk 10 MV, dan 2,90% untuk 15 MV. Kemudian, *symmetry* berada sekitar 0,01%-0,30% untuk semua energi^[24].

Dari beberapa penelitian di atas, pentingnya untuk melakukan studi lebih lanjut mengenai profil dosis yang dihasilkan pada Linac. Detektor *ion chamber cc 13* digunakan pada penelitian karena kemampuan tingginya untuk mendeteksi paparan dosis dari luas lapangan. Penelitian menggunakan energi 6 MV, energi ini sering digunakan dalam radioterapi karena penetrasinya yang cukup untuk berbagai jenis tumor. Meskipun energi 6 MV adalah standar dalam protokol radioterapi, data energi lebih tinggi seperti 8 MV dan 12 MV juga perlu dipelajari lebih lanjut. Menurut beberapa penelitian, perbedaan karakteristik *flatness* dan *symmetry* pada energi tersebut dapat memengaruhi kualitas terapi, terutama untuk tumor dalam. Hal ini penting dilakukan untuk memastikan bahwa Linac dapat memberikan dosis yang tepat dan akurat dalam radioterapi.

I.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengukur kualitas berkas foton 6 MV menggunakan detektor *ion chamber cc13* dengan mengamati profil berkas berfokus pada *symmetry* dan *flatness*. Selain itu, penelitian ini akan menganalisis pengaruh ukuran luas lapangan dan kedalaman penyinaran. Manfaat dari penelitian diharapkan pengujian berkas foton mampu memberikan panduan kepada personel klinis dalam mengidentifikasi dampak dari ketidaksimetrisan dan ketidakrataan berkas saat melakukan pengukuran. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemantauan dan kinerja perangkat Linac dalam radioterapi.

I.3 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada pengujian sejumlah parameter dosimetri, termasuk keluaran berkas radiasi, *persentage depth dose* (PDD), profil berkas, kerataan (*flatness*), simetri (*symmetry*) dan pengaruh luas lapangan. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan energi foton (6 MV) dengan ukuran luas lapangan $5 \times 5 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $15 \times 15 \text{ cm}^2$, $20 \times 20 \text{ cm}^2$, dan $25 \times 25 \text{ cm}^2$. Kedalaman ditentukan dari posisi yang terdeteksi oleh detektor di setiap lapangan penyinaran. Detektor yang digunakan yaitu merk IBA tipe *Ion Chamber cc13*, *Blue Phantom*, serta perangkat lunak MyQA dan analisis data menggunakan Microsoft Excel.