

DOI: doi.org/10.21009/0305020306

VERIFIKASI DOSIMETRI TEKNIK *STEREOTACTIC BODY RADIOTHERAPY* (SBRT) METASTASIS TULANG: STUDI KASUS MENGGUNAKAN FANTOM HOMOGEN DAN INHOMOGEN

Yosi Sudarsi Asril^{1,a)}, Wahyu Edy Wibowo^{2,b)}, Supriyanto A. Pawiro^{1,c)}

¹Departemen Fisika Fakultas MIPA, Jln. Lingkar Kampus Raya, Depok 16424

²Departemen Radioterapi RSUP Cipto Mangunkusumo, Jln. Diponegoro No. 71, Jakarta Pusat 10430

Email: ^{a)}yosisudarsi@gmail.com, ^{b)}wahyu.bovie@gmail.com, ^{c)}supriyanto.p@sci.ui.ac.id

Abstrak

Kanker menyebabkan 13% dari total semua kasus penyebab kematian, dan metastasis tulang adalah komplikasi umum dari kanker yang terjadi diatas 40% pada pasien onkologi. Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) adalah salah satu teknik yang dapat menangani metastasis tulang karena dapat memberikan dosis radiasi tinggi pada volume kecil dengan margin yang sangat rapat. Dalam perencanaan radioterapi untuk foton energi tinggi sering tidak sesuai dalam mendapatkan distribusi dosis dengan keberadaan material tidak homogen. Sehingga dibandingkan hasil dosis pada dua fantom yang mempunyai densitas yang berbeda, yaitu fantom homogen (CIRS Model 002 H9K) dan fantom inhomogen (CIRS Model 002 LFC) menggunakan tiga dosimeter, yaitu mikrochamber Exradin A16, Film Gafchromic EBT3, dan TLD LiF: Mg, Ti rods. Hasil yang didapatkan dari pengukuran kedua fantom didapatkan bahwa Film Gafchromic EBT3 merupakan dosimeter terbaik dalam pengukuran dosis pada lapangan kecil dengan nilai diskrepansi 0,62% dan 1,041% pada fantom homogen dan fantom inhomogen. Mikrochamber Exradin A16 memperlihatkan kemampuannya dengan mendapatkan nilai diskrepansi -0,51% pada fantom homogen dan -2,61% pada fantom inhomogen. Sedangkan menggunakan TLD LiF:Mg, Ti rods masing-masing deskripsinya -11,81% dan -12,19% pada fantom homogen dan inhomogen.

Kata-kata kunci: *Metastasis Tulang, SBRT, Mikrochamber Exradin A16, Film Gafchromic EBT3, TLD LiF:Mg, Ti rods*

Abstract

Cancer causes 13% of all cases the cause of death, and bone metastases is a common complication of cancer that occurs above 40% in oncology patients. Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) is one technique that can handle bone metastases because it can provide a high radiation dose to a small volume with a very tight margin. In the planning of radiotherapy for high-energy photons are often not suitable to estimating dose distribution in inhomogeneous material. Therefore, compared the dose results of two phantom that has a different density, the homogeneous phantom (CIRS Model 002 H9K) and inhomogeneous phantom (CIRS Model 002 LFC) using three dosimeter; microchamber Exradin A16, Gafchromic Film EBT3, and TLD LiF: Mg, Ti rods. The result from both phantom measurements prove that the gafchromic film EBT3 is the best dosimeter in measuring dose in small field with descripancies dose 0,62% and 1,041% in homogeneous and inhomogeneous phantom. Mikrochamber Exradin A16 also showed the ability to get descripancies -0,51% and -2,61% in homogeneous and inhomogeneous phantom. While descripancies using the TLD LiF:Mg, Ti rods is -11,81% and -12,19% in homogeneous and inhomogeneous phantom.

Keywords: *Bone Metastasis, SBRT, Mikrochamber Exradin A16, Gafchromic Film EBT3, TLD LiF:Mg, Ti rods*

1. Pendahuluan

Kanker menyebabkan 13% dari total semua kasus penyebab kematian, dan metastasis pada tulang adalah komplikasi umum dari kanker yang terjadi diatas 40% pada pasien onkologi[1]. Sekitar sepertiga dari semua

pasien kanker akan mengalami metastasis tulang dan sekitar 70% metastasis akan melibatkan tulang belakang[2]. Metastasis tulang tersebut dan kanker primer itu sendiri dapat menyebabkan pasien merasakan rasa sakit yang besar dan gangguan fungsional[3]. Sehingga dikembangkan berbagai teknik untuk

mengoptimalkan pengiriman dosis radiasi untuk kasus metastasis tulang, salah satunya adalah *Stereotactic Body Radiotherapy* (SBRT)[4]. SBRT adalah salah satu teknik yang dapat menangani metastasis tulang belakang karena menggunakan berkas lapangan kecil dan memberikan dosis radiasi tinggi pada volume kecil dengan margin yang sangat rapat. SBRT memberikan dosis radiasi dalam ukuran besar, biasanya 6-30 Gy tiap fraksi. Jumlah fraksi dalam SBRT adalah lima atau lebih sedikit selama waktu tertentu untuk mencapai *biologically effective dose* (BED) tinggi[5]. Kriteria keberhasilan prosedur SBRT adalah dari cakupan dosis pada daerah permukaan *planning treatment volume* (PTV). Permukaan isodosis yang direncanakan harus dalam skala $\geq 60\%$ dan $\leq 90\%$ dosis pada pusat PTV. Kelebihan radioterapi menggunakan berkas lapangan kecil adalah pemberian dosis maksimum pada target volume dan dosis seminimum mungkin pada jaringan sehat (OAR-*Organ at Risk*) disekitarnya[6]. Walaupun begitu, menggunakan berkas lapangan kecil menghasilkan ketidakpastian dosis keluaran yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan pada berkas lapangan besar[7]. Selain itu, dalam perencanaan radioterapi untuk foton energi tinggi sering menghasilkan distribusi dosis yang tidak sesuai dengan keberadaan material tidak homogen[8]. Sehingga dilakukan penelitian menggunakan fantom dengan material yang berbeda, yaitu fantom homogen (CIRS Model 002 H9K) dan fantom inhomogen (CIRS Model 002 LFC), lalu dibandingkan hasil dosis pada kedua fantom tersebut menggunakan tiga dosimeter, yaitu mikrochamber Exradin A16, Film Gafchromic EBT3, dan TLD LiF: Mg, Ti rods.

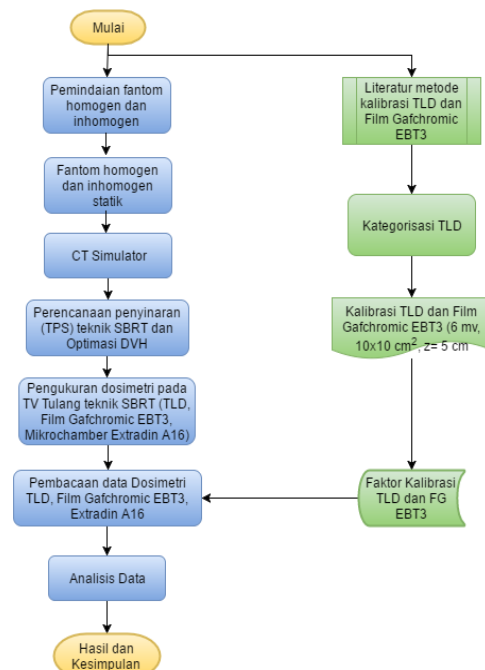
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di RSUP Cipto Mangunkusumo (RSCM), Jakarta Pusat, menggunakan beberapa alat dan material, antara lain: Pesawat LINAC Synergy Elekta, TPS pinnacle³, pesawat CT Simulator GE *Brightspeed*, fantom CIRS inhomogen model 002 LFC, fantom CIRS homogen model 002 H9K, dosimeter TLD LiF:Mg,Ti rod, Film gafchromic EBT3, dan detektor bilik ionisasi Exradin A16.

Kalibrasi dilakukan pada dosimetri TLD dan Film Gafchromic EBT3. Kalibrasi TLD dilakukan untuk mendapatkan hubungan nilai bacaan TLD dengan nilai dosis. Kalibrasi film gafchromic EBT3 dilakukan untuk menentukan hubungan antara dosis dengan bacaan *pixel value* film. Baik kalibrasi TLD maupun film gafchromic EBT3 dilakukan menggunakan dosis tinggi yang rentang dosisnya dari 500-1800 cGy. Kalibrasi dilakukan menggunakan *solid water phantom* yang dipapar dengan energi foton 6 MV, menggunakan teknik SSD 100 cm, luas lapangan 10 x 10 cm², dan kedalaman (z) 5 cm. Hanya TLD yang sensitivitasnya memiliki standar deviasi $\pm 3\%$ yang digunakan pada setiap kelompok TLD yang terdiri dari 3 buah rod TLD.

Sebelum pengukuran, dilakukan pemindaian terhadap kedua fantom menggunakan CT Simulator GE *BrightSpeed*. Pemindaian pada kedua fantom sangat penting dilakukan untuk kepentingan perencanaan dimana titik referensi dan volume target dapat diketahui, berhubung pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran dosis titik yang dilakukan tepat pada *isocenter*.

Hasil citra per *slice* yang didapatkan dari pemindaian tersebut, akan dikirim ke *software* TPS Pinnacle³ dan kemudian dilakukan proses *counting* serta perencanaan radiasi yang akan diterapkan. Perencanaan radioterapi teknik SBRT menggunakan TPS Pinnacle³ dengan teknik perhitungan *forward planning* dengan dosis preskripsi 5 Gy untuk 12 fraksi pada titik *isocenter* tulang. Setelah itu, dilakukan pengukuran dosimetri pada target tulang menggunakan tiga dosimeter, yaitu mikrochamber Exradin A16, Film Gafchromic EBT3, dan TLD LiF: Mg, Ti rods. Metode penelitian dapat diilustrasikan seperti yang terlihat pada Gambar 1. Pada Gambar 2 terlihat ilustrasi pengukuran menggunakan fantom homogen.



Gambar 1. Diagram Penelitian



Gambar 2. Pengukuran menggunakan Exradin A16 pada Fantom Homogen

Analisa data dosimetri dilakukan dengan mengkalkulasi besarnya perbedaan dosis (diskrepansi) relatif antara nilai dosis dari hasil data dosimetri pada pengukuran ($D_{measured}$) dengan nilai dosis hasil perencanaan TPS ($D_{planned}$) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Diskrepansi } (\Delta\%) = \left(\frac{D_{measured} - D_{planned}}{D_{planned}} \right) \times 100$$

dengan $D_{measured}$ adalah nilai dosis hasil pengukuran dan $D_{planned}$ adalah nilai dosis hasil perhitungan perencanaan TPS.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran dosis di titik target pada fantom homogen dan fantom inhomogen dilakukan menggunakan tiga dosimeter; Film Gafchromic EBT3, Mikrochamber Exradin A16, dan TLD LiF: Mg,Ti rods. Ketiga dosimeter diukur pada titik isocenter pada target tulang yang disesuaikan dengan perencanaan yang telah dibuat.

Secara umum, pengukuran kedua fantom menggunakan teknik SBRT menunjukkan hasil yang baik walaupun pengukuran didominasi dengan pola *underestimate* (dosis yang terukur lebih rendah dibandingkan dosis perencanaan). *Stereotactic Body Radiotherapy* (SBRT) adalah salah satu teknik yang menggunakan radiasi lapangan kecil dimana dalam penerapannya sering terjadi kesulitan. Penggunaan lapangan kecil bertujuan untuk meningkatkan keakuratan dosis tinggi semaksimal mungkin pada target volume kecil dengan margin yang sangat rapat. Hal ini dapat terjadi dikarenakan lapangan radiasi yang digunakan tereduksi dan memungkinkan bentuk lapangan yang mendekati bentuk tumor yang sebenarnya. Walaupun begitu, gradien dosis yang tinggi pada berkas radiasi lapangan kecil menyebabkan pertubasi dosis yang disebabkan oleh kondisi ketidakseimbangan dosimetri terhadap lapangan standar yang telah tereduksi. Ada tiga kondisi yang terjadi apabila berkas foton eksternal dibentuk pada lapangan kecil (IAEA-AAPM Cop) yaitu; terjadinya *lateral electronic disequilibrium*, terjadinya penurunan gradien dosis yang curam akibat *partial occlusion* pada sumber foton primer, dan terjadinya efek *volume averaging*.

Lateral Electronic Disequilibrium (LED) adalah salah satu fenomena dimana tidak terpenuhinya *charged particle equilibrium* atau ketidakseimbangan elektron yang disebabkan oleh ukuran lapangan radiasi yang lebih kecil dibandingkan jangkauan elektron pada bagian lateral, sehingga mengurangi nilai dosis atau *underestimate* dikarenakan menyimpangnya elektron yang keluar dari berkas sumbu utama[9]. Selain *Lateral Electronic Disequilibrium* (LED), efek *volume averaging* juga mempengaruhi terjadinya pertubasi dosis. *Volume averaging* adalah efek dimana ionisasi chamber kehilangan resolusi spasialnya dikarenakan

ukuran lapangan radiasi sama atau lebih kecil dibandingkan dengan ukuran ionisasi chambernya. Rerata dosis yang terukur pada seluruh volume akan terbatas pada ukuran volume dari ionisasi chamber.

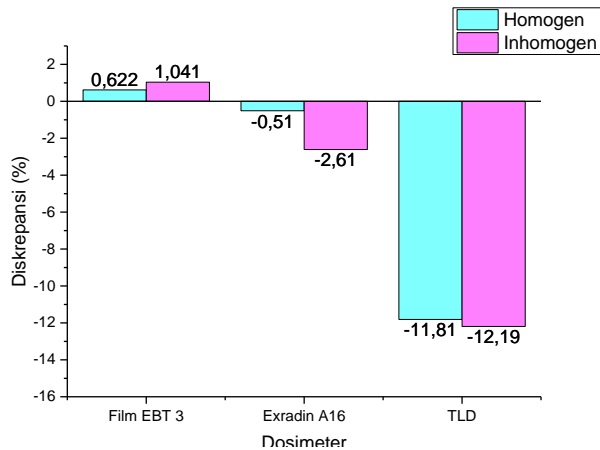
Jika ditinjau dari karakteristik masing-masing fantom, komposisi dan densitas juga dapat mempengaruhi nilai diskrepansi tiap dosimeter. Terlihat bahwa karakteristik fantom inhomogen terdiri dari berbagai densitas, yaitu paru, tulang dan jaringan lunak, sedangkan karakteristik fantom homogen hanya terdiri dari densitas jaringan lunak (*soft tissue*) dan tulang. Adanya efek inhomogenitas ini juga mempengaruhi penurunan dosis disebabkan terdapatnya berkas foton pada rongga udara dalam paru, karena foton energi tinggi sering menghasilkan distribusi dosis yang tidak sesuai dengan keberadaan material tidak homogen[8]. Nilai diskrepansi untuk keseluruhan dosimeter dapat dilihat pada Gambar 3.

Jika ditinjau dari masing-masing dosimeter, film gafchromic EBT3 merupakan satu-satunya dosimeter yang mendapatkan pola *overestimate* (dosis yang terukur lebih tinggi dibandingkan dosis perencanaan), yaitu sekitar 0,62% pada fantom homogen dan 1,04% pada fantom inhomogen. Hal ini dikarenakan karakteristik film gafchromic EBT3 memiliki resolusi spasial yang tinggi, respon yang linear terhadap dosis yang diberikan dan tidak terpengaruh oleh efek *volume averaging*. Selain itu, pengukuran film gafchromic EBT3 menggunakan *holder* berbahan teflon yang dapat sedikit mempengaruhi atenuasi dosis yang diterima oleh film gafchromic EBT3. Oleh karena itu, hasil pengukuran yang didapatkan *overestimate* meskipun masih dalam rentang deviasi dosis yang dihasilkan oleh kurva kalibrasi film gafchromic EBT3 yaitu disekitar 1% hingga 3%.

Hasil yang dicapai oleh dosimeter Exradin A16 mendapatkan pola *underestimate* pada kedua fantom. Walaupun nilai diskrepansinya *underestimate* dan menunjukkan adanya efek *volume averaging*, nilai dosis yang terukur tidak begitu jauh dengan dosis yang direncanakan, dimana dihasilkan diskrepansi -0,51% pada fantom homogen dan -2,61% pada fantom inhomogen. Hal tersebut cukup membuktikan kemampuan Exradin A16 sangat baik dalam pengukuran dosis tinggi pada lapangan kecil. Jenis mikrochamber ini memiliki volume aktif sekitar 0,007 cm³ yang cocok dalam pengukuran lapangan kecil[10].

Sedangkan dosimeter TLD LiF:Mg,Ti rod memiliki akurasi yang buruk dibandingkan dua dosimeter lainnya dan diskrepansinya cukup jauh yaitu -11,81% pada fantom homogen dan -12,19% pada fantom inhomogen. Hal ini dikarenakan TLD adalah dosimeter dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi, selain karena ukuran dimensinya yang kecil, proses pembacaan (*reading*) dan *annealing* juga mempengaruhi optimal atau tidaknya nilai dosis didalamnya, berhubung pemnggunakan suhu yang tepat agar elektron terlepas dari *trap* dalam TLD[11].

Walaupun begitu, nilai diskrepansi yang didapatkan sesuai dengan spesifikasi TLD-100 yang menyatakan nilai akurasi dari TLD ini bernilai $\pm 15\%$ [12]. Untuk lebih jelasnya, nilai diskrepansi ketiga dosimeter dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengukuran fantom homogen dan inhomogen pada TV tulang

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada fantom homogen dan fantom inhomogen, didapatkan kesimpulan bahwa pengukuran pada metastasis tulang di lapangan kecil sangat dipengaruhi oleh berbagai kondisi yang berdampak pada distribusi dosis yang dihasilkan oleh masing-masing dosimeter. Sehingga dibutuhkan dosimeter yang tepat untuk memverifikasi dosis pada lapangan kecil. Secara umum, Film Gafchromic EBT3 menunjukkan hasil yang baik dibandingkan dosimeter lainnya, dan dapat menjadi pilihan dosimeter yang cocok dalam pengukuran dan verifikasi dosis titik.

Ucapan Terimakasih

Ucapan Terimakasih penulis berikan kepada Wahyu Edy Wibowo dan seluruh Fisikawan Medis Departemen Radioterapi Rumah Sakit Cipto Mangunkusumo yang membantu penulis selama proses persiapan dan penelitian ini berlangsung, DRPM Hibah UI, Laboratorium Fisika Medis Universitas Indonesia, dan tim *Small Field* yang selalu bertukar pikiran dan berdiskusi dengan penulis selama mewujudkan penelitian ini.

Daftar Acuan

[1] C. Greco, O. Pares, N. Pimentel, E. Moser, V. Louro, X. Morales, B. Salas, and Z. Fuks, Spinal metastases: From conventional fractionated radiotherapy to single-dose SBRT, Reports Pract. Oncol. Radiotherapy.

20 (2015), p. 1–10.

[2] G. M. Berardino De Bari, Filippo Alongi, Gianluca Mortellaro, Rosario Mazzola, Schiappacasse Luis, Spinal Metastases: Is Stereotactic Body Radiation Therapy Supported by evidences, Crit. Rev. Oncology/Hematology (2015), p. 1–12.

[3] G. Bedard and E. Chow, The failures and challenges of bone metastases research in radiation oncology, J. Bone Oncol. 2 (2013), p. 84–88.

[4] X. S. Wang, L. D. Rhines, A. S. Shiu, J. N. Yang, U. Seleak, I. Gning, P. Liu, P. K. Allen, S. S. Azeem, P. D. Brown, H. J. Sharp, D. C. Weksberg, C. S. Cleeland, and E. L. Chang, Stereotactic body radiation therapy for management of spinal metastases in patients without spinal cord compression: A phase 1-2 trial, Lancet Oncol. 13 (2012), p. 395–402.

[5] S. H. Benedict, D. Followill, J. M. Galvin, W. Hinson, B. Kavanagh, P. Keall, M. Lovelock, S. Meeks, T. Purdie, M. C. Schell, B. Salter, T. Solberg, D. Y. Song, R. Timmerman, D. Verellen, and L. Wang, Stereotactic body radiation therapy : The report of AAPM Task Group 101, (2010), p. 4078–4101.

[6] J. U. Wuerfel, Dose measurements in small fields, Med. Phys. Int. 1 (2013), p. 81–90.

[7] R. Alfonso, P. Andreo, R. Capote, H. M. Saifu, W. Kilby, T. R. Mackie, H. Palmans, K. Rosse, J. Seuntjens, W. Ullrich, and S. Vatnitsky, A New Formalism for Reference Dosimetry of Small and Nonstandard Fields, Med. Phys. 35 (2008), p. 5179–5186.

[8] M. Engelsman, E. M. F. Damen, K. De Jaeger, K. M. Van Ingen, and B. J. Mijnheer, The effect of breathing and set-up errors on the cumulative dose to a lung tumor, Radiotherapy Oncol. 60 (2001), p. 95–105.

[9] B. Disher, The Impact of Lateral Electron Disequilibrium on Stereotactic Body Radiation Therapy of Lung Cancer, Electronic Thesis and Dissertation Repository, The University of Western Ontario. paper 1517 (2013). p. 1-168

[10] M. R. McEwen, Measurement of ionization chamber absorbed dose $k(Q)$ factors in megavoltage photon beams., Med. Phys. 37 (2010), p. 2179–2193.

[11] A. Fitriandini, Comparison of dosimeter response: ionization chamber, TLD, and Gafchromic EBT2 film in 3D-CRT, IMRT, and SBRT techniques for lung cancer, J. Phys. Conf., 694 (2016), p. 1-6.

[12] Thermo Scientific. *Specification of TLD-100 Thermoluminescence Material*, United States: Thermo Fisher Scientific Inc (2015).