

DOI: doi.org/10.21009/0305020302

PENGARUH KEDALAMAN PADA *OUTPUT FACTOR* LAPANGAN KECIL DENGAN DETEKTOR *THERMOLUMINESENSE DOSIMETER* RODS DAN *IONIZATION CHAMBER* EXRADIN A16

Laras Ati Nur Fatimah^{1, a)}, Andrian Dede Handika^{2, b)}, Wahyu Edy Wibowo^{3, c)},
Supriyanto Ardjo Pawiro^{4, d)}

^{1,2,4}FMIPA, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, Jawa Barat 16424

³ Departemen Radioterapi, RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo, Jl. Diponegoro No. 71, Senen, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10430

Email : ^{a)}fatimalarasati06@gmail.com, ^{b)}andriandedehandika@gmail.com, ^{c)}wahyu.bovie@gmail.com
^{d)}supriyanto.p@sci.ui.ac.id

Abstrak

Radioterapi dengan teknik modern menjadi pilihan terapi radiasi yang lebih akurat dan presisi. Radioterapi modern dilakukan dengan lapangan kecil untuk membentuk lapangan radiasi yang konformal dengan bentuk target tumor pasien. Penggunaan lapangan kecil berhubungan dengan *Treatment Planning System* (TPS) yang menjamin pemberian terapi radiasi tepat sesuai dengan dosis yang di preskripsikan oleh dokter onkologi radiasi. Lapangan kecil merupakan lapangan radiasi yang ukurannya lebih kecil dibandingkan jangkauan elektron lateralnya. Keadaan ini memungkinkan gangguan dosis, dimana dosis yang diterima detektor berbeda dengan dosis sebenarnya. *Commissioning* merupakan prosedur awal dalam menyediakan data pesawat yang digunakan pada perhitungan TPS. Tahap penting dari proses tersebut adalah pengukuran faktor keluaran. Faktor keluaran penting untuk penentuan ketepatan perhitungan dosis TPS. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor keluaran berkas lapangan kecil dengan *thermoluminesense dosimeter* LiF dan mikrochamber Exradin A16. Lapangan radiasi yang digunakan adalah 10x10 cm²; 4x4 cm²; 2.4x2.4 cm²; dan 0.8x0.8 cm² dengan solid water phantom berukuran 30x30cm² dibandingkan dengan perhitungan TPS Pinnacle³. Hasil kurva faktor keluaran berdasarkan pengukuran dengan menggunakan Exradin A16 memiliki deskripsi yang lebih kecil dibandingkan dengan TLD. Hal tersebut ditunjukkan dengan kedekatan nilai pengukuran dengan nilai perhitungan TPS.

Kata kunci : *output factor; radioterapi; lapangan kecil; thermoluminesense dosimeter; ionization chamber*

Abstract

Radiotherapy with modern technique is a new choice of accurate and precision radiation therapy. Modern radiotherapy done with the used of small field to shape the field that conform with the volume target. The use of small field related with the treatment planning system (TPS) that assure the treatment delivery correspond with the prescribe dose. Small field is a field with a size less than the lateral range of their charge particles. This condition enable to produce a perturbation of the dose. Commissioning is early procedure to provide machine data to calculate the dose in TPS. The important step is output factor measurement. Output factor important to make sure TPS calculate accurate dose. This research shows output factor measurement with thermoluminesense dosimeter (TLD) LiF an ionization chamber Exradin A16. Radiation field size was 10x10 cm²; 4x4 cm²; 2.4x2.4 cm²; and 0.8x0.8 cm² was used with the solid water phantom measurement. The result then compared with the calculation of TPS Pinnacle³. The result shows, the decrease of field size, the decreased of the dose output. The output factor measurement with Exradin A16 shows lower discrepancies than the TLD measurement. The result compared with the extrapolation data of the TPS.

Keywords: *output factor, small field, radiotherapy, Exradin A16, Thermoluminesense Dosimeter*

1. PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan terapi kanker dengan menggunakan radiasi, baik foton, elektron maupun partikel lain. Di Indonesia sendiri, terapi kanker dengan terapi radiasi telah lama dilakukan. Beberapa teknik radiasi modern seperti *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT), *Stereotactic Body Radiation Therapy* (SBRT), dan *Stereotactic Radiosurgery* (SRS) memungkinkan pemberian radiasi yang lebih konformal terhadap bentuk target tumor pasien. Optimisasi tersebut dilakukan dengan menggunakan lapangan yang kecil di dalam lapangan yang sering dikenal dengan *segment*. Penggunaan lapangan kecil akan menjamin pemberian radiasi pada pasien lebih akurat dan presisi pada target tumor pasien dengan radiasi yang mengenai jaringan sehat lebih kecil dibandingkan menggunakan teknik konvensional. Pada radioterapi kanker, *commissioning* sangat penting untuk menyediakan data pesawat yang terkoneksi dengan *Treatment Planning System* (TPS). Salah satu prosedur *commissioning* tersebut adalah pengukuran faktor keluaran (*output factor*) pesawat radiasi. *Output factor* (OF) penting dalam menentukan ketepatan perhitungan dosis TPS. Ketepatan pengukuran OF akan berpengaruh pada hasil perhitungan dosis pada TPS. Penurunan output faktor akan menyebabkan dosis terukur lebih tinggi dibandingkan dosis terkalkulasi pada TPS dan sebaliknya (Azimi *et al.*, 2012). Oleh karena itu, pengukuran OF akan sangat penting dengan digunakannya teknik modern yang melibatkan penggunaan lapangan kecil khususnya $<4 \times 4 \text{ cm}^2$.

Lapangan kecil (*small field*) adalah lapangan dengan ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan range lateral dari partikel bermuatannya. Beberapa penelitian merumuskan lapangan yang termasuk lapangan kecil adalah lapangan dengan ukuran $<4 \times 4 \text{ cm}^2$ (Das *et al.* 2007; Spang *et al.* 2011). Lapangan tersebut mencakup permasalahan lapangan nonstandar dengan tidak tercapainya kesetimbangan elektronik (*electronic disequilibrium*).

Dosimetri pada lapangan kecil memiliki beberapa permasalahan yang mempengaruhi dosis yang dihasilkan saat pengukuran. Beberapa permasalahan tersebut diantaranya yang pertama adalah *Charged Particle Disequilibrium*, *volume averaging*, dan *source occlusion*. Permasalahan tersebut menjadi lebih penting dalam *commissioning* faktor keluaran pesawat radiasi. Dengan pengukuran faktor keluaran yang tepat dan presisi, maka akan meningkatkan ketepatan perhitungan dosis yang dilakukan *treatment planning system*.

Penelitian Haryanto di tahun 2002 mengemukakan bahwa terjadi penurunan output faktor dengan penurunan ukuran lapangan. Pengukuran output faktor dengan menggunakan ionization chamber memiliki output faktor yang lebih

rendah dibandingkan pengukuran dengan menggunakan detektor diode, diamond, dan *pinpoint chamber*. Pengukuran OF pada lapangan kecil sebaiknya dilakukan dengan detektor yang ukurannya cukup kecil dibandingkan dengan ukuran lapangan. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi efek *volume averaging* yang akan mempengaruhi hasil bacaan detektor. Oleh karena itu, sebaiknya digunakan ukuran detektor yang cukup kecil dibandingkan ukuran lapangan sehingga mengurangi permasalahan yang kerap kali dialami pada pengukuran di lapangan kecil.

Output factor hanya merupakan pengukuran rasio output pesawat dalam situasi output di bawah kondisi referensi. Dengan "output" yang dimaksud merupakan pengukuran radiasi yang dihasilkan per satuan waktu: tingkat paparan di udara, laju dosis dalam air, tingkat fluens energi. Dalam pengukuran output factor, luas lapangan dan jenis detektor sangat berpengaruh, semakin kecil lapangan, maka nilai dari *output factor* akan menurun bergantung dengan detektor yang digunakan (Oh *et al.*, 2014). Selain menghasilkan penurunan dan perbedaan yang nilai OF signifikan, pada lapangan kecil juga terjadi variasi nilai OF yang banyak. Penelitian ini menggunakan setup pengukuran yang sama dengan perbedaan tipe detektor, dari 45 output factor untuk lapangan square 6 mm dan 18 mm, dapat terlihat nilai OF sangat bervariasi terutama pada lapangan 6 mm (Seuntjens & Ph, 2011). Oleh karena itu pada penelitian ini, ingin diketahui pengaruh dari segi kedalaman pada OF yang dihasilkan. Dengan nilai kedalaman berada pada kedalaman 10 cm dan 5 cm.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di RSUPN Cipto Mangunkusumo, Jakarta. Pengukuran dilakukan dengan detektor *Thermoluminescence Dosimeter* (TLD) LiF jenis rods dengan dimensi $1 \times 6 \text{ mm}$, dan juga ionization chamber jenis Exradin A16 dengan volume efektif 0.007 cm^3 . Pengukuran dilakukan pada pesawat *linear accelerator Elekta Synergy S* dengan foton energi tinggi 6 MV, dengan MU 200 dan dengan menggunakan *solid water phantom* berukuran $30 \times 30 \times 1 \text{ cm}^3$ sebanyak 15 buah. *Solid water phantom* ini terbuat dari *Polymethyl methacrylate* dengan densitas 1.045 g/cm^3 .

Pengukuran dilakukan dengan posisi detektor berada pada kedalaman 5 cm dan 10 cm dengan SSD 100 cm pada lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $4 \times 4 \text{ cm}^2$, $2.4 \times 2.4 \text{ cm}^2$ dan $0.8 \times 0.8 \text{ cm}^2$. Pembacaan TLD dilakukan dengan menggunakan TLD Reader Harshaw 3500. Pengukuran dengan Exradin A16 dilakukan dengan pembacaan elektrometer MAX 4000 pada tegangan kerja 300 V. Untuk memperoleh data OF hasil perhitungan ekstrapolasi TPS, sebelumnya dilakukan pemindaian fantom dengan menggunakan CT Simulator. Citra hasil pemindaian kemudian dikirim

ke TPS untuk dilakukan pemindaian dengan keadaan yang sama dengan pengukuran. Data OF berdasarkan perhitungan TPS Pinnacle³ didapat dengan melakukan perbandingan dosis pada lapangan tertentu dengan dosis pada lapangan referensi 10x10 cm² pada kedalaman yang sama yang didapat dari perhitungan TPS. Hasil perhitungan TPS merupakan hasil ekstrapolasi dikarenakan, TPS hanya memiliki nilai OF minimum pada lapangan 4x4 cm².



Gambar 1. Posisi *solid water phantom* pada saat pengambilan data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diilustrasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. pada kurva dibawah ini. Terjadi penurunan OF dengan penurunan ukuran lapangan. Penurunan drastis terlihat pada lapangan 2.4x2.4 cm² dan 0.8x0.8 cm² dengan posisi detektor berada pada kedalaman 5 cm. Hal tersebut juga terjadi pada pengukuran pada posisi detektor berada pada kedalaman 10 cm. Pada Gambar 4 juga dipaparkan bahwa posisi kedalaman detektor tidak mempengaruhi faktor keluaran pesawat. Hal tersebut sejalan dengan prinsip output faktor yang mana merupakan perbandingan keluaran pesawat pada lapangan tertentu dengan keluaran pesawat pada lapangan referensi yang pada penelitian ini adalah 10x10 cm. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan beberapa penelitian yang dilakukan dengan prinsip yang sama dengan detektor yang berlainan.

Data *output factor* yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan data Monte Carlo hasil penelitian Sánchez-Doblad di tahun 2003. Deviasi pengukuran tersebut dipengaruhi oleh efek *volume averaging* dan *lateral electronic equilibrium* yang menjadi permasalahan pada lapangan kecil. Dengan ukuran detektor yang cukup kecil seperti TLD dan *ionization chamber* Exradin A16, efek *lateral electronic disequilibrium* tetap terjadi, meskipun efek

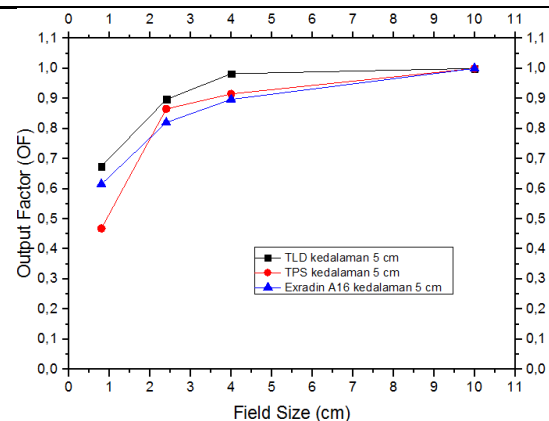
volume averaging sedikit dapat tereduksi dengan penggunaan detektor yang memiliki ukuran cukup kecil dibandingkan ukuran lapangan. Pengukuran dengan menggunakan TLD menghasilkan selisih dosis yang tinggi dengan nilai TPS dikarenakan dosimeter TLD memiliki respon dengan ketidakpastian yang tinggi sehingga pola deviasi yang dihasilkan juga tidak selalu sama. TLD memiliki penangangan khusus dalam setiap penggunaannya.

Tabel 1. Deviasi pengukuran *output factor* lapangan kecil.

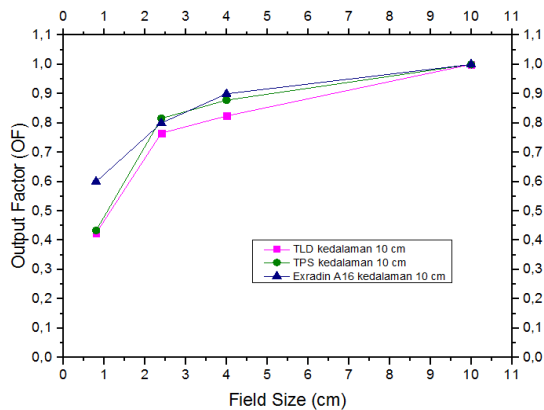
Kedalaman (cm)	Luas Lapangan (cm ²)	Deviasi		
		TLD (%)	Exradin A16 (%)	TPS (%)
5	0.8x0.8	8.7	-2.0	-23.2
	2.4x2.4	8.6	-3.3	-1.8
	4x4	6.2	1.0	2.0
	10x10	0.0	0.0	0.0
10	0.8x0.8	-45.1	-2.7	-28.3
	2.4x2.4	-10.8	-6.0	-11.6
	4x4	-8.7	0.4	-9.3
	10x10	0.0	0.0	0.0

Tabel 2. Data *output factor* lapangan kecil.

Kedalaman (cm)	Luas Lapangan (cm ²)	<i>Output factor</i>		
		TLD (%)	Exradin A16 (%)	TPS (%)
5	0.8x0.8	0.674	0.615	0.350
	2.4x2.4	0.928	0.821	0.817
	4x4	0.956	0.897	0.879
	10x10	1.000	1.000	1.000
10	0.8x0.8	0.425	0.600	0.350
	2.4x2.4	0.765	0.800	0.816
	4x4	0.824	0.900	0.878
	10x10	1.000	1.000	1.000



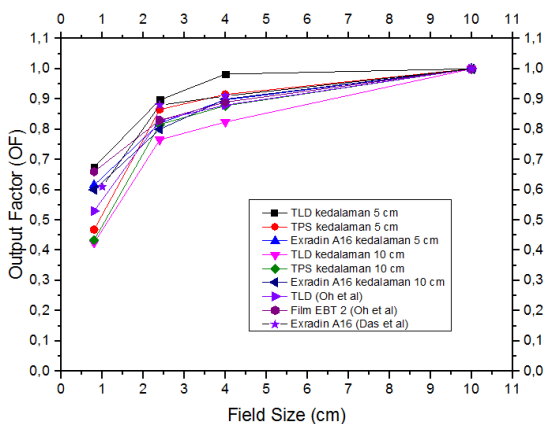
Gambar 2. *Output factor* pesawat pada kedalaman 5 cm.



Gambar 3. *Output Factor* pesawat pada kedalaman 10 cm.

Output factor berdasarkan hasil perhitungan TPS tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran. Hal tersebut menunjukkan, bahwa perhitungan TPS dengan data pengukuran masih dalam rentang yang kecil terbukti dengan kurva yang masih berada pada deviasi yang kecil dengan pola yang sama. Pengukuran pada kedalaman 5 cm dengan menggunakan TLD menunjukkan hasil *output factor* yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran Exradin A16.

Pengukuran pada kedalaman 10 cm menunjukkan hasil yang lebih tinggi dengan detektor Exradin A16 dibandingkan dengan detektor TLD. Pada Gambar 4, terlihat hasil pengukuran memiliki pola yang sama dengan beberapa referensi jurnal. Berdasarkan gambar 4 juga terlihat bahwa hasil ekstrapolasi perhitungan TPS masih berada pada rentang yang normal di dalam kurva pengukuran maupun kurva berdasarkan referensi jurnal.



Gambar 4. Perbandingan *output factor* pada kedalaman 5 cm dan 10 cm. (Das et al.,2007) (Oh et al.,2014)

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, letak kedalaman detektor tidak berpengaruh signifikan terhadap faktor keluaran pesawat, dibuktikan dengan nilai penurunan *output factor* untuk pengukuran dengan menggunakan detektor Exradin A16. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai deviasi maksimum adalah 6.0%. Namun pada pengukuran TLD dihasilkan deviasi yang lebih tinggi yaitu 45.1%. Hal tersebut dikarenakan pengukuran dengan TLD memiliki ketidakpastian yang tinggi. Deviasi nilai TPS menunjukkan nilai yang tinggi pada lapangan $0.8 \times 0.8 \text{ cm}^2$. Nilai tersebut masih dikategorikan kecil dikarenakan, hasil OF TPS diperoleh dari ekstrapolasi nilai OF pesawat yang terkecil adalah $4 \times 4 \text{ cm}^2$. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa untuk mendapatkan perhitungan yang tepat, sebaiknya dilakukan pengukuran OF pada lapangan kecil untuk meningkatkan keakurasian perhitungan TPS khususnya pada perencanaan pada lapangan kecil.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Rumah Sakit Cipto Mangunkusumo selaku pihak penyedia tempat penelitian dan Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika Universitas Indonesia yang telah menjembatani terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- Azimi, R., Alaei, P., Higgins, P., & Alto, P. (2012). The effect of small field output factor measurements on IMRT dosimetry. *Medical Physics*, 55455(8), 4691–4694.
- Benmakhlof, H., Sempau, J., & Andreo, P. (2014). Output correction factors for nine small field detectors in 6 MV radiation therapy photon beams: a PENELOPE Monte Carlo study. *Medical Physics*, 41(4), 041711.
- Cranmer-Sargison, G., Weston, S., Sidhu, N. P., & Thwaites, D. I. (2011). Experimental small field 6 MV output ratio analysis for various diode detector and accelerator combinations. *Radiotherapy and Oncology*, 100(3), 429–435.
- Das, I. J., Ding, G. X., & Ahnesjö, A. (2008). Small fields: nonequilibrium radiation dosimetry. *Medical Physics*, 35(1), 206–215.
- Haryanto, F., Fippel, M., Laub, W., Dohm, O., & Nüsslin, F. (2002). Investigation of photon beam

output factors for conformal radiation therapy--Monte Carlo simulations and measurements. *Physics in Medicine and Biology*, 47(11), N133–N143.

International Atomic Energy Agency. (2000). IAEA Technical Report Series No.398. *Atomic Energy*, 1–229.

Laub, W. U., & Wong, T. (2003). The volume effect of detectors in the dosimetry of small fields used in IMRT. *Medical Physics*, 30(3), 341–347.

Oh, S. A., Yea, J. W., Lee, R., Park, H. B., & Kim, S. K. (2014). Dosimetric Verifications of the Output Factors in the Small Field Less Than 3 cm² Using the Gafchromic EBT2 Films and the Various Detectors, 25(4), 218–224.

Pantelis, E., Moutsatsos, a., Zourari, K., Petrokokkinos, L., Sakelliou, L., Kilby, W., ... Seimenis, I. (2012). On the output factor measurements of the CyberKnife iris collimator small fields: Experimental determination of the $k_{clinMSR}$ correction factors for microchamber and diode detectors. *Medical Physics*, 39(8), 4875–4885.

Sánchez-Doblado, F., Andreo, P., Capote, R., Leal, a, Perucha, M., Arráns, R., ... Carrasco, E. (2003). Ionization chamber dosimetry of small photon fields: a Monte Carlo study on stopping-power ratios for radiosurgery and IMRT beams. *Physics in Medicine and Biology*, 48(14), 2081–2099.

Tanny, S., Sperling, N., & Parsai, E. I. (2015). Correction factor measurements for multiple detectors used in small field dosimetry on the Varian Edge radiosurgery system. *Medical Physics*, 42(9), 5370.

Wuerfel, J. U. (2013). Dose measurements in small fields. *Medical Physics International*, 1(1), 81–90.

