



Radioterapi & Onkologi Indonesia

Journal of the Indonesian Radiation Oncology Society



Tinjauan Pustaka

TEKNIK *RADIOSURGERY*

Henry Kodrat¹, Rima Novirianthy²

¹Fakultas Kedokteran Universitas Pelita Harapan, Karawaci, Indonesia

²Departemen Radiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Syiah Kuala, RSUD dr. Zainoel Abidin, Banda Aceh, Indonesia

Abstrak/Abstract

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

- Diterima Maret 2016
- Disetujui Mei 2016

Alamat Korespondensi:

dr. Henry Kodrat, Sp.Onk.Rad

Email: henrykodrat@gmail.com

Stereotactic radiosurgery (SRS) merupakan teknik radioterapi lanjutan yang menggunakan prinsip navigasi stereotaktik untuk penentuan target radiasi, pencitraan 3 dimensi untuk pendefinisian target dan pemberian radiasi dosis tinggi dalam fraksi tunggal yang bersifat ablatif. Modalitas terapi ini banyak digunakan untuk tatalaksana berbagai kelainan Intrakranial karena bersifat non-invasif. SRS dapat diberikan dengan berbagai alat dan teknik. Tujuan artikel ini untuk memberikan gambaran umum berbagai teknik SRS disertai keuntungan dan kerugian dari masing-masing teknik.

Kata kunci: stereotaktik, *radiosurgery*, teknik

Stereotactic radiosurgery (SRS) is an advanced radiotherapy technique, which applies the stereotactic principle to navigate target localization, three-dimensional imaging for targets definition and ablative high radiation dose in single fraction. This treatment modality is widely used for various intracranial disorders, because of its non-invasive nature. SRS can be delivered with various platforms and techniques. The purpose of this article is to provide an overview of the various radiosurgery techniques with advantages and disadvantages of each technique.

Keyword : *stereotactic, radiosurgery, techniques*

Hak cipta ©2016 Perhimpunan Dokter Spesialis Onkologi Radiasi Indonesia

Pendahuluan

Stereotactic radiosurgery (SRS) diperkenalkan oleh dr. Lars Leksell, seorang ahli bedah saraf Swedia pada tahun 1951. Beliau menggunakan pesawat *orthovoltage* sebagai sumber radiasi pengion terfokus dengan ukuran berkas sempit untuk mengobati lesi intrakranial. Tempat masuk berkas sinar ini didistribusikan merata di seluruh konveksitas dari kranium. Tujuan beliau menggunakan teknik ini adalah untuk menciptakan metode destruksi lesi intrakranial dengan sifat non-invasif. Metode ini digunakan terutama untuk lesi yang sulit dicapai dengan pembedahan konvensional.^{1,2}

Dengan berjalannya waktu dan dilakukannya beberapa eksperimental oleh Lawrence dengan ion berat dan Kjellberg dengan sumber radiasi proton, Leksell dan kolega menciptakan alat radiasi *GammaKnife*[®] pada tahun 1967. *GammaKnife*[®] yang pertama menggunakan sumber radiasi sinar gamma dari radioaktif Cobalt-60. Sumber radiasi ini tersusun dalam kubah berbentuk

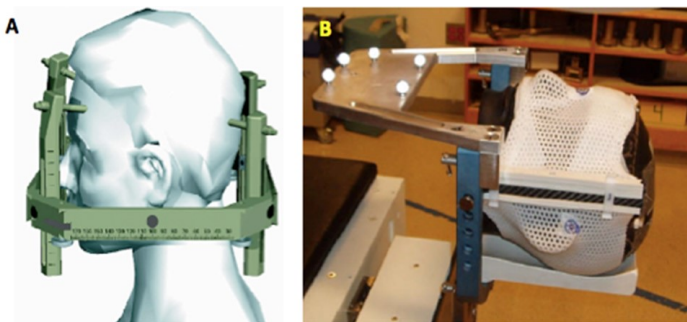
helm. Pada saat itu, prosedur SRS belum menggunakan metode pencitraan menggunakan *Computerized Tomography Scan (CT-Scan)*, tetapi hanya menggunakan angiografi dan politomografi. Oleh karena itu hanya dapat digunakan untuk tatalaksana malformasi arteriovenosa, adenoma hipofisis dan schwannoma vestibular.^{1,2}

CT-Scan ditemukan pada dasawarsa 1970-an. Sejak saat itu CT-Scan mulai digunakan untuk lokalisasi dan penentuan target radiasi. Penggunaan CT-Scan sangat membantu dalam lokalisasi target radiasi. Pada tahun 1982, Betti dan Colombo berhasil memodifikasikan akselerator linier (*linear accelerator/LINAC*) sehingga mampu digunakan untuk SRS. Hal ini cukup menguntungkan karena LINAC lebih tersedia dan harganya lebih murah dibandingkan pesawat *GammaKnife*[®] atau akselerator ion berat.¹

Pengertian SRS

SRS merupakan radioterapi dengan teknik tinggi yang menggabungkan prinsip navigasi stereotaksis dalam penentuan lokasi target radiasi, penggunaan pencitraan 3 dimensi untuk pendefinisian target, disertai dengan pemberian radiasi dosis tinggi dalam fraksi tunggal yang bersifat ablatif.³

Konsep “stereotaksis” memungkinkan lokalisasi yang tepat untuk titik target karena menggunakan sistim koordinat untuk navigasi penentuan lesi. Konsep “stereotaksis” ini dilakukan melalui pemasangan secara bersamaan alat immobilisasi yang *rigid* dengan aplikasi masker lokalisasi stereotaktik. Terdapat berbagai jenis sistim masker stereotaktik antara lain masker invasif seperti masker stereotaktik Leksell, masker Spiegel-Wycis, masker Todd-Wells, dan masker non invasif yang dikenal dengan metode *frameless radiosurgery* (Gambar 1). Menurut studi dari Ramakhrisna N dkk,⁷ tidak ada perbedaan dalam hal akurasi antara masker invasif dibandingkan dengan masker non invasif. Walaupun lebih banyak dijumpai pergerakan intra-fraksi dengan masker non-invasif, namun masih dalam batas kewajaran dalam prosedur stereotaktik. Pada metode masker non-invasif sangat dianjurkan untuk menggunakan verifikasi *image-guided* berupa foto kiloVoltage (kV) planar atau dengan *cone-beam CT-Scan*.³⁻⁷



Gambar 1. (A) Masker invasif Leksell G Frame.
(B) Masker non-invasif: *frameless mask*⁷

Konsep visualisasi target radiasi dengan menggunakan pencitraan 3 dimensi dilengkapi dengan penanda fidusial pada masker lokalisasi stereotaktik. Penanda fidusial ini berguna untuk memastikan kesesuaian sistim koordinat pencitraan dan sistim koordinat stereotaktik. Hal ini penting karena dapat memastikan lokalisasi dari setiap *voxel* yang dihasilkan dari pencitraan dengan lokasi sebenarnya menurut koordinat stereotaktik, sehingga klinisi dapat melakukan prosedur ablatif pada lokasi

yang tepat.^{3,4}

Persyaratan dapat dilakukannya SRS adalah penentuan target radiasi secara tepat, batas tumor dapat didefinisikan secara jelas, ukuran tumor dengan diameter maksimal < 4 cm, terdapat jarak antara tumor dan jaringan sehat, penentuan dosis berdasarkan diagnosis patologi, serta sebaran dosis yang curam di luar target radiasi sehingga dosis jaringan sehat di luar target dapat serendah mungkin.³

Berbagai teknik SRS

SRS berdasarkan sumber radiasi dapat dibagi menjadi 3 tipe, yaitu sinar gamma dari peluruhan radioaktif Kobalt-60, foton dan partikel proton. Pesawat yang menggunakan sinar gamma adalah GammaKnife[®]. Pesawat yang menggunakan foton adalah LINAC dengan spesifikasi khusus, contohnya adalah Tomotherapy[®], Novalis[®] dan Vero[®]; dan LINAC yang dipasang pada lengan robot pada CyberKnife[®]. Pesawat yang menggunakan partikel proton adalah akselerator proton.³⁻⁵

Ada 4 skema dasar dari pemberian terapi radiasi pada SRS, yaitu fiksasi dari pasien dan fiksasi dari sumber berkas radiasi (contohnya terapi proton); pergeseran pasien dan fiksasi dari sumber berkas radiasi (contohnya pesawat GammaKnife[®]); fiksasi pasien dan pergeseran dari sumber berkas radiasi (CyberKnife[®] dan LINAC); dan pergeseran pasien dan pergeseran dari sumber berkas radiasi (Tomotherapy[®]).⁸

Terdapat beberapa teknik dalam SRS. Beberapa teknik yang penting antara lain:

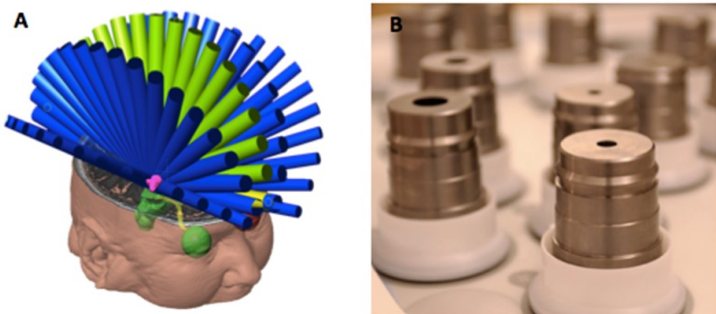
(i) Lengkung sirkuler (*circular arc*)

Teknik lengkung sirkuler menggunakan gabungan beberapa teknik lengkung konvergen (*converging arc*) (Gambar 2). Teknik lengkung konvergen merupakan salah satu metode yang diciptakan pertama kali untuk SRS. Metode ini menggunakan kombinasi dari penyudutan *couch* dan *gantry* dengan satu atau beberapa isosenter diletakkan pada volume target. Untuk panjang lengkungan sirkuler yang sama disertai dengan pembebanan berkas sinar yang sama dan penyudutan *couch* yang sama, dapat menghasilkan distribusi isodosi menyerupai elips. Untuk tumor yang besar dan bentuknya kompleks dapat menggunakan beberapa isosenter untuk dapat meliputi seluruh target radiasi dengan dosis adekuat, namun konsekuensinya dapat menyebabkan peningkatan heterogenitas dosis dan

waktu terapi yang lebih panjang.⁹⁻¹¹

Teknik lengkung sirkuler digunakan pada pesawat GammaKnife® dan pesawat LINAC yang dilengkapi dengan kolimator berbentuk kerucut. Kolimator berbentuk kerucut pada pesawat LINAC memiliki ukuran lebih beragam dibandingkan pesawat GammaKnife®, sehingga dapat mengurangi jumlah isosenter untuk mencakup seluruh target radiasi.^{9,10}

Untuk perencanaan radiasi dengan teknik lengkung sirkuler, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan sehingga dapat mencapai konformalitas target radiasi. Aspek tersebut antara lain: jumlah dari lengkung, panjang lengkung, pengaturan penyudutan dari tiap lengkung, pembebanan dari tiap lengkung dan jumlah isosenter. Pergerakan *gantry* pada teknik lengkung sirkuler adalah statik dan laju dosis tetap.^{9,10}



Gambar 2. (A) Teknik SRS lengkung sirkuler
(B) Kolimator berbentuk kerucut.

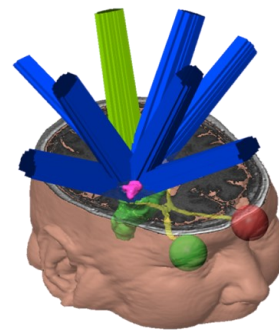
(ii) Radioterapi konformal 3 dimensi (*3-dimensional conformal radiotherapy/3-CRT*)

Radioterapi konformal 3 dimensi merupakan konsep radiasi yang menggunakan konsep pengaturan berkas sinar yang lebih kompleks agar diperoleh cakupan sinar yang disesuaikan dengan bentuk tumor yang disebut dengan konformalitas. Selain konformalitas, 3D-CRT bertujuan untuk mengurangi dosis radiasi pada jaringan sehat dan untuk memperoleh sebaran dosis homogen.^{9,10} (Gambar 3)

Teknik 3D-CRT menggunakan pengaturan berkas sinar statik di mana bentuk lapangan radiasi mengikuti bentuk proyeksi volume target pada *beam-eye view* (BEV) dan harus menggunakan 1 isosenter. Bentuk lapangan radiasi dibentuk dengan menggunakan kolimator berbilang multipel (*multileaf collimator / MLC*). Untuk SRS lebih

dianjurkan menggunakan *micro-MLC* (mMLC), agar diperoleh konformalitas, akurasi dan presisi yang lebih baik. Keuntungan dari penggunaan mMLC dibandingkan dengan kolimator kerucut adalah distribusi dosis yang sebanding namun homogenitas yang lebih baik.^{9,10}

Pada saat perencanaan radiasi dengan teknik ini, sejumlah berkas sinar diperlukan untuk mencapai konformalitas. Semakin sedikit berkas sinar, konformalitas semakin berkurang dan dosis pada jaringan sehat akan bertambah. Teknik ini lebih sesuai untuk lesi berbentuk konveks. Untuk lesi konkav, lebih dianjurkan menggunakan teknik lain, dosis pada jaringan sehat akan lebih banyak dan lebih tinggi jika menggunakan teknik ini.^{9,10}



Gambar 3. Teknik SRS radioterapi konformal 3 dimensi

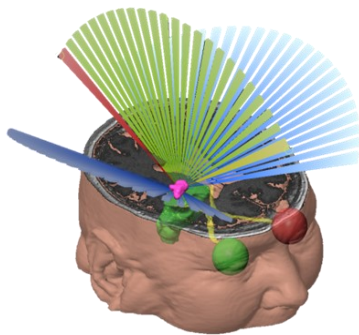
(iii) Lengkung konformal dinamik (*Dynamic conformal arc / DCA*)

Teknik lengkung konformal dinamik biasanya digunakan pada pesawat LINAC, di mana perencanaan radiasi dengan kombinasi rotasi *gantry* yang bersifat dinamik dan *couch*. Kecepatan pergerakan *gantry* dan laju dosis bersifat tetap tanpa ada perubahan fluensi berkas sinar. Teknik ini menggunakan konsep berkas sinar konformal dan lengkung untuk mengurangi dosis jaringan sehat akan menghasilkan distribusi dosis seperti elips. Teknik ini memiliki beberapa keuntungan yaitu, tidak ada lapangan *opposing lateral*, sehingga distribusi dosis menjadi lebih curam di perbatasan tumor dan jaringan sehat, petugas tidak perlu sering masuk ke ruangan terapi, karena biasanya lebih sedikit lengkung yang dibutuhkan dibandingkan teknik lengkung sirkuler, waktu terapi yang lebih singkat dan jumlah *monitor units* (MU) yang lebih sedikit. Kelemahan teknik ini adalah konformalitas tidak sebaik teknik *intensity*

modulated radiation therapy (IMRT) untuk target yang bentuknya kompleks.^{9,10}

Teknik lengkung konformal dinamik dapat menggunakan kolimator berbentuk kerucut atau MLC. Apabila menggunakan kolimator berbentuk kerucut, variasi kombinasi ukuran kolimator, penempatan isosenter dari beberapa isosenter dan waktu terapi diatur untuk mencapai konformalitas.^{9,10} (Gambar 4) Apabila menggunakan MLC, bentuk lapangan radiasi akan disesuaikan dengan bentuk target radiasi dan keberadaan struktur normal disekitarnya dan akan menggunakan 1 isosenter. Untuk mencapai konformitas target radiasi, biasanya 3 atau 4 lengkung non koplanar cukup untuk menghasilkan distribusi dosis yang diharapkan.^{9,10}

Pada saat perencanaan radiasi dengan teknik ini, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah jumlah lengkung, panjang lengkung, pengaturan dari lengkung dan fluensi harus sama.^{9,10}

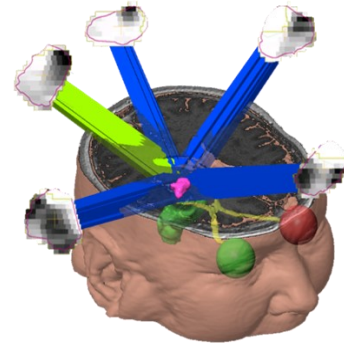


Gambar 4. Teknik SRS lengkung konformal dinamik

(iv) Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)

IMRT merupakan teknik radioterapi 3D-CRT tahap lanjut yang memberikan radiasi dengan konformalitas tinggi terhadap target radiasi yang bentuknya sederhana maupun kompleks, di mana setiap berkas sinar mempunyai intensitas inhomogen karena pengaturan berkas sinar dan intensitas setiap berkas sinar dilakukan secara terkomputerisasi (Gambar 5). Perencanaan radiasi yang dilakukan dengan optimasi komputer dikenal sebagai *inverse planning*. Untuk memodulasi intensitas sehingga dihasilkan distribusi dosis yang diharapkan, setiap berkas sinar akan memiliki beberapa segmen dengan intensitas berbeda. Pada IMRT digunakan *gantry* statik.^{9,10}

Keuntungan dari IMRT adalah dapat menghasilkan distribusi dosis untuk target yang bentuknya kompleks dan berbentuk konkav, pinggir dosis yang turun cepat (*rapid fall off*), sehingga dosis pada jaringan sehat lebih rendah dan distribusi dosis yang homogen dalam tumor. Kelemahan dari IMRT adalah waktu terapi yang lebih lama, jumlah monitor unit (MU) yang lebih banyak dan paparan dosis rendah pada jaringan sehat yang lebih luas.⁹⁻¹¹

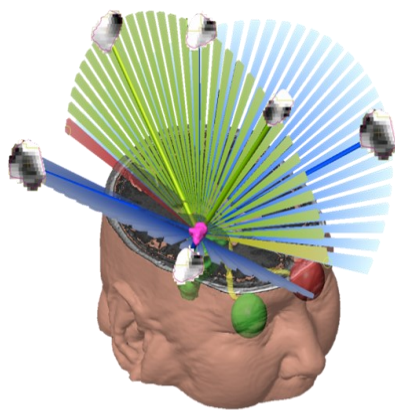


Gambar 5. Teknik SRS *intensity modulated radiation therapy*

(v) Volumetric Modulated radiation therapy (VMAT) – Hybrid arc

VMAT merupakan pengembangan dari teknik IMRT, di mana pada VMAT menggunakan *gantry* dinamik. Pada VMAT, terdiri dari 3 komponen, yaitu modulasi intensitas berkas sinar, modulasi laju dosis dan modulasi dari kecepatan putaran *gantry*. VMAT dapat diberikan dengan beberapa putaran dalam 1 lengkung, baik searah jarum jam, maupun berlawanan jarum jam. Keuntungan dari VMAT dibandingkan dengan IMRT adalah distribusi dosis dan homogenitas sebaik IMRT, namun waktu terapi dan jumlah MU yang lebih sedikit (Gambar 6).¹¹⁻¹³

Hybrid Arc[®] merupakan kombinasi dari DCA dan IMRT, jadi hampir menyerupai VMAT. Perbedaan mendasar dengan VMAT adalah 1 putaran untuk setiap lengkung, laju dosis konstan dan kecepatan *gantry* konstan. Teknik ini lebih baik dibandingkan IMRT dalam hal efektivitas, yaitu waktu terapi dan jumlah MU yang lebih sedikit, namun untuk konformalitas pada target konveks lebih baik dengan IMRT.^{11,14}



Gambar 6. Teknik SRS *volumetric modulated arc therapy*

Kesimpulan

Terdapat beberapa teknik dalam SRS. Penentuan teknik yang digunakan harus ditentukan berdasarkan kebutuhan pasien dengan mempertimbangkan keuntungan dan kerugian. Teknik lengkung sirkuler merupakan teknik SRS dengan konformalitas terbaik, namun memiliki kelemahan berupa waktu terapi yang lama, jumlah MU yang tinggi, dan distribusi dosis yang tidak homogen. Pemberian SRS dengan teknik dinamik lebih efisien dalam hal waktu terapi dan jumlah MU dibandingkan dengan teknik statik. 3D-CRT dan IMRT menghasilkan distribusi dosis yang homogeny. Kombinasi lengkung dinamik dan IMRT dalam teknik Hybrid-Arc® dan VMAT dapat memberikan keuntungan berupa distribusi dosis dengan konformalitas tinggi dan homogen, namun jumlah MU yang lebih rendah dan waktu terapi yang lebih singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Schulder M, Patil V. The history of stereotactic radiosurgery. In: Chin LW, Regine WF (ed). Principles and practice of stereotactic radiosurgery. New York: Springer, 2008. p. 3-7.
- Lasak JM, Gorecki JP. The history of stereotactic radiosurgery and radiotherapy. *Otolaryngol Clin N Am* 2009; 42: 593-599.
- Sheehan JP, Schlesinger D, Yen CP. The radiobiology and physics of radiosurgery. In: Winn RH (ed). *Youmans neurological surgery*. 6th ed. Philadelphia: Saunders, 2011. p. 2563-2570.
- Simpson JR, Drzymala RE, Rich KM. Stereotactic radiosurgery and radiotherapy. In: Brady LW, Heilmann HP, Molls M (ed). *Technical basis of radiation therapy. Practical clinical applications*. 4th ed. Berlin: Springer 2006. p. 233 – 251.
- Niranjan A, Maitz AH, Lunsfold A, Gerszten PC, Flickinger JC, Kondziolka D et al. Radiosurgery techniques and current devices. *Prog Neurol Surg* 2007; 20: 50 – 67.
- Heller C, Yu Cheng, Apuzzo MLJ. Techniques of stereotactic radiosurgery. In: Chin LW, Regine WF (ed). Principles and practice of stereotactic radiosurgery. New York: Springer, 2008. p. 25-30.
- Ramakhrisna N, Rosca F, Friesen S, Tezcanli E, Zygmanszki P, Hacker F. A clinical comparison of patient setup and infra-fraction motion using frame-based radiosurgery versus a frameless image-guided radiosurgery system for intracranial lesions. *Radiother Oncol* 2010; 95: 109-115.
- Ma LJ, Murphy M. Designing, building and installing a stereotactic radiosurgery unit. In: Chin LW, Regine WF (ed). Principles and practice of stereotactic radiosurgery. New York: Springer, 2008. p. 91-103.
- Huang Chi. Treatment of multipel brain metastases using stereotactic radiosurgery with single-isocenter volumetric-modulated arc therapy: comparison with conventional dynamic conformal arc and static beam stereotactic radiosurgery [Tesis]. Durham: Duke University. 2012.
- Shepard DM, Yu C, Murphy M, Bussiere MR, Bova FJ. Treatment planning for stereotactic radiosurgery. . In: Chin LW, Regine WF (ed). Principles and practice of stereotactic radiosurgery. New York: Springer, 2008. p. 69-90.
- Gevaert T, Levivier M, Lacornerie T, Verellen D, Engels B, Reynaert N. Dosimetric comparison of different treatment modalities for stereotactic radiosurgery of arterivenuous malformations and acoustic neuromas. *Radiother Oncol* 2013; 106: 192 – 197.
- Zhao B, Yang Y, Li X, Li T, Heron DE, Saiful Hug M. Is high-dose rate dose rate RapidArc based radiosurgery dosimetrically advantageous for the treatment of intracranial tumors? *Med Dosim* 2015; 4(1): 3-8.
- Wang JZ, Pawilicki T, Rice R, Mundt AJ, Shandu A, Lawson J et al. Intensity-modulated radiosurgery with rapidarc for multiple brain metastases and comparison with static approach. *Med Dosim* 2013; 37: 31 – 36.
- Robar JL, Thomas C. Hybrid Arc: A novel radiation therapy technique combining optimized dynamic arcs and intensity modulation. *Med Dosim* 2012; 37: 358 – 368.