

TEKNIK RADIOTERAPI *INTENSITY-MODULATED RADIATION THERAPY* (IMRT) PADA KASUS *GLIOBLASTOMA MULTIFORME* DENGAN KOMPLIKASI BEDAH CRANIUM DI RUMAH SAKIT MRCCC SILOAM SEMANGGI

Mar'in^{1*}, I Kadek Sukadana², Yogi Purba Harlis³, Dea Reyangga⁴

Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali^{1,2,3,4}

*Corresponding Author : mar.inpusu2723@gmail.com

ABSTRAK

Radioterapi pada glioblastoma multiforme (GBM) dalam berbagai literatur menunjukkan bahwa teknik Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) lebih efisien dibandingkan Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) dalam hal waktu perawatan, tanpa mengurangi efektivitas. Namun, di RS MRCCC Siloam Semanggi masih diterapkan teknik IMRT melalui tahapan konsultasi, CT simulasi, perencanaan dengan Treatment Planning System (TPS), hingga penyinaran menggunakan linear accelerator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana teknik IMRT membantu meningkatkan efektivitas pengobatan pada pasien GBM dengan komplikasi bedah kranium. Penelitian ini menggunakan metode studi kasus kualitatif di Unit Radioterapi RS MRCCC Siloam Jakarta pada Februari–Mei 2025, dengan partisipan terdiri dari 3 radioterapis (RTT), 1 fisikawan medis, dan 1 dokter onkologi radiasi. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, dokumentasi, dan wawancara, lalu dianalisis secara deskriptif. Hasil menunjukkan bahwa pelaksanaan IMRT pada pasien GBM dilakukan secara sistematis melalui tahapan yang telah ditetapkan, dan mampu memberikan distribusi dosis radiasi yang tepat serta merata pada area tumor, sekaligus meminimalkan paparan pada jaringan sehat di sekitarnya. Simpulan dari studi ini adalah bahwa teknik IMRT efektif dalam memberikan dosis yang aman dan akurat bagi pasien GBM, sehingga menjadi pilihan utama dalam terapi radioterapi di RS MRCCC Siloam Semanggi.

Kata kunci : *glioblastoma multiforme, intensity-modulated radiation therapy, radioterapi, RS MRCCC Siloam semanggi*

ABSTRACT

Radiotherapy for glioblastoma multiforme (GBM) in various studies has shown that Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) is more time-efficient than Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) without compromising treatment effectiveness. However, at MRCCC Siloam Semanggi Hospital, IMRT is still implemented through consultation, CT simulation, treatment planning using a Treatment Planning System (TPS), and irradiation with a linear accelerator. This study aims to explore how the IMRT technique contributes to improving treatment effectiveness in GBM patients with post-craniotomy complications. This research employed a qualitative case study design conducted in the Radiotherapy Unit of MRCCC Siloam Jakarta from February to May 2025. The participants included three radiation therapy technologists (RTTs), one medical physicist, and one radiation oncologist. Data were collected through observation, documentation, and in-depth interviews, then analyzed descriptively. The findings indicate that IMRT for GBM patients is carried out systematically and enables accurate and even radiation dose distribution to the tumor area while minimizing damage to surrounding healthy tissues. The study concludes that IMRT is effective in delivering safe and precise radiation doses, making it the preferred radiotherapy technique for GBM treatment at MRCCC Siloam Semanggi Hospital.

Keywords : *radiotherapy, intensity-modulated radiation therapy, glioblastoma multiforme, MRCCC Hospital Siloam Semanggi*

PENDAHULUAN

Radioterapi adalah metode pengobatan kanker yang menggunakan radiasi pengion untuk merusak DNA sel kanker, sehingga menghambat pertumbuhan dan penyebarannya (Herlinda Mahdania Harun et al., 2022). Terdapat dua jenis utama: radioterapi eksternal (teleterapi) yang menggunakan mesin seperti LINAC untuk memancarkan radiasi dari luar tubuh, dan radioterapi internal (*brachytherapy*) yang menempatkan sumber radiasi langsung di dalam atau dekat tumor. Radioterapi dapat berdiri sendiri atau dikombinasikan dengan pembedahan dan kemoterapi. Keberhasilan dan efek sampingnya dipengaruhi oleh dosis, teknik, dan kondisi pasien (Kodrat & Novirianthy, 2016). *Linear Accelerator* adalah salah satu contoh pesawat radioterapi berupa suatu sistem (mesin) yang digunakan untuk mempercepat partikel bermuatan melalui lintasan lurus (linier) dengan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi yang dapat menghasilkan berkas foton (sinar-X) dan berkas elektron yang digunakan dalam bidang kesehatan khususnya untuk keperluan radioterapi (Alesini, 2016). Sinar-X pada Linac diproduksi dari berkas elektron berkecepatan tinggi yang diperoleh dari hasil percepatan elektron oleh pandu gelombang pemercepat (*accelerating waveguide*). Sinar-X yang dihasilkan adalah sinar-X yang terdistribusi kontinu (*Bremsstrahlung*) (Pipman, 2017).

Berkas sinar-X terdiri dari variasi energi 6 MV dan 10 MV untuk pesawat radioterapi Linac Varian Clinac iX, yang digunakan untuk menyinari kanker yang berada di dalam jaringan tubuh, misalnya kanker payudara, kanker serviks, dan kanker nasofaring (Puspitasari et al., 2020) (Sugiarta et al., 2022). Salah satu kanker yang paling sulit ditangani adalah *glioblastoma multiforme* (GBM) tumor otak primer yang paling agresif dan umum pada orang dewasa, dengan prognosis yang sangat buruk. *Glioblastoma multiforme* (GBM) memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat serta infiltrasi yang luas ke dalam jaringan otak normal, yang membuatnya sulit untuk ditangani. Standar perawatan saat ini mencakup kombinasi dari reseksi bedah, terapi radiasi, dan kemoterapi dengan *temozolomide* (TMZ) sebagai bagian dari pendekatan multimodalitas untuk memperpanjang kelangsungan hidup pasien (Anggela, 2023). Di antara metode terapi yang tersedia, radioterapi memainkan peran penting dalam pengobatan GBM, terutama untuk menangani sisa sel kanker pasca operasi dan mengendalikan pertumbuhan tumor yang tidak dapat diangkat sepenuhnya melalui pembedahan (Salima et al., 2024).

Seiring berkembangnya teknologi, berbagai teknik radioterapi telah dikembangkan untuk meningkatkan efektivitas pengobatan GBM dan mengurangi dampak radiasi pada jaringan sehat. Salah satu teknik canggih yang digunakan adalah *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT), yang memungkinkan pemberian dosis radiasi lebih presisi dengan modulasi intensitas berkas radiasi menggunakan *multileaf collimator* (MLC). Berbeda dengan teknik konvensional, IMRT memberikan distribusi dosis yang lebih merata dan mengurangi paparan radiasi ke jaringan sehat. IMRT biasanya dilakukan dengan posisi gantry yang tetap (*static gantry*) dan laju dosis yang konstan (Salima et al., 2024). Sedangkan menurut Sheu et al. (2018), VMAT lebih efisien dibandingkan IMRT dalam pengobatan glioblastoma, terutama karena mengurangi waktu perawatan hingga 29% tanpa perbedaan signifikan dalam kelangsungan hidup pasien, progresi penyakit, atau toksisitas. Meskipun pola kegagalan sedikit berbeda, VMAT menunjukkan efisiensi sumber daya yang lebih baik dan mengurangi kebutuhan peningkatan dosis steroid dibandingkan IMRT, sehingga dapat menjadi pilihan terapi radiasi yang lebih optimal bagi pasien GBM.

Selain *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT), dan VMAT (*Volumetric Modulated Arc Therapy*), 3D *Conformal Radiation Therapy* (3D-CRT) juga telah digunakan dalam pengobatan GBM. Dibandingkan dengan 3D-CRT, IMRT lebih unggul dalam mendistribusikan dosis radiasi ke area tumor sambil meminimalkan efek samping pada jaringan sehat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa meskipun tingkat kelangsungan hidup antara

IMRT dan 3D-CRT serupa, IMRT berpotensi mengurangi kekambuhan tumor di luar lapangan radiasi, menjadikannya pilihan lebih baik untuk kasus GBM yang sulit diangkat sepenuhnya melalui pembedahan (Mun et al., 2024). Rumah Sakit MRCCC Siloam Semanggi merupakan salah satu rumah sakit swasta pertama di Indonesia yang secara khusus menangani pengobatan kanker. Fasilitas ini menyediakan berbagai layanan kesehatan yang komprehensif, termasuk radioterapi untuk mengobati berbagai jenis kanker, seperti *Glioblastoma Multiforme* (GBM).

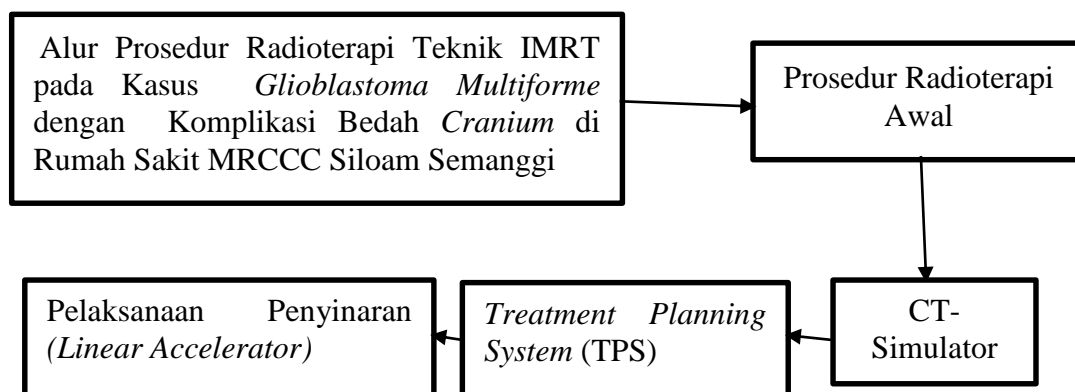
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penerapan teknik radioterapi Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) pada kasus glioblastoma multiforme dengan komplikasi bedah kranium di Rumah Sakit MRCCC Siloam Semanggi.

METODE

Jenis penelitian ini adalah kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Penelitian ini dilakukan di Unit Radioterapi Rumah Sakit MRCCC Siloam Semanggi di Jakarta pada Februari 2025 – Mei 2025. Subjek penelitian 3 orang RTT, 1 orang Fisikawan Medis dan 1 Dokter Spesialis Onkologi Radiasi. Pengambilan data dilakukan dengan cara observasi, dokumentasi, dan wawancara. Analisis data dilakukan dengan reduksi data, penyajian data kemudian ditarik kesimpulan.

HASIL

Bagaimana Prosedur Teknik Radioterapi IMRT pada Kasus *Glioblastoma Multiforme* dengan Komplikasi Bedah *Cranium* di Rumah Sakit MRCCC Siloam Semanggi



Gambar 1. Prosedur Teknik Radioterapi

Prosedur Radioterapi Awal

Prosedur radioterapi diawali dengan konsultasi antara pasien dan dokter spesialis onkologi radiasi. Pada tahap ini, dokter akan melakukan evaluasi menyeluruh terhadap kondisi pasien, termasuk meninjau hasil pemeriksaan penunjang seperti CT scan, MRI, PET scan, dan hasil biopsi. Berdasarkan jenis, lokasi, serta stadium kanker, dokter akan menentukan apakah pasien memerlukan terapi radiasi dan teknik yang paling sesuai, seperti 3D-CRT (*Three-Dimensional Conformal Radiotherapy*), IMRT (*Intensity Modulated Radiotherapy*), atau VMAT (*Volumetric Modulated Arc Therapy*). Selain itu, dokter juga akan mempertimbangkan kondisi umum pasien dan adanya komorbiditas yang dapat mempengaruhi toleransi terhadap radiasi. Selama konsultasi, pasien akan diberikan penjelasan mengenai tujuan terapi, proses pelaksanaan, estimasi jumlah fraksi (jumlah sesi penyinaran), serta potensi efek samping yang dapat timbul. Setelah pasien menyetujui rencana terapi, langkah selanjutnya adalah penjadwalan CT simulasi sebagai tahap awal persiapan radioterapi.

CT –Simulator

Pada tahap CT simulasi, dilakukan persiapan teknis sebagai langkah awal untuk menentukan posisi dan alat fiksasi pasien secara akurat. Pasien diposisikan dalam posisi supine (terlentang) di atas meja simulator, posisi kedua tangan berada disamping tubuh dengan alat bantu berupa baseplate khusus kepala dan leher (indeks H4), *step head* pada lubang ke-3, marker sticker, *micropore tape* dan satu buah lockbar sebagai pengunci posisi alat. Pembuatan masker dilakukan menggunakan masker head termoplastik 3-point yang dipanaskan terlebih dahulu hingga lunak, lalu ditempelkan dan dibentuk mengikuti kontur wajah dan kepala pasien dengan tekanan ringan agar presisi, kemudian dibiarkan mengeras agar berfungsi sebagai alat fiksasi. Tubuh pasien diatur simetris dan senyaman mungkin, dengan bahu rileks dan kepala lurus. Setelah masker terpasang sempurna, tiga titik referensi dibuat menggunakan spidol merah sebagai penanda visual dan marker timbal (logam) agar terlihat jelas pada hasil citra CT. Selanjutnya, dilakukan pemindaian CT pada area kepala untuk memastikan seluruh volume target dan organ penting tercakup, lalu data citra dikirim ke Treatment Planning System (TPS) untuk proses perencanaan terapi radiasi.



Gambar 2. CT-Simulator di Rumah Sakit MRCCC Siloam Semanggi



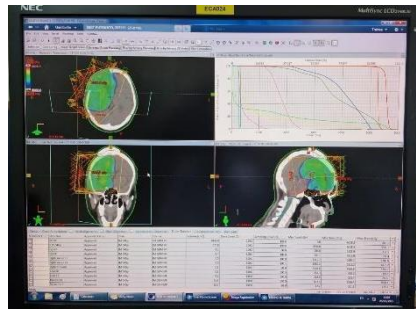
Gambar 3. Masker Head



Gambar 4. Step Kepala dan Leher Indeks H4

Treatment Planning System (TPS)

Perencanaan radioterapi dengan *teknik Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT)* diawali dengan memasukkan data CT pasien ke dalam sistem *Treatment Planning System (TPS)* untuk menentukan struktur *Planning Target Volume (PTV)* dan organ-at-risk (OAR) seperti lensa mata dan batang otak. Setelah struktur target dan OAR diidentifikasi, proses dilanjutkan dengan pengaturan kolimator, termasuk penggunaan *Multi-Leaf Collimator (MLC)* untuk membentuk berkas radiasi yang sesuai dengan kontur target secara presisi, MLC yang digunakan telah berusia 14 tahun masih berfungsi optimal dengan perawatan yang baik. Dalam rencana ini, dosis total sebesar 60 Gy diberikan ke PTV dengan dosis harian 2,22 Gy selama 27 fraksi, menggunakan 6 lapangan radiasi yang disusun untuk menghasilkan distribusi dosis yang optimal. Setiap fraksi diberikan dengan total *Monitor Unit (MU)* sebesar 846,8 MU, yang terbagi merata di antara keenam lapangan tersebut. Dosis yang diterima oleh OAR dijaga agar tetap di bawah batas toleransi klinis, seperti <54 Gy untuk batang otak dan untuk lensa mata dosis maksimum sebesar 9 Gy, dengan volume tertentu menerima 5 Gy, menunjukkan paparan signifikan yang perlu diperhatikan secara klinis. Evaluasi distribusi dosis dilakukan menggunakan kurva *Dose Volume Histogram (DVH)*, dengan target minimal 95–100% volume PTV menerima dosis yang direncanakan sebelum terapi diberikan kepada pasien.



Gambar 5. *Treatment Planning System (TPS)* atau DVH

Pelaksanaan Penyinaran (Linear Accelerator)

Setelah proses perencanaan selesai dilakukan di *Treatment Planning System (TPS)*, pasien dijadwalkan untuk memulai sesi penyinaran. Persiapan alat dan bahan dilakukan sesuai dengan set-up saat CT simulasi, termasuk penggunaan baseplate dengan indeks yang telah ditentukan, *step head*, bantal oranye, dan masker kepala 3-point. Pasien diposisikan dalam posisi supine di atas meja linear accelerator dan tangan pasien berada di samping tubuh dan mengikuti titik referensi yang telah dibuat sebelumnya untuk menjamin kesesuaian posisi.

Sebelum penyinaran dimulai, dilakukan verifikasi posisi pasien menggunakan *On-Board Imaging (OBI)* yang dilakukan pada setiap sesi penyinaran untuk memastikan bahwa posisi pasien sudah sesuai dengan rencana terapi. Posisi awal meja saat penyinaran pertama disesuaikan dengan titik referensi, yaitu lateral 0 cm, sedangkan longitudinal dan vertikal mengikuti tanda referensi yang telah dibuat saat prosedur CT simulasi. Berdasarkan hasil perencanaan pada *sistem Treatment Planning*, dihitung pergeseran meja dari titik referensi menuju posisi penyinaran, dengan nilai sebesar lateral 2,94 cm, longitudinal 107,7 cm, dan vertikal 24,02 cm. Setiap sesi verifikasi menggunakan OBI dapat menunjukkan variasi posisi pasien, sehingga nilai pergeseran dapat sedikit berbeda setiap hari penyinaran. Pada fraksi pertama pergeseran yang melebihi batas toleransi 0,3 mm yang ditetapkan di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit MRCCC Siloam Semanggi masih dapat diterima karena merupakan tahap awal penyesuaian antara posisi simulasi dan kondisi aktual di meja penyinaran. Namun, untuk fraksi-fraksi selanjutnya, apabila nilai pergeseran melebihi batas toleransi tersebut, maka wajib dilakukan koreksi posisi atau *set-up* ulang pasien untuk memastikan akurasi dan keamanan selama proses penyinaran. Penyinaran dilakukan menggunakan enam lapangan

radiasi (6 field), sesuai dengan rencana distribusi dosis dari sistem TPS, untuk menjamin cakupan target yang optimal serta meminimalkan paparan terhadap organ-organ sehat di sekitarnya. Pasien dijadwalkan menjalani sebanyak 27 fraksi penyinaran yang diberikan secara bertahap sesuai protokol yang telah ditetapkan oleh dokter onkologi radiasi. Setelah fraksi pertama, dilakukan penandaan tambahan menggunakan spidol berwarna biru pada masker imobilisasi sebagai penanda lokasi awal radiasi guna mempermudah penyetelan posisi pada sesi-sesi berikutnya.



Gambar 6. Pesawat *Linear Accelerator*



Gambar 7. Posisi Pasien



Gambar 8. Verifikasi Posisi Pasien *On-Board Imaging (OBI)*

Bagaimana Teknik *Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT)* Membantu Meningkatkan Efektivitas Pengobatan pada Pasien TN. P.S. Kasus *Glioblastoma Multiforme* dengan Kompilasi Bedah *Cranium* di Rumah MRCCC Siloam Semanggi

Teknik *Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT)* membantu meningkatkan efektivitas pengobatan pada pasien T.S. dengan *glioblastoma multiforme* pasca bedah *cranium* di MRCCC Siloam Semanggi dengan cara memberikan distribusi dosis radiasi yang tepat dan merata ke area tumor. Dengan kemampuan mengatur intensitas radiasi secara presisi, IMRT memungkinkan pemberian dosis tinggi langsung ke target tumor sekaligus meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitarnya. Untuk kekurangan teknik IMRT itu sendiri lebih lama waktu pengerjaannya atau penyinarannya dibandingkan teknik VMAT (*Volumetric Modulated Arc Therapy*) dan waktu penguncian atau penyinaran teknik IMRT pada kasus *glioblastoma multiforme* di instalasi radioterapi rumah sakit MRCCC Siloam sekitar 10–15

menit. Namun IMRT lebih dipilih dalam kasus ini karena lokasi tumor yang dekat dengan permukaan kepala membutuhkan kontrol dosis yang lebih presisi untuk melindungi jaringan otak dan organ vital di sekitarnya. Efek samping yang umumnya dapat muncul akibat penyinaran otak seperti mual, pusing, atau muntah, namun berdasarkan hasil wawancara, pasien tidak mengalami perubahan gejala atau keluhan selama terapi berlangsung. Oleh karena itu, perlindungan organ berisiko menjadi perhatian utama agar terapi dapat berjalan dengan efektif tanpa menimbulkan efek samping yang signifikan.

PEMBAHASAN

Bagaimana Prosedur Teknik Radioterapi *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT) pada Kasus *Glioblastoma Multiforme* dengan Komplikasi Bedah *Cranium* di Rumah Sakit MRCCC Siloam Semanggi

Prosedur Radioterapi Awal

Berdasarkan hasil wawancara di RS MRCCC Siloam Semanggi Jakarta, prosedur radioterapi diawali dengan konsultasi antara pasien dan dokter. Pada tahap ini, dokter melakukan evaluasi menyeluruh terhadap kondisi pasien dengan meninjau hasil pemeriksaan penunjang seperti CT scan, MRI, PET scan, serta hasil biopsi. Informasi tersebut digunakan untuk menentukan indikasi terapi radiasi serta teknik yang paling sesuai, seperti 3D-CRT (*Three-Dimensional Conformal Radiotherapy*), IMRT (*Intensity Modulated Radiotherapy*), atau VMAT (*Volumetric Modulated Arc Therapy*). Pertimbangan juga mencakup kondisi umum pasien dan adanya komorbiditas yang dapat mempengaruhi toleransi terhadap terapi. Dalam konsultasi awal ini, pasien diberikan penjelasan mengenai tujuan terapi, jumlah fraksi (sesi penyinaran), proses pelaksanaan, serta kemungkinan efek samping yang dapat timbul. Setelah pasien menyetujui rencana terapi, tahap selanjutnya adalah penjadwalan CT simulasi sebagai bagian dari persiapan teknis. Temuan ini selaras dengan penelitian oleh Sheu et al. (2018), yang menyatakan bahwa prosedur radioterapi pada pasien *glioblastoma multiforme* (GBM) juga diawali dengan evaluasi pencitraan dan konfirmasi diagnosis melalui biopsi, melibatkan tim multidisiplin untuk menyusun rencana terapi yang optimal berdasarkan karakteristik tumor dan kondisi pasien.

CT – Simulator

Pada tahap CT Simulator, menurut penelitian ini, pasien diposisikan dalam posisi supine menggunakan baseplate khusus kepala dan leher (indeks H4), *step head*, marker sticker, *micropore tape* serta lockbar untuk memastikan posisi tetap stabil. Masker head 3-point dipanaskan lalu dibentuk mengikuti kontur wajah pasien, berfungsi sebagai alat fiksasi selama terapi. Setelah masker terpasang, dibuat tiga titik referensi menggunakan spidol merah dan marker timbal agar posisi dapat direproduksi secara presisi saat penyinaran. Hasil pemindaian CT kemudian digunakan dalam perencanaan radioterapi. Temuan ini sejalan dengan Mun et al. (2024), yang menyatakan bahwa *CT Simulation* dilakukan setelah diagnosis ditegakkan, dengan tujuan memperoleh citra anatomi pasien secara akurat. Masker termoplastik digunakan untuk menjaga imobilisasi kepala, dan hasil CT dikorelasikan dengan MRI guna meningkatkan akurasi delineasi target serta identifikasi organ di sekitar tumor. Penandaan posisi penting dilakukan agar pasien dapat diposisikan ulang secara konsisten pada setiap sesi terapi.

***Treatment Planning System* (TPS)**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan radioterapi untuk pasien *glioblastoma multiforme* (GBM) di RS MRCCC Siloam Semanggi dilakukan dengan teknik *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT), dimulai dengan input data CT ke dalam sistem *Treatment Planning System* (TPS) untuk delineasi *Planning Target Volume* (PTV) dan organ-

at-risk (OAR) seperti batang otak dan lensa mata. Setelah struktur ditentukan, dilakukan pengaturan kolimator dengan bantuan *Multi-Leaf Collimator* (MLC) untuk memastikan distribusi dosis sesuai kontur target. Di rumah sakit ini, dosis total 60 Gy diberikan ke PTV dalam 27 fraksi (2,22 Gy/fraksi) melalui 6 lapangan radiasi, dengan total Monitor Unit (MU) sebesar 846,8 yang terbagi merata. Dosis pada OAR dijaga sesuai protokol internal: dosis maksimum batang otak dibatasi <54 Gy, dan lensa mata maksimum 9 Gy, dengan target ideal di bawah 5 Gy. Evaluasi distribusi dilakukan menggunakan *Dose Volume Histogram* (DVH), dengan syarat minimal 95–100% volume PTV menerima dosis sesuai rencana. Standar dosis di rumah sakit ini sejalan dengan pedoman *Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic* (QUANTEC) 2010 yang merekomendasikan dosis maksimum batang otak 54 Gy (Marks et al., 2010) dan dosis lensa mata maksimum 10 Gy, idealnya <5–6 Gy. Studi oleh Ma et al. (2018) juga menunjukkan bahwa dosis lensa mata pada pasien GBM umumnya berkisar antara 3,9–7,9 Gy. Sementara itu, panduan terbaru ESTRO/EANO 2025 mencatat bahwa dosis kumulatif batang otak bisa mencapai hingga 95,2 Gy EQD2 dalam kondisi tertentu, namun praktik di rumah sakit tetap mengikuti batas konservatif demi keamanan. Dengan demikian, protokol dosis yang diterapkan di RS MRCCC Siloam Semanggi masih tergolong aman dan sesuai dengan literatur klinis terkini.

Tabel 1. Batas Toleransi Dosis pada Organ-At Risk

Organ-at Risk (OAR)	Dosis maks di RS MRCCC Siloam	Batas Toleransi literatur	Referensi
Batang Otak	54 Gy	54 Gy	(Marks et al., 2010)
		95,2 Gy	ESTRO/EANO 2025
Lensa Mata	9 Gy dengan target ideal di bawah 5 Gy	10 Gy, idealnya <5–6 Gy	(Marks et al., 2010)
		3,9–7,9 Gy	Ma et al. (2018)

Proses Penyinaran (*Linear Accelerator*)

Dari hasil wawancara di RS MRCCC Siloam Semanggi, Setelah perencanaan selesai di *Treatment Planning System* (TPS), pasien dijadwalkan untuk memulai penyinaran sebanyak 27 fraksi dengan set-up sesuai hasil CT Simulator, termasuk penggunaan baseplate, *step head*, bantal *oranye*, dan masker kepala 3-point. Pasien diposisikan secara *supine* di atas meja *linear accelerator* dan kedua tangan samping tubuh, dengan penandaan titik referensi menggunakan spidol biru pada masker untuk mempermudah penyetelan posisi pada setiap sesi. Pada fraksi pertama posisi awal dicatat dengan nilai lateral 0 cm, sementara longitudinal dan vertikal mengikuti tanda referensi dari CT simulasi. Nilai pergeseran dari titik referensi menuju posisi penyinaran yang dihitung oleh TPS adalah lateral 2,94 cm, longitudinal 107,7 cm, dan vertikal 24,02 cm. Karena posisi pasien dapat berubah setiap hari, maka dilakukan verifikasi harian menggunakan *On-Board Imaging* (OBI) untuk memastikan kesesuaian posisi pasien dengan perencanaan TPS, sehingga akurasi penyampaian dosis tetap terjaga.

Di RS MRCCC, batas toleransi pergeseran meja ditetapkan sebesar 0,3 mm, dan koreksi posisi atau *set-up* ulang wajib dilakukan apabila nilai ini terlampaui, kecuali pada fraksi pertama yang masih dianggap sebagai tahap penyesuaian awal. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Rudat et al. (2023) dalam jurnal *Scientific Reports*, yang menyarankan batas toleransi pergeseran meja pada kasus glioblastoma dan tumor otak lainnya sebesar $\pm 1,5$ hingga $\pm 1,8$ mm, maka batas toleransi yang digunakan di RS MRCCC memang lebih longgar. Namun demikian, batas toleransi 0,3 mm ini masih dapat dianggap aman secara klinis, selama didukung oleh verifikasi posisi harian dengan OBI dan margin *Planning Target Volume* (PTV) yang telah dirancang untuk mengantisipasi variasi posisi tersebut. Dengan pendekatan ini, akurasi dan keselamatan selama proses penyinaran tetap dapat terjaga.

Bagaimana Teknik *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT) Membantu Meningkatkan Efektivitas Pengobatan pada Pasien TN. P.S. Kasus Glioblastoma Multiforme dengan Kompilasi Bedah *Cranium* di Rumah MRCCC Siloam Semanggi

Hasil penelitian atau hasil wawancara di MRCCC Siloam Semanggi menunjukkan bahwa teknik *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT) efektif meningkatkan pengobatan dengan memberikan distribusi dosis radiasi yang tepat dan merata ke area tumor. Penggunaan IMRT pada kasus ini sangat penting karena tumor berada dekat dengan permukaan kepala, sehingga memerlukan kontrol dosis yang sangat teliti untuk menghindari paparan radiasi berlebih pada jaringan sekitar dan lama Penyinarannya 10-15 menit. Menurut teori *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT) dikenal memiliki tingkat presisi tinggi dalam pemberian dosis radiasi, terutama pada kasus *glioblastoma multiforme* (GBM), karena mampu modulasi intensitas berkas radiasi dengan bantuan *multileaf collimator* (MLC) dan penyinaran dari beberapa sudut gantry noncoplanar. IMRT memberikan distribusi dosis yang merata dan dapat disesuaikan dengan bentuk target secara kompleks, sehingga efektif dalam menjaga cakupan target sambil meminimalkan paparan ke organ-at-risk (OAR).

Kekurangan IMRT terletak pada efisiensi waktu, di mana durasi penyinarannya rata-rata mencapai 14,3 menit per fraksi, lebih lama dibandingkan dengan VMAT yang hanya memerlukan sekitar 10,3 menit, sehingga VMAT dianggap lebih unggul secara logistik dan kenyamanan pasien (Sheu et al., 2018).. Namun, dokter spesialis onkologi radiasi di MRCCC Siloam Semanggi lebih memilih IMRT dibandingkan VMAT untuk kasus ini karena kebutuhan akan kontrol dosis yang lebih presisi akibat posisi tumor yang dekat dengan permukaan kepala dan keberadaan struktur anatomis seperti tempurung kepala yang dapat memengaruhi distribusi dosis dan risiko komplikasi. Oleh karena itu, meskipun *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) menawarkan efisiensi waktu.

KESIMPULAN

Prosedur teknik radioterapi *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT) pada pasien glioblastoma multiforme (GBM) dengan komplikasi bedah *cranium* di RS MRCCC Siloam Semanggi dilaksanakan melalui tahapan sistematis, meliputi konsultasi medis, CT simulasi dengan fiksasi masker termoplastik, perencanaan dosis pada *Treatment Planning System* (TPS), serta pelaksanaan penyinaran menggunakan *Linear Accelerator* dengan verifikasi posisi harian melalui *On-Board Imaging* (OBI). Dalam perencanaan, digunakan *Multi-Leaf Collimator* (MLC) berusia 14 tahun yang masih berfungsi optimal. Dosis total sebesar 60 Gy diberikan ke PTV dalam 27 fraksi (2,22 Gy/fraksi), sedangkan dosis ke organ-at-risk (OAR) seperti batang otak dan lensa mata dijaga agar tetap di bawah batas toleransi klinis (misalnya <54 Gy untuk batang otak dan <9 Gy untuk lensa mata).

Teknik IMRT terbukti meningkatkan efektivitas pengobatan dengan memberikan distribusi dosis yang presisi ke area tumor dan meminimalkan paparan ke jaringan sehat. Efek samping umum seperti pusing, mual, atau muntah dapat terjadi pada terapi radiasi otak, namun berdasarkan hasil wawancara, pasien dalam studi ini tidak melaporkan adanya keluhan atau perubahan gejala selama menjalani terapi. Untuk menjaga efektivitas tersebut, ketelitian dalam *set-up* posisi pasien perlu ditingkatkan untuk memastikan akurasi dalam penyampaian dosis radiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan terimakasih atas dukungan, inspirasi dan bantuan kepada semua pihak dalam membantu peneliti menyelesaikan penelitian ini, termasuk pada peserta yang telah bersedia berpartisipasi dalam penelitian hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Alesis Nj, D. (2016, Oktober 14). *Linear Accelerator, The CERN accelerator School. Retrieve from Budafest*:https://indico.cern.ch/event/532397/contributions/2170633/attachments/1343755/2049275/Alesini_LINEAR_ACCELERATORS.pdf
- Anggela. (2023). Pengobatan Glioblastoma Multiforme Saat Ini dan Masa Depan: *Literature Review. Jurnal Farmasetis*, 12(2), 213-220.
- Kodrat, H., & Novirianthy, R. (2016). Prinsip Dasar Radioterapi. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/306055856>.
- König, L., Jäkel, C., von Knebel Doeberitz, N., Kieser, M., Eberle, F., Münter, M., Debus, J., & Herfarth, K. (2021). *Glioblastoma radiotherapy using Intensity modulated Radiotherapy (IMRT) or proton Radiotherapy—GRIPS Trial (Glioblastoma Radiotherapy via IMRT or Proton BeamS): a study protocol for a multicenter, prospective, open-label, randomized, two-arm, phase III study. Radiation Oncology*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s13014-021-01962-8>.
- Ma, C., et al. (2018). *Dosimetric study of lens exposure in IMRT for brain tumors. J Appl Clin Med Phys*, 19(1): 196–201.
- Marks, L. B., et al. (2010). *Radiation dose–volume effects in the brain. Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 76(3 Suppl): S20–S27.
- Mahdania Harun, H., Jannah, N., & Fikar Ahmad, Z. (2022). Evaluasi Pengobatan Radioterapi Pada Pasien Kanker. *Journal Syifa Sciences and Clinical Research (JSSCR)*, 4. <https://doi.org/10.37311/jsscr.v4i3.15794>.
- Mun, S. H., Jang, H. S., Choi, B. O., Kim, S. W., & Song, J. H. (2024). *Recurrence pattern of glioblastoma treated with intensity-modulated radiation therapy versus three-dimensional conformal radiation therapy. Radiation Oncology Journal*, 42(3), 218–227. <https://doi.org/10.3857/roj.2024.00381>.
- Puspitasari, R. A., Pertiwi, W. I., Sholihah, P. M., Fariqoh, W. H., Kavilani, N., & Astuti, S. D. (2020). Analisis Kualitas Berkas Radiasi LINAC Untuk Efektivitas Radioterapi. *Jurnal Biosains Pascasarjana* Vol. 22, 11-19
- Rudat, V., Shi, Y., Zhao, R., Xu, S., & Yu, W. (2023). *Setup accuracy and margins for surface-guided radiotherapy (SGRT) of head, thorax, abdomen, and pelvic target volumes. Scientific Reports*, 13, Article 17018. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44320-2>
- Salima, S., Shabira, N. A., & Putri, E. R. (2024). Audit Dosimetri pada Teknik IMRT/VMAT Terapi Radiasi pada *Linear Accelerator (LINAC). Progressive Physics Journal*, 5(2). <http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/ppjHalaman|469>.
- Sheu, T., Briere, T. M., Olanrewaju, A. M., & McAleer, M. F. (2018). *Intensity Modulated Radiation Therapy Versus Volumetric Arc Radiation Therapy in the Treatment of Glioblastoma—Does Clinical Benefit Follow Dosimetric Advantage? Advances in Radiation Oncology*, 4(1), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.adro.2018.09.010>.
- Sugiarta, K., Nyoman Ratini, N., Suyanto, H., Studi Fisika, P., (2022). Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., Udayana, U., Bukit Jimbaran, K., Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara, S., Bypass Ngurah Rai no, J., Kauh, S., Selatan, D., Denpasar, K., & Email Korespondensi, B. (n.d.). Analisis Dosis Keluaran Berkas Sinar-X Pesawat Linac Varian Clinac CX Berdasarkan Protokol Dosimetri IAEA TRS 398. In *December 2022* (Vol. 6, Issue 2). <http://e-journal.hamzanwadi.ac.id/index.php/kpj/index>.
- Weller, M., et al. (2025). *EANO–ESTRO–ESMO Clinical Practice Guidelines for the diagnosis, treatment and follow-up of patients with glioblastoma. Neuro-Oncology*, 27(1): 1–29.