STUDI AWAL PENGGUNAAN DETEKTOR IBA RAZOR DIODA DAN DETEKTOR IONISASI PTW PINPOINT 3D UNTUK PENGUKURAN DOSIMETRI RELATIF

Preliminary Study of The Use of IBA Razor Diode Detector and PTW PinPoint 3D Ionization Detector for Relative Dosimetry Measurement

Assef Firnando F¹, Okky Agassy F¹, Syarifatul Ulya², Pamuji Widodo²

¹PTKMR BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Jakarta Selatan

²Rumah Sakit Kanker Dharmas, Jl. Letjen. S. Parman No.84-86, Jakarta Barat

Email : oafirmansyah@gmail.com

Abstrak

Hingga tahun 2019 terdapat 44 fasilitas pusat pelayanan radioterapi di seluruh Indonesia. Peningkatan tersebut disertai juga peningkatan fasilitas pendukung yang semakin canggih dan handal. Salah satunya adalah detektor terapi yang digunakan untuk pengukuran dosimetri. Salah satu fungsi dari hasil pengukuran luaran pesawat pemercepat linier medik berupa pengukuran dosis absolut dan dosimetri relatif digunakan untuk memenuhi kebutuhan data jaminan mutu. Dalam makalah ini dibahas mengenai studi awal penggunaan detektor Razor Dioda dan PTW PinPoint 3D pada pengukuran dosimetri relatif. Variasi dosis dilakukan pada rentang 100 - 400 MU, sedangkan untuk laju dosis dari rentang 100 - 400 MU/menit. Lapangan radiasi yang digunakan adalah 10 cm x 10 cm dengan berkas foton 6 dan 10 MV FF. Linieritas bacaan kedua detektor linier terhadap variasi dosis penyinaran yang diberikan. Didapatkan nilai $R^2 = 1$ untuk detektor IBA Razor diode dan $R^2 = 0,9695$ untuk detektor PTW PinPoint 3D. Perbandingan bacaan muatan oleh kedua detektor diketahui berkisar 5%, hal tersebut sesuai dengan spesifikasi dari kedua detektor. Hasil normalisir bacaan muatan dengan variasi laju dosis penyinaran diketahui masih dalam rentang deviasi pengukuran. Deviasi -1,09% didapatkan oleh detektor IBA Razor dioda, dan deviasi -1,59 % didapatkan oleh detektor PTW PinPoint 3D. Parameter *short term stability* yang dikarakteristikan dengan linieritas dosis dan ketergantungan laju dosis yang dimiliki oleh detektor IBA Razor Dioda dan PTW PinPoint 3D mendapatkan kesesuaian yang cukup baik. Hal tersebut membuktikan bahwa kedua detektor mampu untuk melakukan pengukuran dosimetri relatif di lapangan 10 cm x 10 cm sesuai dengan kondisi standar penyinaran radioterapi.

Kata kunci: karakteristik, detektor ionisasi, iba razor, ptw pinpoint 3d

Abstract

Until 2019 there were 44 radiotherapy service center facilities throughout Indonesia. This increase was accompanied by an increase in supporting facilities that were increasingly sophisticated and reliable. One of them was a radiation therapy detector used for the measurement of dosimetry. One of the functions of the measurement results of medical linear accelerator outputs in the form of measurements of absolute dose and relatively dosimetry used to fulfill the quality assurance. This paper discusses the preliminary study of the use of a PTW PinPoint 3D and Razor Diode detector in relative dosimetry measurements. The dose variations were carried out in the range of 100 - 400 MU/minute, whereas for the range of dose rates 100 - 400 MU/minute. The field size used was 10 cm x 10 cm with photon beams 6 and 10 MV FF. The Linearity of the readings of the two linear detectors against the variation of the irradiation dose given. Obtained value $R^2 = 1$ for the IBA Razor diode detector and $R^2 = 0.965$ for the PTW PinPoint 3D. The charge reading ratio by the two detectors was known to be around 5%, according to the specifications of the two detectors. The normalized result of charge readings with variations in the irradiation dose rate was known to be still within the measurement deviation range. A deviation of -1.09% was obtained by the IBA Razor diode detector, and a deviation of -1.59 was obtained by a PinPoint 3D PTW detector. The short term stability parameter which was characterized by dose linearity and dose rate dependency possessed by the two detectors gets a good fit. This proves that the two detectors were capable of measuring relative dosimetry in the 10 cm x 10 cm field by following the standard conditions of radiotherapy.

Key Words: characteristic, ionizing detector, iba razor diode, ptw pinpoint 3d

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi radioterapi di Indonesia telah mengalami kemajuan. Pada tahun 2017, sudah terdapat 33 pusat pelayanan radioterapi di seluruh Indonesia

(Hiswara, 2017). Seluruh pusat pelayanan radioterapi tersebut terdiri dari pesawat cobalt-60, pesawat pemercepat linier medik *linac*, dan pesawat tomoterapi. Per tengah tahun 2019, jumlah pusat pelayanan radioterapi telah mencapai 44 pusat pelayanan di seluruh Indonesia. 44 pusat pelayanan tersebut terdiri

dari 21 unit pesawat cobalt-60, 49 unit pemercepat linier medik *linac*, 2 unit pesawat Gamma Knife *Radiosurgery* dan satu unit pesawat tomoterapi.

Hampir dari seluruh pusat pelayanan radioterapi yang mempunyai pesawat pemercepat linier medik *linac* menggunakan pesawat *linac* dengan fitur penyinaran yang menggunakan filter perata berkas [*flattening filter* (FF)]. Teknologi pesawat pemercepat linier medik *linac* dengan fitur penyinaran tanpa filter perata berkas [*flattening filter free* (FFF)] merupakan hal baru di Indonesia. Pesawat pemercepat linier medik *linac* FFF baru hadir di Indonesia kurang lebih dalam kurun 5 tahun terakhir. Hingga tengah tahun 2019, diketahui sebanyak lima pusat pelayanan radioterapi yang memiliki pesawat pemercepat linier medik *linac* FFF.

Salah satu rumah sakit yang memiliki pusat pelayanan radioterapi dengan teknologi pesawat pemercepat linier medik *linac* FFF menggunakan pesawat Elekta Versa HD pabrikan dari Elekta Swedia (Budiantari & Firmansyah, 2015). Pesawat pemercepat linier medik ini dilengkapi dengan fitur penyinaran berkas foton *free flattening filter* (FFF) (Papanikolaou & Stathakis, 2016). Penggunaan fitur FFF ini memungkinkan untuk memberikan penyinaran radiasi ke pasien dengan laju dosis yang lebih besar dan lapangan radiasi kecil (*small field*). Ukuran lapangan radiasi konvensional adalah berkisar pada 3 cm x 3 cm hingga 40 cm x 40 cm, dan sedangkan yang disebut lapangan radiasi kecil adalah lapangan radiasi kurang dari 3 cm x 3 cm (Das, Morales, & Francescon, 2016). Dalam penggunaan lapangan radiasi kecil ini, penggunaan detektor ukuran kecil diperlukan untuk pengukuran absolut dosis radiasi maupun pengukuran dosimetri relatif, karena hanya detektor dengan ukuran mikro yang mampu untuk melakukan pengukuran.

Kemajuan teknologi detektor ionisasi untuk pengukuran dosimetri lapangan kecil juga berkembang sesuai dengan kebutuhan. Terdapat banyak macam detektor ionisasi lapangan kecil yang telah dijual dipasaran. Beberapa contoh detektor lapangan kecil atau yang sering disebut dengan detektor mikro adalah detektor IBA Razor Dioda fabrikasi IBA Dosimetry dan detektor ionisasi PTW PinPoint 3D fabrikasi PTW Germany.

Guna memenuhi aspek jaminan mutu pelayanan, setiap fasilitas radioterapi melakukan *quality control* terhadap luaran dari pesawat pemercepat medik *linac* yang mereka miliki. *Quality control* tersebut meliputi parameter pengukuran dosis absolut dan pengukuran dosimetri relatif dari luaran

pesawat pemercepat medik *linac*. Saat ini banyak dari fisikawan medis yang menggunakan detektor ionisasi dengan klasifikasi detektor ukuran mini untuk melakukan pengukuran dosimetri relatif. Contoh detektor volume mini yang biasa dipakai adalah IBA CC13 dengan volume 0,13 cm³ dan PTW 31010 semiflex dengan volume 0,125 cm³. Masih jarang ditemui penggunaan detektor mikro untuk pengukuran relatif pada keadaan standar pengukuran dosimetri.

Pada makalah ini dibahas mengenai studi awal pengukuran dosimetri relatif dengan menggunakan detektor ionisasi mikro yaitu PTW PinPoint 3D dan detektor dioda IBA Razor. Studi pada makalah ini mengarah pada pengambilan data berdasarkan keadaan standar pengukuran dosimetri. Pengambilan data dilakukan pada keadaan standar pengukuran, yaitu kedalaman 10 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm. Tujuan dari studi ini adalah untuk mendapatkan informasi awal mengenai kemampuan pengukuran dari kedua detektor mikro tersebut pada kondisi lapangan penyinaran standar pada berkas foton 6 dan 10 MV FF (*Flattening Filter*). Berdasarkan informasi dari studi ini, akan dapat digunakan untuk melakukan studi lanjutan mengenai pengukuran relatif parameter dosimetri lainnya dengan menggunakan PTW PinPoint 3D dan detektor dioda IBA Razor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Detektor yang digunakan pada studi ini adalah IBA Razor detektor dan detektor ionisasi PTW PinPoint 3D. IBA Razor detektor adalah sebuah detektor dioda keluaran IBA yang dapat mengukur untuk keperluan *small field dosimetry*, khususnya untuk keperluan dosimetri relatif. Belum direkomendasikan detektor ini untuk kebutuhan pengukuran dosis absolut. Volume aktif dari detektor ini sebesar 0,017x10⁻³ cm³ yang terdiri dari diameter 0,6 mm dan ketebalan 0,02 mm. Detektor ini menggunakan prinsip kerja sambungan p-n berbahan *silicon* tanpa menggunakan bias tegangan (0 volt) (IBA Dosimetry, 2014). Detektor IBA Razor ini memiliki stabilitas yang bagus dibanding detektor diode pendahulunya SFD (Liu et al., 2016).

Sedangkan detektor ionisasi PinPoint 3D adalah sebuah detektor ionisasi keluaran PTW yang digunakan untuk pengukuran *High Energy Photon Dosimetry*. Dikelas detektor untuk pengukuran tingkat terapi, detektor ionisasi PinPoint 3D termasuk detektor yang memiliki volume kecil (Physikalisch-Technische Werstätten (PTW), 2014b).

Detektor ini mampu untuk melakukan pengukuran dosis absolut maupun pengukuran dosimetri relatif pada lapangan radiasi yang masih direkomendasikan. Volume sensitif detektor ini sebesar $0,016 \text{ cm}^3$. Pengukuran dengan menggunakan detektor ionisasi PTW PinPoint 3D dapat dilakukan pada lapangan radiasi $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ hingga $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$, sedangkan IBA Razor detektor dapat mengukur untuk kondisi *small field size* (kurang dari $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$).

Kedua detektor tersebut akan dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos Webline T10022/268.

Tabel 1 Karakteristik Detektor yang digunakan

Parameter	PTW PinPoint 3D Tipe 31016	IBA Razor Dioda
Volume Aktif	$0,016 \text{ cm}^3$	$0,017 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$
Ketebalan diameter aktif/panjang	$1,45 \text{ mm} / 2,9 \text{ mm}$	$0,6 \text{ mm} / 0,02 \text{ mm}$
Material sensitif	Udara	Silikon
Material Elektroda	Alumunium	-
Tegangan Operasi	$\pm 100 \text{ Volt} - 400 \text{ Volt}$	0 Volt

3. METODE PENELITIAN

Salah satu parameter untuk mengetahui kemampuan dari sebuah detektor dapat dilihat melalui *short term stability* dari detektor tersebut. *Short term stability* dikarakteristikan dengan menggunakan linieritas bacaan dosis dan ketergantungan laju dosis pada sebuah energi penyinaran. Karakterisasi detektor IBA Razor dioda telah dilakukan oleh Giacomo Regiori dkk pada pesawat linac dengan energi 6 MV-FF, 10 MV-FF, 6 MV-FFF, 10 MV-FFF (Giacomo Reggiori et al., 2016). Berdasarkan referensi tersebut, pengukuran dilakukan dengan menggunakan pesawat Linac Elekta model Precise TS/1123. Energi penyinaran yang digunakan adalah foton 6 MV dan 10 MV dengan menggunakan *flattening filter* (FF). Phantom air yang digunakan adalah phantom air buatan PTW Germany berukuran $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$. Detektor ditempatkan pada kedalaman referensi yaitu 10 cm dan menggunakan lapangan radiasi standar $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. Pesawat Linac Elekta Precise TS/1123 telah dikalibrasi 1 cGy/MU pada D_{max} , SSD = 100 cm untuk semua energi penyinaran.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan variasi dosis dan laju dosis. Variasi dosis dan laju dosis dilakukan pada semua rentang yang tersedia pada pesawat

linac Elekta Precise TS/1123. Rentang dosis yang tersedia pada pesawat ini adalah 100 MU, 200 MU, 300 MU, dan 400 MU, sedangkan untuk laju dosis tersedia dari rentang 100 MU/menit, 200 MU/menit, 300 MU/menit, dan 400 MU/menit. Pengukuran dengan variasi dosis penyinaran dilakukan dengan menggunakan laju dosis sebesar 400 MU/menit, sedangkan pengukuran dengan variasi laju dosis penyinaran dilakukan dengan menggunakan dosis 200 MU. Linieritas bacaan juga dievaluasi pada studi ini.

Set up detektor ionisasi PTW PinPoint 3D dapat dilihat pada gambar 1, sedangkan set up detektor IBA Razor Dioda dapat dilihat pada gambar 2.

Gambar 1. Penempatan Detektor PTW Pin Point 3D di Phantom Air

Gambar 2. Penempatan Detektor IBA Razor Dioda di Phantom Air

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Linieritas Dosis Bacaan Detektor

Gambar 3 menunjukkan perbandingan linieritas bacaan dari detektor IBA Razor Dioda dan PTW PinPoint 3D pada variasi dosis penyinaran antara 100 MU - 400 MU. Bacaan detektor Razor diketahui linier terhadap perubahan dosis yang diberikan, hal tersebut dibuktikan pada persamaan garis linier dengan nilai $R^2 = 1$. Bacaan detektor PTW PinPoint 3D diketahui juga linier terhadap perubahan dosis yang diberikan, karena nilai R^2 yang didapatkan mendekati 1,

yaitu 0,9695. Kedua detektor Razor dan PinPoint 3D memiliki linieritas bacaan yang bagus.

Hasil ini sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Giacomo Reggiori dkk (Giacomo Reggiori et al., 2016). Didapatkan Nilai $R^2 = 1$ untuk respon linieritas pada penelitian dengan detektor IBA Razor yang disinari hingga dosis 3000 MU (≈ 27 Gy). Pengukuran pada studi ini masih berada di dalam rentang pengukuran yang dilakukan oleh Giacomo Reggiori, maka respon linieritas untuk detektor IBA Razor memang baik terhadap perubahan dosis penyinaran.

Perbandingan bacaan detektor

Rata-rata bacaan detektor Razor pada energi penyinaran 6 MV dengan dosis penyinaran 100 MU didapatkan 2,87 nC, sedangkan pada detektor PinPoint didapatkan rata-rata bacaan 0,27 nC. Terdapat perbedaan bacaan diantara detektor Razor dan Pinpoint. Hal tersebut diakibatkan karena respon terhadap radiasi pada kedua detektor ini berbeda. Detektor Razor memiliki respon 4,1 nC/Gy, sedangkan detektor PTW PinPoint 3D memiliki respon 400 pC/Gy (0,4 nC/Gy).

Berdasarkan hal tersebut, perbedaan 5% dari bacaan kedua detektor tersebut telah sesuai dengan spesifikasi respon detektor yang diberikan oleh pabrik. Hal tersebut didukung dengan pesawat linac yang digunakan telah dikalibrasi pada 1 MU = 1 cGy, hal ini meminimalisir kesalahan penyinaran yang dilakukan oleh pesawat linac.

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa semakin tinggi dosis penyinaran yang diberikan, semakin tinggi pula *charge* partikel yang dibaca oleh elektrometer.

Bacaan (nC) dari kedua detektor dikalikan dengan faktor kalibrasi dosis serap air (N_{DW}) untuk mendapatkan bacaan dosis serap air (mGy). Faktor kalibrasi dosis serap air dari detektor IBA Razor Dioda adalah 243,902 mGy/nC, sedangkan untuk detektor PTW PinPoint 3D adalah 2531 mGy/nC. Dari bacaan dosis tersebut, diketahui rata-rata presentase deviasi antara bacaan detektor IBA Razor dan PTW PinPoint 3D sebesar 3,63%. Data tersebut diperoleh dari perhitungan dengan bacaan dosis detektor PTW PinPoint 3D diasumsikan menjadi referensi pengukuran.

Gambar 3 Grafik linieritas bacaan detektor IBA Razor Dioda dan PTW PinPoint 3D pada variasi dosis penyinaran

Tabel 2 Hasil bacaan detektor Razor dioda dan PinPoint 3D pada variasi dosis penyinaran

Dose rate	Variasi Dosis	M (nC)				Rate elektrometer (pA)			
		6 MV		10 MV		6 MV		10 MV	
		Razor	PinPoint	Razor	PinPoint	Razor	PinPoint	Razor	PinPoint
400 MU/menit	100 MU	2,873	0,267	3,005	0,194	190,9	17,62	200,6	19,47
	200 MU	5,750	0,535	6,007	0,581	191,2	17,77	200,9	19,42
	300 MU	8,634	0,803	9,008	0,872	191,8	17,78	201,0	19,42
	400 MU	11,52	1,071	12,02	1,036	191,3	17,80	201,1	19,47

Perbandingan ketergantungan laju dosis pada pengukuran

Dengan menggunakan variasi laju dosis penyinaran pada dosis penyinaran tetap, maka data bacaan *charge particle* detektor yang didapatkan tidak memiliki perbedaan yang jauh. Ketergantungan laju dosis dari respon detektor IBA Razor dioda dan PTW PinPoint 3D telah dievaluasi pada variasi laju dosis 100 MU/menit hingga 400 MU/menit pada pesawat linac 6 MV-FF dan 10 MV-FF.

Pengukuran variasi laju dosis dilakukan dengan menggunakan pada dosis 200 MU (≈ 2 Gy). Hasil pengukuran dinormalisir ke bacaan dengan laju dosis 100 MU/menit. Pada penyinaran dengan detektor Razor dengan variasi laju dosis 100 MU/menit, didapatkan rata-rata bacaan arus pada elektrometer sebesar 48,52 pA, sedangkan pada penyinaran dengan laju dosis 400 MU/menit didapatkan rata-rata bacaan arus pada elektrometer sebesar 191,17 pA.

Tabel 3 Hasil bacaan detektor Razor dan PinPoint pada variasi laju dosis penyinaran

Dosis	Variasi Dosis rate	M (nC)				Rate elektrometer (pA)			
		6 MV		10 MV		6 MV		10 MV	
		Razor	PinPoint	Razor	PinPoint	Razor	PinPoint	Razor	PinPoint
200 MU	100 MU/menit	5,806	0,544	6,068	0,584	48,51	4,400	49,450	4,767
	200 MU/menit	5,777	0,538	6,021	0,582	96,23	8,933	101,30	9,700
	300 MU/menit	5,757	0,536	6,004	0,582	143,8	13,33	149,8	14,57
	400 MU/menit	5,743	0,535	6,002	0,581	191,2	17,83	201,8	19,47

Hasil normalisir dari bacaan partikel dapat dilihat pada gambar 4. Grafik menunjukkan *trend* bacaan yang cenderung menurun terhadap bacaan pada laju dosis 100 MU/menit. Semakin besar laju dosis yang dipakai, semakin besar deviasi terhadap laju dosis referensi (100 MU/menit).

Deviasi dihitung dengan rumusan matematik hasil nilai bacaan (Y) dikurangi dengan nilai referensi (X), hasil pengurangan tersebut dibagi dengan nilai standar (X). Nilai referensi yang dimaksudkan adalah nilai muatan atau dosis yang didapatkan pada penyinaran di 100 MU atau 100 MU/menit. Pada energi penyinaran 6 MV dengan detektor Razor didapatkan deviasi terbesar hasil normalisasi terhadap laju dosis 100 MU/menit adalah -1,09 %, sedangkan detektor PinPoint 3D mendapatkan deviasi terbesar -1,56%. Dari hasil tersebut, mengindikasikan bahwa dengan perubahan laju dosis, bacaan dari detektor Razor maupun PinPoint 3D masih dalam rentang yang baik (kurang dari 3,5 % deviasi).

Penggunaan pesawat linac dengan *flattening filter* masih terbatas pada laju dosis penyinaran hingga 400 MU/menit. Pada beberapa pesawat linac tanpa *flattening filter* (*flattening filter free*) laju dosis dapat diketahui mencapai 2000 MU/menit - 2500 MU/menit (G Reggiori et al., 2017; Giacomo Reggiori et al., 2016).

Diketahui karakteristik detektor Razor pada laju dosis 400 MU/menit hingga 2500 MU/menit fluktuatif (Giacomo Reggiori et al., 2016). Pada penelitian ini dilakukan pada laju

dosis penyinaran pada laju dosis dibawah 400 MU/menit. Hasil bacaan kedua detektor pada variasi laju dosis menunjukkan grafik yang linier. Semakin tinggi laju dosis yang diberikan, semakin tinggi juga arus yang dibaca oleh elektrometer pada setiap penyinaran. Semakin tinggi laju dosis, maka akan semakin cepat juga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai dosis yang ditentukan pada penyinaran. Detektor IBA Razor dan PTW PinPoint 3D memiliki *short term stability* yang bagus pada penyinaran hingga dosis penyinaran 400 MU.

Hingga saat ini detektor IBA Razor Dioda belum mampu untuk digunakan sebagai detektor untuk pengukuran dosis absolut. Detektor tersebut sangat cocok untuk digunakan sebagai detektor pengukuran relatif pada lapangan kecil (Azangwe et al., 2014; Tas & Durmus, 2018). Namun detektor diode ini memiliki kelemahan *over response* terhadap foton berenergi rendah, dan ketidakseragaman berkas pada sudut angular yang bergantung pada detail konstruksi dan bahan material penyusun detektor. Sedangkan untuk detektor PTW PinPoint 3D merupakan detektor yang termasuk jenis detektor ionisasi mikro, dimana detektor mikro tersebut cocok untuk pengukuran dosis dilapangan kecil. Kelebihan detektor ionisasi mikro dibandingkan dengan detektor dioda adalah kapabilitasnya yang dapat untuk digunakan menentukan dosis dengan energi terbatas (*limited energy*) dan ketergantungan laju dosis (*dose rate dependence*) (Agostinelli, Garelli, Piergentili, & Foppiano, 2008).

Gambar 4 Normalisir bacaan variasi laju dosis antara detector IBA Razor Dioda and PTW PinPoint 3D

Meskipun penggunaan kedua detektor ini lebih optimal untuk penggunaan pengukuran dosimetri pada lapangan kecil, berdasarkan analisis data diatas detektor ini juga dapat digunakan untuk pengukuran dosimetri relatif pada lapangan standar. Hal tersebut juga didukung bahwa kalibrasi dosis serap air (N_{DW}) kedua detektor ini masih pada lapangan standar 10 cm x 10 cm. Pada penggunaannya untuk pengukuran dosis serap air dilapangan kecil, detektor razor dioda perlu melalui kalibrasi silang (*cross calibration*) (Lárraga-Gutiérrez, 2015; Masanga, Tangboonduangjit, Khamfongkhrua, & Tannanonta, 2016; Physikalisch-Technische Werstatt (PTW), 2014a). Berbeda dengan detektor PTW PinPoint 3D yang bisa digunakan langsung untuk pengukuran dosis dilapangan kecil secara langsung dengan menggunakan faktor kalibrasi dosis serap air (N_{DW}) dari lapangan radiasi standar 10 cm x 10 cm.

5. KESIMPULAN

Linieritas bacaan kedua detektor linier terhadap variasi dosis penyinaran yang diberikan dengan mendapatkan nilai $R^2 = 1$ untuk detektor IBA Razor diode dan $R^2 = 0,9695$ untuk detektor PTW PinPoint 3D. Perbandingan bacaan muatan oleh kedua detektor diketahui berkisar 5%, hal tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi dari kedua detektor. Hasil normalisir bacaan muatan dengan variasi laju dosis penyinaran diketahui masih dalam rentang deviasi pengukuran untuk detektor tingkat terapi. Deviasi -1,09 % didapatkan oleh detektor IBA Razor diode, dan

deviasi -1,59 % didapatkan oleh detektor PTW PinPoint 3D.

Berdasarkan data yang telah dianalisis, parameter *short term stability* yang dikarakteristikan dengan linieritas dosis dan ketergantungan laju dosis yang dimiliki oleh detektor IBA Razor Dioda dan PTW PinPoint 3D mendapatkan kesesuaian yang cukup baik. Hal tersebut membuktikan bahwa kedua detektor mampu untuk melakukan pengukuran dosimetri relatif di lapangan 10 cm x 10 cm sesuai dengan kondisi standar penyinaran radioterapi.

Hasil dari makalah ini dapat dijadikan acuan untuk melakukan kegiatan penelitian selanjutnya, yaitu pengukuran dosimetri relatif luaran berkas foton energy tinggi, seperti prosentase dosis di kedalaman (PDD), dan profil dosis dengan menggunakan detektor ionisasi mikro dan detektor dioda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Kanker Dharmas atas kerjasamanya sehingga penulisan ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

Agostinelli, S., Garelli, S., Piergentili, M., & Foppiano, F. (2008). *Response to high energy photons of PTW31014 PinPoint ion chamber with a central aluminum electrode Response to high energy photons of PTW31014 PinPoint ion chamber with a central aluminum*

- electrode. *Medical Physics*, 35(2008), 3293–3301.
- Azangwe, G., Grochowska, P., Georg, D., Izewska, J., Hopfgartner, J., Andersen, C. E., ... Palmans, H. (2014). *Detector to detector corrections: A comprehensive experimental study of detector specific correction factors for beam output measurements for small radiotherapy beams*. *Detector to detector corrections: A comprehensive experimental study of detector speci. Medical Physics*, 5541(2010), 072103-1-072103–072116.
- Budiantari, C. T., & Firmansyah, F. (2015). Validasi Hasil Penentuan Dosis Tara Perorangan Hp(10) untuk Sumber Radiasi Gamma Cs-137 Di Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS) PTKMR BATAN. In *Prosiding Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir* (pp. 102–106). Jakarta.
- Das, I. J., Morales, J., & Francescon, P. (2016). Small field dosimetry: What have we learnt? In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1747, pp. 1–10).
- Hiswara, E. (2017). Status terkini dan perspektif masa depan radioterapi di indonesia. In *Prosiding PPI - PDIPTN* (pp. 47–52). Yogyakarta.
- IBA Dosimetry. (2014). *User's Guide: IBA Razor Detector*. Schwarzenbruck.
- Lárraga-Gutiérrez, J. M. (2015). Experimental determination of field factors for small radiotherapy beams using the daisy chain correction method. *Physics in Medicine and Biology*, 60(15), 5813–5831.
- Liu, P. Z. Y., Reggiori, G., Lobefalo, F., Mancosu, P., Tomatis, S., McKenzie, D. R., & Suchowerska, N. (2016). Small field correction factors for the IBA Razor. *ESTRO 35, 29 April - 3 May 2016, Turin, Italy*, 119, S691.
- Masanga, W., Tangboonduangjit, P., Khamfongkhrua, C., & Tannanonta, C. (2016). Determination of small field output factors in 6 and 10 MV flattening filter free photon beams using various detectors. *Journal of Physics: Conference Series*, 694(1).
- Papanikolaou, N., & Stathakis, S. (2016). Commissioning an Elekta Versa HD linear accelerator. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 17(1), 179–191.
- Pedro Andreo, David T Burns, Klaus Hohlfeld, M Saiful Huq, Tatsuaki Kanai, Fedele Laitano, Vere Smyth, S. V. (2006). *IAEA TRS-398: Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water* (Vol. 2006).
- Physikalisch-Technische Werstätten (PTW). (2014a). *Small Field Dosimetry: Application Guide*.
- Physikalisch-Technische Werstätten (PTW). (2014b). *User's Guide: PTW PinPoint 3D Chamber Type 31016*.
- Reggiori, G., Stravato, A., Mancosu, P., Lobefalo, F., Paganini, L., Zucconi, F., & Palumbo, V. (2017). Small field characterization of a Nanochamber prototype under flattening filter free photon beams. *Physica Medica*, 49, 139–149.
- Reggiori, Giacomo, Mancosu, P., Suchowerska, N., Lobefalo, F., Stravato, A., Tomatis, S., & Scorsetti, M. (2016). Characterization of a new unshielded diode for small field dosimetry under flattening filter free beams. *Physica Medica*, 32(2), 408–413.
- Tas, B., & Durmus, I. F. (2018). Small Field Output Factors Comparison between Ion Chambers and Diode Detectors for Different Photon Energies. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 170002, pp. 1–5).