

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kanker merupakan salah satu penyebab utama kematian di dunia dan menjadi tantangan besar dalam sistem pelayanan kesehatan modern. Menurut *World Health Organization*, angka kejadian kanker terus meningkat setiap tahun seiring dengan pertumbuhan populasi, peningkatan usia harapan hidup, perubahan pola hidup, serta faktor lingkungan. Radioterapi menjadi salah satu modalitas utama dalam penatalaksanaan kanker selain pembedahan dan kemoterapi. Diperkirakan lebih dari 50% pasien kanker memerlukan radioterapi pada salah satu fase pengobatannya, baik dengan tujuan kuratif maupun paliatif. Keberhasilan terapi radiasi sangat bergantung pada akurasi pemberian dosis yang tepat ke area tumor, sekaligus kemampuan untuk mengurangi paparan radiasi pada jaringan sehat di sekitarnya.

Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi radioterapi telah berkembang dengan sangat pesat. Salah satu perangkat utama yang digunakan dalam radioterapi modern adalah Linear Accelerator (LINAC), yaitu alat yang mampu menghasilkan radiasi berenergi tinggi dalam bentuk foton maupun elektron untuk keperluan terapi kanker. Kehadiran LINAC memungkinkan pemberian dosis radiasi yang lebih akurat melalui berbagai teknik canggih seperti *Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy* (3D-CRT), *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT), *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT), serta *Image Guided Radiation Therapy* (IGRT). Dengan teknologi tersebut, distribusi dosis dapat disesuaikan dengan bentuk dan posisi tumor, sehingga efektivitas pengobatan meningkat dan risiko kerusakan pada jaringan normal dapat diminimalkan.

Meskipun LINAC memiliki kemampuan teknologi yang tinggi, kompleksitas sistem yang dimiliki juga menyebabkan potensi terjadinya kesalahan teknis maupun ketidaksesuaian parameter penyinaran. Ketidaktepatan dosis sekecil apa pun dapat berdampak signifikan terhadap hasil terapi pasien. Dosis yang lebih rendah dari yang direncanakan dapat menyebabkan kegagalan pengendalian tumor, sedangkan

dosis yang berlebih dapat meningkatkan efek samping dan kerusakan jaringan sehat. Karena itu, dibutuhkan sistem pengendalian mutu atau jaminan kualitas (*Quality Assurance/QA*) yang terstruktur dan ketat guna memastikan LINAC beroperasi sesuai standar, serta mampu memberikan dosis radiasi secara tepat, konsisten, dan aman.

Jaminan kualitas dalam radioterapi merupakan serangkaian prosedur sistematis yang dilakukan untuk menjamin bahwa seluruh komponen dalam proses radioterapi berjalan sesuai standar yang telah ditetapkan. Program QA mencakup pengujian terhadap parameter mekanik, dosimetri, sistem imaging, keselamatan radiasi, hingga verifikasi perangkat lunak perencanaan terapi. Pada LINAC, QA dilakukan secara berkala harian, mingguan, bulanan, dan tahunan untuk memastikan kestabilan keluaran radiasi serta akurasi sistem penyinaran. Pengujian QA meliputi pemeriksaan output dosis, kesesuaian energi radiasi, *flatness* dan *symmetry beam*, akurasi laser positioning, ketepatan pergerakan *gantry*, *collimator*, *couch*, hingga pengujian *Multi Leaf Collimator* (MLC).

Pelaksanaan QA pada LINAC menjadi bagian penting dalam penerapan keselamatan pasien (*patient safety*) di instalasi radioterapi. Kesalahan dalam sistem radioterapi dapat menyebabkan insiden paparan radiasi yang serius. Beberapa kejadian kecelakaan radioterapi di berbagai negara menunjukkan bahwa kegagalan kalibrasi alat, kesalahan pengaturan parameter, serta lemahnya pengawasan mutu dapat menyebabkan overdosis maupun underdosis pada pasien. Oleh karena itu, organisasi internasional seperti *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dan *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM) telah mengeluarkan berbagai pedoman terkait program QA radioterapi untuk meningkatkan keamanan dan kualitas pelayanan.

Di Indonesia, penggunaan LINAC dalam pelayanan radioterapi juga terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan terapi kanker. Rumah sakit besar maupun pusat kanker nasional telah banyak menggunakan LINAC sebagai alat utama terapi radiasi. Namun demikian, peningkatan jumlah penggunaan LINAC harus diimbangi dengan sistem QA yang optimal. Keterbatasan sumber daya manusia, tingginya beban pelayanan, serta kompleksitas teknologi terkadang

menjadi tantangan dalam pelaksanaan QA secara konsisten dan menyeluruh. Selain itu, setiap jenis LINAC memiliki karakteristik dan sistem operasi yang berbeda sehingga membutuhkan prosedur QA yang sesuai dengan spesifikasi alat.

Jaminan kualitas yang optimal tidak hanya bertujuan untuk memenuhi persyaratan regulasi, tetapi juga memiliki peran penting dalam mempertahankan kinerja alat, memperpanjang masa pakai LINAC, serta meningkatkan kepercayaan terhadap layanan radioterapi. Program QA yang dilakukan secara rutin dapat mendeteksi penyimpangan parameter sejak dini sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan sebelum memengaruhi kualitas terapi pasien. Dengan demikian, QA menjadi salah satu aspek fundamental dalam sistem manajemen mutu radioterapi modern.

Selain aspek teknis, QA LINAC juga berkaitan erat dengan peran tenaga profesional di bidang radioterapi, khususnya fisikawan medis, radiografer radioterapi, dan dokter spesialis onkologi radiasi. Kolaborasi antarprofesi sangat diperlukan dalam memastikan setiap tahapan terapi berjalan dengan aman dan efektif. Fisikawan medis memiliki tanggung jawab utama dalam pengujian dan evaluasi performa LINAC, sedangkan radiografer berperan dalam pelaksanaan penyinaran sesuai prosedur operasional standar. Dengan meningkatnya kompleksitas teknik radioterapi modern, kebutuhan terhadap sistem QA yang komprehensif juga semakin meningkat.

Perkembangan teknologi digital dan otomatisasi pada LINAC turut memberikan tantangan baru dalam proses QA. Sistem berbasis komputer, imaging digital, serta integrasi software treatment planning membutuhkan verifikasi yang lebih detail dan terstruktur. Kesalahan pada sistem digital dapat menyebabkan ketidaksesuaian distribusi dosis yang sulit dideteksi apabila tidak dilakukan pengawasan kualitas secara menyeluruh. Dengan demikian, evaluasi terhadap pelaksanaan QA pada LINAC menjadi hal yang krusial untuk memastikan bahwa prosedur yang diterapkan telah memenuhi standar baik nasional maupun internasional. Penelitian difokuskan pada evaluasi kesesuaian hasil *Quality Control* harian dan Verifikasi *Output Absolute dose* Bulanan terhadap standar toleransi

berdasarkan pedoman *American Association of Physicists in Medicine* TG-142 dan TRS 398

Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat diketahui bahwa jaminan kualitas LINAC memiliki peran yang sangat penting dalam menjamin keberhasilan terapi radiasi serta keselamatan pasien kanker. Kompleksitas teknologi LINAC menuntut adanya sistem QA yang dilakukan secara berkala, sistematis, dan sesuai standar. Oleh karena itu, penelitian mengenai jaminan kualitas LINAC radioterapi perlu dilakukan guna mengevaluasi kesesuaian pelaksanaan QA. Penelitian dengan judul “Analisis *Quality Control* Harian dan Verifikasi Dosis Absolut Bulanan Pada Pesawat *Linear Accelerator* Varian Clinac-Cx di RSUD Bali Mandara” bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan performa alat, serta mendukung peningkatan mutu pelayanan radioterapi khusus nya di Unit Onkologi Radiasi Rumah Sakit Umum Daerah Bali Mandara Provinsi Bali.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Apakah hasil pengujian *quality control* harian dan *Absolute Dose* Bulanan LINAC Varian Clinac-CX telah memenuhi standar toleransi yang ditetapkan berdasarkan pedoman QA radioterapi?
2. Bagaimana tingkat kestabilan *output* radiasi pada LINAC Varian Clinac-CX berdasarkan pengukuran *quality control* harian dan Verifikasi dosis absolut?
3. Parameter *quality control* harian apa saja yang berpotensi mengalami penyimpangan selama penggunaan LINAC?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengidentifikasi prosedur *quality control* harian dan *Absolute Dose* Bulanan LINAC Varian Clinac-CX.
2. Mengetahui hasil pengujian parameter *quality control* harian LINAC.
3. Mengevaluasi kesesuaian hasil *quality control* harian dengan standar toleransi QA radioterapi.
4. Mengetahui kestabilan *output* radiasi LINAC berdasarkan pengukuran harian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dan menjadi referensi ilmiah mengenai *quality control* harian dan *Absolute Dose* Bulanan pada pesawat LINAC radioterapi.
2. Sebagai acuan dalam pelaksanaan *quality control* harian sesuai standar internasional.
3. Sebagai sumber pembelajaran mengenai *quality assurance* dan *quality control* radioterapi dan Meningkatkan pemahaman mengenai sistem *quality control* harian pada LINAC Varian Clinac-CX di onkologi radiasi RSUD Bali Mandara..

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada pesawat Varian Medical Systems *Linear Accelerator* (LINAC) tipe Clinac-CX yang digunakan di instalasi radioterapi RSUD Bali Mandara.
2. Penelitian hanya membahas pelaksanaan *Quality Control* (QC) harian dan *Absolute dose* bulanan secara mendalam.

Parameter QC harian yang dianalisis meliputi:

- *Output constancy*
 - *Laser alignment*
 - *Optical Distance Indicator (ODI)*
 - *Door interlock*
 - *Beam on indicator*
 - *Audio visual monitor*
 - *Emergency off*
 - *Output Absolute dose* Bulanan
3. Penelitian difokuskan pada evaluasi kesesuaian hasil *Quality Control* harian dan Verifikasi *Output Absolute dose Bulanan* terhadap standar toleransi

berdasarkan pedoman *American Association of Physicists in Medicine* TG-142 dan TRS 398.

4. Pengambilan data dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dan dokumentasi *Quality Control* harian dan pengukuran *output absolute dose* selama periode penelitian yang telah ditentukan.
5. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap batas toleransi standar QA radioterapi.
6. Instrumen pengukuran yang digunakan mengikuti fasilitas dan perangkat QA yang tersedia di instalasi radioterapi RSUD Bali Mandara.
7. Penelitian hanya difokuskan pada performa alat LINAC dan tidak mencakup evaluasi sumber daya manusia atau manajemen pelayanan radioterapi secara keseluruhan.