

# VERIFIKASI DOSIMETRI PERHITUNGAN BERKAS TERBUKA PERANGKAT LUNAK *IN-HOUSE TREATMENT PLANNING SYSTEM* (TPS) PESAWAT TELETERAPI COBALT-60

Intan A.S. Mu'minah<sup>\*)</sup>, La Ode Husein Z.T., Supriyanto A. Pawiro

Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok 16424

<sup>\*)</sup> Email: intan.apriliani@sci.ui.ac.id

## Abstrak

Saat ini, radioterapi berkas foton pesawat teleterapi cobalt-60 masih sering digunakan di Indonesia. Sebuah *in-house treatment planning systems* (TPS) telah dikembangkan oleh Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika (LFMB) Universitas Indonesia sebagai suatu perangkat lunak perencanaan terapi pesawat teleterapi cobalt-60. Pengecekan performa algoritma perhitungan TPS menjadi parameter penting dalam prosedur jaminan mutu dalam radioterapi. Pengukuran dosis serap metode penyinaran SSD konstan dilakukan pada media fantom air berdasarkan 44 buah data perencanaan terapi yang telah dibuat melalui perangkat lunak *in-house* TPS dengan variasi ukuran lapangan dan kedalaman target (isosenter) pada kondisi berkas terbuka. Deviasi dosis rata-rata yang terjadi adalah  $(1.810 \pm 2.469)\%$ , menunjukkan bahwa perhitungan *in-house* TPS untuk berkas terbuka memenuhi ketentuan toleransi klinis perhitungan suatu TPS.

## Abstract

Currently, cobalt-60 teletherapy units still often used for radiotherapy treatments in Indonesia. An *in-house treatment planning systems* (TPS) was developed by Medical Physics and Biophysics Laboratory (LFMB) Universitas Indonesia as a treatment planning software of cobalt-60 beams. Performance validation of TPS calculation is an important parameter in radiotherapy quality assurance (QA). Measurements of absorbed dose using fixed SSD treatment technique were done for 44 planning test case datasets for open beam condition with different field sizes and depths of target (isosenter). A mean dose deviations  $(1.810 \pm 2.469) \%$  indicate that *in-house* TPS calculations for open beam conditions appropriate for clinical tolerances of TPS calculation.

**Keywords:** cobalt-60 beams, dose deviation, *in-house* TPS, open beams, quality assurance

## 1. Pendahuluan

Proses terapi radiasi (baik radiasi internal maupun eksternal) merupakan prosedur kompleks yang dimulai dari diagnosa pasien dan tingkat kanker yang dialami, proses perencanaan terapi, hingga mencapai tahap pelaksanaan penyinaran radiasi terhadap pasien. Dalam radioterapi berkas eksternal, waktu penyinaran untuk pesawat teleterapi serta *monitor unit* (MU) pada penggunaan *linear accelerator* (linac) menjadi suatu parameter penting dalam menjamin ketepatan pemberian dosis kepada pasien.<sup>[1,2,3]</sup> Akurasi penentuan dosis per menit atau dosis per MU pada titik isosentrik merupakan bagian penting dari suatu proses radioterapi berkas eksternal.<sup>[4]</sup>

Sebuah *in-house treatment planning system* (TPS) telah dikembangkan oleh Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika (LFMB) Universitas Indonesia sebagai suatu perangkat lunak perencanaan terapi pesawat teleterapi cobalt-60. Pengecekan performa algoritma perhitungan TPS menjadi parameter penting dalam prosedur jaminan mutu dalam radioterapi. Upaya mereduksi kesalahan dan ketidakpastian dari perhitungan parameter dosimetri pada TPS memainkan peranan penting dalam mencapai proses

terapi yang optimal.<sup>[5]</sup> Pengecekan ini perlu dilakukan baik pada tahap *commissioning* maupun dalam pengecekan rutin oleh seorang fisikawan medis.<sup>[6,7]</sup>

Salah satu aspek penting dalam pengecekan performa perangkat lunak TPS adalah melakukan validasi perhitungan MU atau waktu penyinaran untuk berbagai kondisi berkas, dan melakukan pengukuran rutin keluaran pesawat.<sup>[5,8]</sup> Dalam rangka memperkuat keyakinan terhadap akurasi perhitungan suatu *in-house* TPS, maka bentuk verifikasi lainnya juga dapat ditempuh. AAPM merekomendasikan untuk melakukan verifikasi menggunakan perhitungan manual.<sup>[5,7,9]</sup> J. Chan dan timnya menyatakan bahwa perhitungan "tangan" mampu menunjukkan akurasi dan dapat bermanfaat sebagai metode untuk menverifikasi perhitungan MU pada TPS.<sup>[10]</sup> Selain itu, metode membandingkan hasil perhitungan *in-house* TPS dengan perangkat lunak perhitungan independen MU juga dapat menjadi alternatif.<sup>[11,12]</sup> Metode lainnya ialah dengan membandingkan hasil perhitungan *in-house* TPS dengan perangkat lunak TPS komersial yang telah diimplementasikan klinis. Starkchall dan timnya menunjukkan bahwa perbandingan beberapa TPS dapat menjadi cara dalam mengidentifikasi kesalahan

sistematik dari algoritma yang diimplementasikan pada TPS.<sup>[8]</sup>

Meninjau penjelasan di atas, maka validasi perangkat lunak *in-house* TPS yang dikembangkan oleh LFMB UI menjadi suatu proses yang perlu dilakukan. Penelitian ini dilakukan dalam rangka mengidentifikasi jika terdapat kesalahan pada algoritma TPS untuk perhitungan waktu penyinaran dalam kondisi perlakuan berkas terbuka. Pada akhirnya, hasil dari penelitian ini dapat menjadi suatu landasan agar menghasilkan suatu perangkat lunak yang akurat, sehingga dapat diimplementasikan secara klinis dalam perencanaan terapi pasien.

## 2. Metode Penelitian

Perangkat lunak *treatment planning system* (TPS) yang digunakan adalah DSSuperDose versi 1.0, sebuah *in-house* TPS yang dikembangkan oleh Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika (LFMB) Universitas Indonesia. Perhitungan waktu penyinaran dalam algoritma *in-house* TPS dilakukan berdasarkan perhitungan metode empiris dari berbagai parameter dosimetri, meliputi laju dosis, faktor keluaran (*relative dose factor*, RDF), presentase dosis kedalaman (*percentage depth dose*, PDD), rasio maksimum-fantom (*tissue maximum ratio*, TMR) dan faktor penggunaan aksesoris berkas.<sup>[2,3,4,15,16]</sup> Formulasi perhitungan waktu penyinaran untuk teknik penyinaran SSD tetap dan SAD tetap yang diimplementasikan dalam algoritma *in-house* TPS seperti ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2).<sup>[2,3]</sup> Data-data PDD dan TMR yang ditanam pada pangkalan data (*database*) *in-house* TPS berasal dari tabel data berkas cobalt-60 *BJR Supplement 25*.<sup>[15]</sup> Sementara untuk data laju dosis, RDF dan faktor aksesoris berkas diperoleh berdasarkan hasil kalibrasi pesawat.<sup>[17]</sup> Nilai RDF didefinisikan sebagai perbandingan nilai laju dosis  $\dot{D}$  pada kedalaman referensi ( $d_{ref}$ ) untuk ukuran lapangan  $r$  terhadap nilai laju dosis pada ukuran lapangan referensi  $r_{ref}$ , yang secara matematis ditentukan melalui persamaan (3). Penginputan setiap data pesawat dilakukan sebelum dilakukan pengimplementasian TPS.

Sebanyak 44 set data perencanaan terapi dibuat menggunakan *in-house* TPS untuk kondisi berkas terbuka (*open beams*) dengan dosis target adalah 50 cGy. Data-data ini meliputi perhitungan waktu penyinaran untuk variasi ukuran lapangan ( $r$ ) adalah berupa lapangan persegi 3×3, 5×5, 8×8, 10×10, 12×12, 15×15, 20×20, 25×25 dan 30×30 cm<sup>2</sup>, serta lapangan persegi panjang 5×20 dan 10×15 cm<sup>2</sup>. Variasi kedalaman target ( $d$ ) yang dipilih adalah 3, 5, 8, 10 dan 15 cm. Teknik penyinaran yang digunakan adalah teknik SSD tetap, dengan *source to surface distance* (SSD) adalah 80cm.

Pengukuran dosis serap berdasarkan data perencanaan terapi yang telah dibuat melalui perangkat lunak *in-house* TPS. Pengukuran dosis serap dilakukan dalam medium fantom air menggunakan satu set detektor bilik ionisasi PTW 30013 dan elektrometer, dengan titik pengukuran yaitu di sumbu pusat berkas. Pesawat teleterapi yang digunakan merupakan pesawat teleterapi cobalt-60 model *FCC 8000 F* dengan nomor seri 226, yang dikeluarkan oleh *Shandong Xinhua Medical Co. Ltd*, China, dengan aktivitas sumber adalah 6250 Ci pada 7 Oktober 2005. Deviasi dosis dihitung menggunakan persamaan (4). Evaluasi nilai deviasi dosis dilakukan dengan merujuk pada rekomendasi IAEA dalam *Technical Report Series (TRS)* No. 430 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.<sup>[5]</sup>

$$t = \frac{\text{Dosis tumor}}{\dot{D} \times \frac{PDD}{100} \times RDF \times W \times TF} \quad (1)$$

$$t = \frac{\text{Dosis tumor}}{\dot{D} \times TMR \times SF \times RDF \times W \times TF} \quad (2)$$

$$RDF = \frac{\dot{D}(r, Co-60)}{\dot{D}(r_{ref}, Co-60)} \quad (3)$$

$$\delta_{dosis}(\%) = \frac{\text{Dosis}_{in-house\ TPS} - \text{Dosis}_{pengukuran}}{\text{Dosis}_{pengukuran}} \times 100 \quad (4)$$

**Tabel 1.** Toleransi nilai deviasi antara dosis yang diinginkan terhadap hasil pengukuran berdasarkan TRS IAEA No.430

Toleransi	Geometri sederhana <sup>1</sup>	Geometri kompleks <sup>2</sup>	Geometri lebih kompleks <sup>3</sup>
$\delta_1$	2 %	3 %	4 %
$\delta_2$	2 mm atau 10%	3 mm atau 15%	3 mm atau 15%
$\delta_3$	3 %	3 %	4 %
$\delta_4$	3 % (30%)	4 % (40%)	5 % (50%)

Keterangan :

<sub>1</sub> Geometri sederhana, homogen.

<sub>2</sub> Geometri kompleks, *wedge*, inhomogenitas asimetri.

<sub>3</sub> Geometri lebih kompleks, kombinasi dari geometri kompleks.

$\delta_1$  adalah data sumbu pusat berkas radiasi.

$\delta_2$  adalah daerah *build-up* sumbu pusat radiasi, daerah penumbra dari profil.

$\delta_3$  adalah di luar daerah sumbu pusat radiasi.

$\delta_4$  adalah di luar tepi berkas radiasi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran dosis serap untuk kondisi berkas terbuka pada berbagai ukuran lapangan dan kedalaman target ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil ini menunjukkan kondisi *overestimate* (dosis perencanaan lebih besar daripada dosis pengukuran). Sebaran persentase deviasi dosis yang terjadi untuk kondisi berkas terbuka pada variasi ukuran lapangan ditunjukkan pada Gambar 2. Deviasi dosis maksimum adalah -11.836% pada ukuran lapangan 3×3 cm<sup>2</sup>.

Pengelompokkan data berdasarkan ukuran lapangan seperti yang dirangkum dalam Tabel 2, menunjukkan bahwa deviasi dosis rata-rata pada ukuran lapangan 5×5 hingga 30×30 masih berada dalam batas toleransi yang direkomendasikan IAEA dalam TRS No.430 seperti pada Tabel 1, yaitu  $\pm 2\%$  untuk kondisi berkas terbuka.<sup>[5,6,19]</sup> Pada ukuran lapangan 3×3 cm<sup>2</sup> deviasi dosis yang terjadi cukup besar, dengan interval deviasi dosis yaitu 4.125% hingga mencapai 11.836%. Hal ini dipengaruhi oleh data *relative dose factor* (*RDF*) untuk lapangan kecil, mengingat bahwa input data laju dosis  $\dot{D}$  yang diterapkan pada *in-house* TPS adalah untuk ukuran lapangan 4×4 hingga 25×25 cm<sup>2</sup>. Dengan demikian, perhitungan *in-house* TPS untuk ukuran lapangan 3×3 dan 30×30 akan melibatkan proses ekstrapolasi data input yang diberikan.

Berdasarkan hasil perhitungan *in-house* TPS diperoleh bahwa *RDF* untuk lapangan 3×3 adalah 0.918, sementara berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh *RDF* untuk lapangan 3×3 cm<sup>2</sup> adalah 0.785. Deviasi nilai *RDF* untuk lapangan 3×3 cm<sup>2</sup> mencapai 16.904%. Jika dibandingkan dengan hasil ekstrapolasi untuk lapangan 30×30, dengan *RDF* pada *in-house* TPS adalah 1.072 dan hasil pengukuran adalah 1.119 sehingga deviasi *RDF* adalah -4.200%, maka dapat dikatakan bahwa proses ekstrapolasi data untuk ukuran lapangan 30×30 lebih sesuai dibandingkan lapangan 3×3. Hasil ini dapat dipengaruhi oleh karakteristik keluaran radiasi pesawat teleterapi cobalt-60 yang bukan berupa suatu sumber titik. Pertimbangan terhadap divergensi (persebaran) radiasi sebagai pengaruh dari geometri sumber juga menjadi perhatian.<sup>[9,15,20]</sup> Berdasarkan data spesifikasi pesawat, pesawat telerapi cobalt-60 yang digunakan memiliki diameter sumber adalah 20 mm, sehingga memungkinkan terjadinya penumbra geometri. Selain

itu, penumbra transmisi dari kolimator juga dapat terjadi.<sup>[9,17,20]</sup>

Evaluasi terhadap akurasi perhitungan lapangan ekuivalen persegi juga perlu dilakukan. Oleh karena itu, dilakukan perbandingan penyimpangan deviasi dosis antara lapangan persegi panjang dan lapangan ekuivalen persegi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3. Berdasarkan hasil pengukuran dosis serap dengan waktu penyinaran untuk lapangan 5×10 cm<sup>2</sup> atau ekuivalen dengan 8×8 cm<sup>2</sup> menunjukkan deviasi dosis yang tidak berbeda jauh dibandingkan pengukuran dosis pada lapangan 8×8 cm<sup>2</sup>, yaitu kurang dari 1%. Hasil yang serupa juga ditunjukkan untuk lapangan 15×10 cm<sup>2</sup> atau ekuivalen dengan 12×12 cm<sup>2</sup>. Hasil ini sesuai dengan perumusan Day dan Sterling yang menyatakan bahwa penggunaan luas ekuivalen persegi memiliki karakteristik dosimetri yang hampir sama dengan lapangan persegi panjangnya.<sup>[13,14,21]</sup> Setiap deviasi dosis ini juga masih berada dalam toleransi yang direkomendasikan, yaitu  $\pm 2\%$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses perhitungan luas lapangan ekuivalen persegi pada algoritma *in-house* TPS sudah cukup akurat.

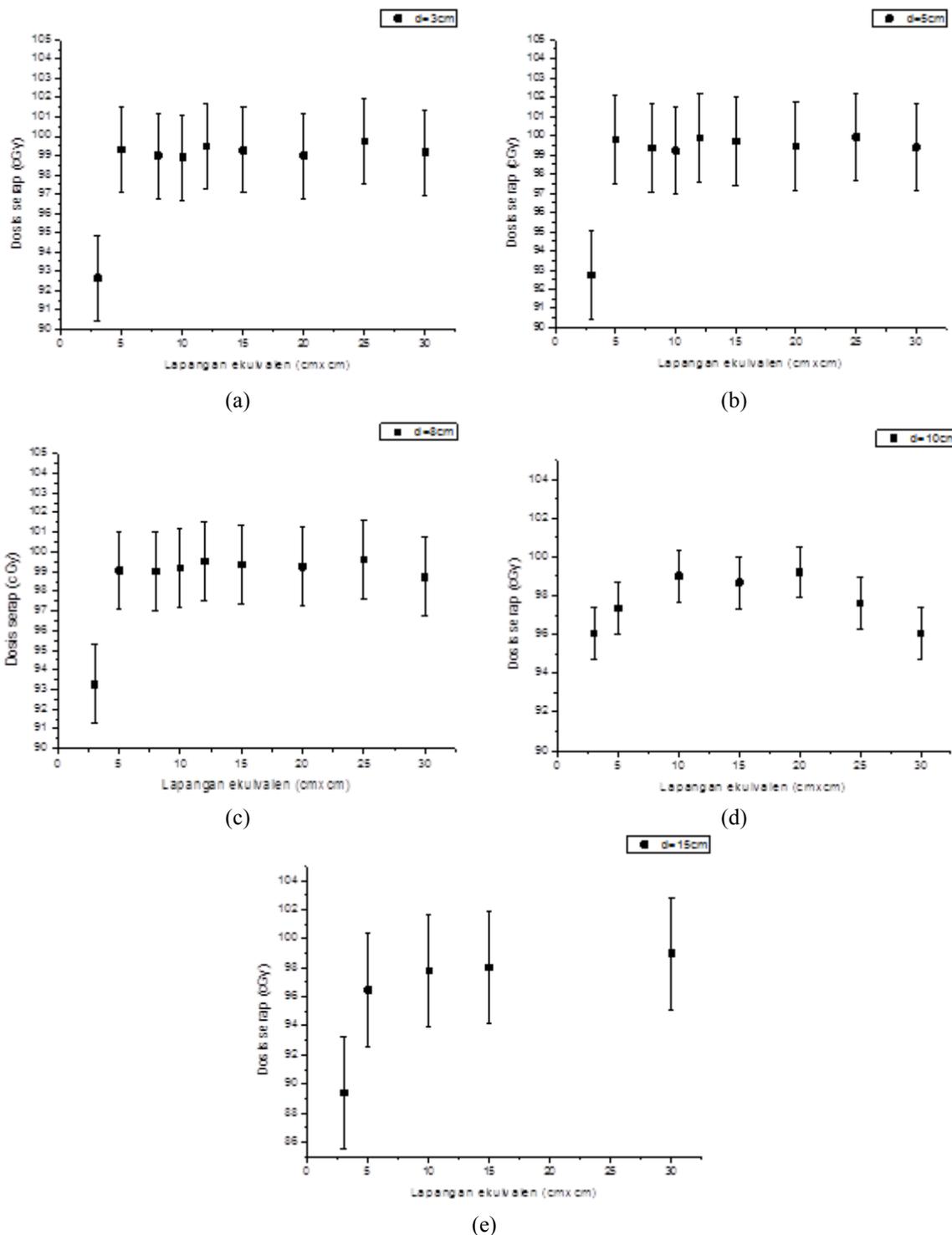
Selanjutnya, jika mengamati deviasi dosis terhadap pengaruh variasi kedalaman seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, diperoleh deviasi dosis maksimum adalah 11.836% pada kedalaman 15 cm. Pada kedalaman 3 cm, 5 cm dan 8 cm memberikan nilai deviasi rata-rata masih berada dalam batas toleransi. Deviasi dosis yang cukup besar cenderung terjadi pada kedalaman yang lebih besar, hal ini dapat ditinjau dari nilai deviasi dosis rata-rata yang paling tinggi adalah pada kedalaman 15 cm yaitu mencapai 4.150%. Deviasi dosis yang cukup besar terjadi pada kedalaman yang lebih besar.

Dalam meninjau distribusi dosis terhadap kedalaman, maka parameter dosimetri yang memberikan pengaruh signifikan adalah presentase dosis kedalaman (*PDD*). Oleh karena itu, deviasi dosis yang terjadi dapat dipengaruhi oleh data *PDD* pada perhitungan *in-house* TPS. Mengingat bahwa pada *in-house* TPS ini diimplementasikan data-data *PDD* berdasarkan *BJR Supplement 25*, telah banyak penelitian yang menyimpulkan bahwa diskrepansi *PDD* untuk berbagai pesawat teleterapi berkas cobalt-60 tidak terlalu signifikan berbeda yaitu masih berada dalam deviasi 2%. Diskrepansi data-data *PDD* setiap pesawat dipengaruhi oleh perkembangan konstruksi pesawat, seperti akibat perbedaan bentuk dan diameter sumber.<sup>[15]</sup> Selain itu, pengaruh penumbra juga semakin tinggi pada kedalaman yang semakin besar.

Apabila dilakukan evaluasi secara keseluruhan, deviasi dosis yang terjadi pada kondisi berkas terbuka adalah  $(1.810 \pm 2.469) \%$ , dengan deviasi maksimum adalah 11.836% (pada ukuran lapangan 3×3 cm<sup>2</sup> dan kedalaman 15 cm). Akan tetapi, apabila mengingat bahwa ukuran lapangan minimum yang biasa direkomendasikan dalam penggunaan kilinis pesawat teleterapi cobalt-60 adalah 5×5 cm<sup>2</sup>, maka

evaluasi keseluruhan hasil verifikasi dosis terbuka ini dapat dikelompokkan menjadi dua. Pertama, hanya memerhatikan deviasi dosis yang terjadi pada ukuran lapangan 3×3, yaitu  $(7.786 \pm 2.745) \%$ . Kedua, adalah memerhatikan deviasi dosis rata-rata pada ukuran lapangan 5×5 hingga 30×30, yaitu  $(1.044 \pm$

$0.896) \%$ . Secara keseluruhan, distribusi deviasi dosis yang terjadi pada berkas terbuka ini memberikan hasil bahwa 33 dari 44 data atau sebanyak 75% data menunjukkan kondisi deviasi dosis yang masih memenuhi nilai toleransi yang direkomendasikan.



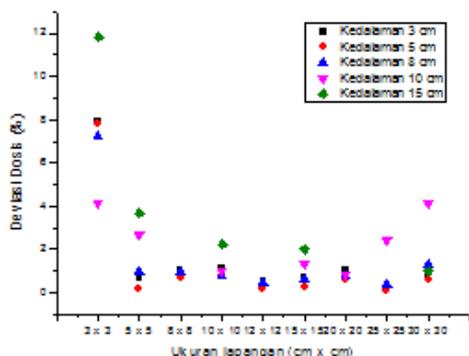
**Gambar 1.** Hasil pengukuran dosis kondisi berkas terbuka dengan variasi kedalaman yaitu 3, 5, 8, 10 dan 15 cm, ditunjukkan oleh bagian a, b, c, d, dan e

**Tabel 2.** Ringkasan prosentase deviasi dosis terhadap ukuran lapangan berkas terbuka.

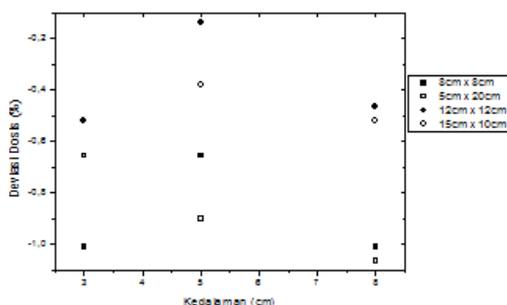
Ukuran lapangan (cm x cm)	Banyak data	Deviasi dosis (%)			
		Minimum	Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
3x3	5	4.125	11.836	7.786	2.745
5x5	5	0.194	3.660	1.642	1.476
8x8	3	0.655	1.011	0.893	0.205
10x10	5	0.792	2.234	1.190	0.599
12x12	3	0.140	0.519	0.375	0.205
15x15	5	0.302	2.010	1.009	0.673
20x20	4	0.574	1.011	0.785	0.179
25x25	4	0.059	2.460	0.794	1.120
30x30	5	0.601	4.125	1.574	1.448

**Tabel 3.** Ringkasan prosentase deviasi dosis terhadap kedalaman berkas terbuka.

Kedalaman (cm)	Banyak data	Deviasi dosis (%)			
		Minimum	Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
3	10	0.248	7.937	1.477	2.284
5	11	0.059	7.812	1.128	2.233
8	11	0.411	7.220	1.379	1.956
10	7	0.792	4.125	2.363	1.400
15	5	1.011	11.836	4.150	4.399



**Gambar 2.** Sebaran prosentase deviasi dosis pada kondisi berkas terbuka



**Gambar 3.** Sebaran prosentase deviasi dosis pada ukuran lapangan ekuivalen persegi

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil verifikasi dosis di titik pengukuran pada sumbu utama berkas diperoleh bahwa deviasi dosis yang terjadi pada variasi ukuran lapangan dan kedalaman target diperoleh bahwa deviasi dosis rata-rata yang terjadi adalah  $(1.810 \pm 2.469)\%$ , dengan 33 dari 44 data atau sebanyak 75% data menunjukkan bahwa deviasi dosis yang terjadi masih berada dalam nilai toleransi yang direkomendasikan. Selain itu, proses perhitungan luas lapangan ekuivalen persegi pada algoritma *in-house* TPS sudah cukup akurat, ditunjukkan oleh data deviasi dosis antara lapangan persegi panjang dan lapangan ekuivalen persegi. Oleh karena itu, hasil ini menunjukkan bahwa perhitungan waktu penyinaran teknik SSD tetap pada kondisi berkas terbuka oleh perangkat lunak *in-house* TPS telah memenuhi ketentuan toleransi klinis perhitungan suatu TPS.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Fisikawan Medis dan seluruh staf di Instalasi Radioterapi RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta serta seluruh civitas akademik peminatan fisika medis dan biofisika Universitas Indonesia yang telah mendukung proses penelitian ini.

## Daftar Acuan

- [1] IAEA. *Lessons Learned from accidental exposures in radiotherapy, Safety Reports Series (SRS) No. 17*. International Atomic Energy Agency (IAEA) : Vienna (2000).
- [2] Podgorsak, Erwin B. *Radiation oncology physics : A handbook for teacher and students*. International Atomic Energy Agency (IAEA) : Vienna (2005), p. 166-271.
- [3] Khan, Faiz.M. (2003). *The physics of radiation therapy fourth edition*. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore (2003), p. 142-155.
- [4] AAPM. *Monitor unit calculations for external photon and electron beams : Report of the AAPM Therapy Physics Committee Task Group No.71*. American Association Physics in Medical (AAPM) : Amerika Serikat (2014), p. 1-20.
- [5] IAEA. *Commissioning and quality assurance of computerized planning systems for radiation therapy of cancer, Technical Reports Series (TRS) No.430*. International Atomic Energy Agency (IAEA) : Vienna (2004), p. 47-54.
- [6] J. Van Dyk, R. B. Barnett, J. E. Cygler, and P. C. Schrage. *Commissioning and quality assurance of treatment planning computers*. International Journal of Radiation Oncology and Biological Physics Vol.26 (1993), p. 261–273.
- [7] Frass, B. *AAPM Radioation Therapy Committee Task Group 53 : Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning*. Journal of Medical Physics. Vol.25 (1998), p. 1773-1829.
- [8] Starkschall,G. *On the need for monitor unit calculations as part of a beam commissioning methodology for a radiation treatment planning system*. Journal of Applied Clinical Medical Physics, Summer;1(3) (2000), p. 86-94.
- [9] Van Dyk, Jake. dan JJ. Battista. *Cobalt-60: An old modality, a renewed challenge*. Current Oncology London Regional Cancer Centre : London (1996), p. 1
- [10] Chan, Jackson. *Comparison of monitor unit calculations performed with a 3D computerized planning system and independent “hand” calculation: Result of three years clinical experience*. Journal of Applied Clinical Medical Physics. Vol. 3 (2002), p. 293-301.
- [11] K. W. Leszczynski and P. B. Dunscombe. *Independent corroboration of monitor unit calculations performed by a 3D computerized planning system*. Journal of Applied Clinical Medical Physics Vol. 1 (2000), p. 120–125.
- [12] Sellakumar, P., C. Arun, S.S. Sanjay., S.B. Ramesh. *Comparison of monitor units calculated by radiotherapy treatment planning system and an independent monitor unit verification software*. Journal of Medical Physics. Vol. 27 (2001), p. 21-29.
- [13] Day, M.J., E.G.A. Aird.. *The equivalent field method for dose determination in rectangular fields*. British Journal of Radiology, Supplement 25 (1996), p. 138-151.
- [14] Mijnheer, Ben., dkk. *Physics for clinical radiotherapy, Booklet ESTRO no.6 : Monitor unit calculation for high energy photon beam – Practical examples*. European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO) : Belgia (2001).
- [15] McKenzie, A.L. *Cobalt-60 gamma-ray beams, dalam British Journal of Radiology (BJR) Supplement 25 : Central axis depth dose data for use in radiotherapy : 1996*. British Institute of Radiology, London(1996), p. 46-51.
- [16] Burns, J.E. *Conversion of PDD for photon beam as from one SSD to another and calculation of TAR, TMR and TPR*. British Journal of Radiology, Supplement 25 (1996), p. 153-157.
- [17] Sertifikat Kalibrasi Sumber Radiasi Teleterapi Gamma Co-60 No. LMR-N / KAL / II-13 / 01 /2013, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN, 2008 RSUPN dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta.
- [18] IAEA. (2000). *Absorbed dose determination in external beam radiotherapy : An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water*. International Atomic Energy Agency (IAEA):Vienna (2000), p. 71-79.
- [19] Vanselaar, Jack. *Tolerances for the accuracy of photon beam dose calculations of treatment planning systems*. Radiotherapy and Oncology 60 (2001), p.191-201.
- [20] Misba, H.B. *Dosimetric consistency of co-60 teletherapy unit- a ten years study*. International Journal of Health Science. India (2013), p .13-18.
- [21] Sterling, T.D., H. Perry, dan L. Katz. *Derivation of a mathematical expression for percent depth dose surface of cobalt-60 beams and visualization of multiple field dose distribution*. British Journal of Radiology (1964), p. 544-550.