

Komisioning sederhana detektor PTW 60019 microDiamond untuk radiasi lapangan kecil

Irma Juwita Ayuning Tias¹, Irhas², Firyal Dhiyaul Haqqi³, Wahyu Edy Wibowo⁴, Misjuherlina⁴

¹ Instalasi Radioterapi, RS Indriati Solo Baru, 57522, Sukoharjo, Indonesia

² Gamma Knife Center Indonesia, 15811, Tangerang, Indonesia

³ Departemen Radioterapi, Primaya Hospital Tangerang, 15143, Tangerang, Indonesia

⁴ Radioterapi, Rumah Sakit Cipto Mangunkusumo, 10430, Jakarta, Indonesia

E-mail: juwitanyairma@gmail.com

Naskah Masuk 5 Agustus 2022

Naskah Revisi 8 Januari 2023

Naskah Diterima 3 Maret 2023

Naskah Terbit 23 Juni 2023

Abstrak: Dosimetri radiasi lapangan kecil memerlukan detektor dengan akurasi dan resolusi spasial tinggi. Detektor PTW 60019 microDiamond memiliki volume aktif 0.004 mm^3 sehingga sesuai untuk pengukuran tersebut. Studi ini bertujuan untuk melakukan komisioning sederhana dengan menguji respon detektor PTW 60019 microDiamond terhadap radiasi lapangan kecil. Tahap awal komisioning PTW 60019 microDiamond dimulai dengan pengukuran stabilitas, linearitas, dan kebocoran detektor. Uji pengaruh arah radiasi terhadap respon detektor dilakukan dengan membandingkan dosis pada lapangan $5 \times 5 \text{ cm}^2$ dengan 12 variasi sudut gantri untuk semua berkas foton. Selanjutnya, pada berkas foton 6 dan 10 MV *flattening filter-free* (FFF), pengujian dilakukan dengan variasi sudut gantri dan ukuran lapangan $2 \times 2 \text{ cm}^2$ dan $3 \times 3 \text{ cm}^2$. Pengukuran *output factors* (OF) dilakukan untuk semua berkas foton pada lapangan $2 \times 2 \text{ cm}^2$ hingga $5 \times 5 \text{ cm}^2$. Evaluasi dosis titik pada beberapa perencanaan radiasi dilakukan sebagai tahapan akhir komisioning. Pengukuran menggunakan *linear accelerator* (Linac) Elekta Versa HD, *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) *plastic phantom*, dan detektor PTW 60019 microDiamond. Pada keseluruhan energi yang digunakan dan arah radiasi yang digunakan dosis dinormalisasi pada arah 0° . Didapatkan deviasi terendah 0% pada arah beam 270° dan tertinggi 20.5% pada arah radiasi 180° . Pada lapangan kecil $3 \times 3 \text{ cm}^2$ dan $2 \times 2 \text{ cm}^2$ deviasi arah radiasi 180° lebih kecil yaitu 0.2%-15.6%. Deviasi hasil evaluasi dosis titik radiasi lapangan kecil adalah 0.96%-1.75%. Detektor PTW 60019 microDiamond cocok digunakan sebagai detektor radiasi lapangan kecil karena memiliki ketergantungan energi dan ketergantungan arah berkas yang rendah.

Kata kunci: evaluasi dosis titik, dosimetri, karakteristik detektor

Abstract: Small field radiation dosimetry requires high accuracy and spatial resolution detectors. PTW 60019 microDiamond detector with its 0.004 mm^3 active volume is suitable for the measurement. The aim of this study is to perform a short commissioning of PTW 60019 microDiamond detector to evaluate its responses and compatibility for small field radiation measurement. Stability, linearity, and detector leakage of PTW 60019 microDiamond detector were measured as the initial step of commissioning. Beam radiation dependence was evaluated on all photon energies for field size $5 \times 5 \text{ cm}^2$ using 12 gantry angle variations. Moreover, for 6 and 10 MV Flattening Filter-Free (FFF), beam direction and field size dependence evaluation were performed for field size $3 \times 3 \text{ cm}^2$ and $2 \times 2 \text{ cm}^2$. Output factors (OF) measurement was performed on all photon energies for field size $2 \times 2 \text{ cm}^2$ to $5 \times 5 \text{ cm}^2$. Point dose evaluation was measured in several small field technique plans as final step of commissioning using Linear Accelerator (Linac) Elekta Versa HD and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Plastic Phantom. PTW 60019 detector is suitable for small field radiation measurement. It has low energy and beam direction dependence.

Keywords: point dose evaluation, dosimetry, detector characteristic

1. Pendahuluan

Dosimetri radiasi lapangan kecil menjadi semakin penting seiring dengan kemajuan teknik radioterapi termasuk *Stereotactic Radiosurgery* (SRS)¹. Beberapa faktor mempengaruhi keakuratan dosimetri radiasi lapangan kecil, diantaranya: tidak tercapainya *lateral charged particle equilibrium* (LCPE), fluens akibat pertubasi partikel bermuatan, dan *volume averaging effects*². IAEA TRS-483 merekomendasikan detektor yang digunakan untuk dosimetri tersebut harus relatif kecil terhadap lapangan minimum dan jangkauan partikel bermuatan sekunder, memiliki *signal to noise ratio* (SNR) tinggi, resolusi spasial tinggi, serta pengaruh energi, laju dosis, dan arah radiasi yang kecil^{2,3}.

IAEA TRS-483 merekomendasikan beberapa detektor dosis titik sebagai dosimeter radiasi lapangan kecil. Detektor *synthetic diamond* cocok untuk pengukuran dosis yang memerlukan resolusi spasial tinggi karena sifatnya yang *water equivalent* dan faktor koreksi lebih kecil dibandingkan detektor lain^{2,4}.

PTW 60019 microDiamond merupakan salah satu detektor *diamond* yang tersedia di pasaran. Elemen aktif detektor ini adalah piringan *diamond* sintesis dengan volume 0.004 mm³, diameter 2.2 mm, dan tebal 1 µm. Lapisan ini diapit oleh elektroda aluminium tipis berdiameter 2.2 mm dan *diamond* tipe-p berlapis boron konduktif, membuat lapisan substrat *diamond* dengan ketebalan 400 µm⁵.

Beberapa studi menggunakan detektor *diamond* sebagai detektor radiasi lapangan kecil^{6,7}. Detektor microDiamond hampir *water equivalent* dengan nomor atom ($Z=6$). Volume aktif detektor yang kecil memungkinkan pengukuran dengan resolusi spasial tinggi. Densitas atom tinggi (10²³ atom/cm³) menjaga *signal to noise ratio* tinggi, serta sifat elektronik microDiamond membuat respon detektor menjadi cepat⁶.

Studi ini bertujuan untuk melakukan komisioning sederhana untuk menguji respon detektor PTW 60019 microDiamond terhadap radiasi lapangan kecil. Respon dan karakteristik detektor PTW 60019 microDiamond diuji dengan beberapa metode untuk mengetahui ketepatan penggunaan detektor tersebut dalam pengukuran dosis pada radiasi lapangan kecil.

2. Bahan dan Metode

Komisioning sederhana detektor PTW 60019 microDiamond dilakukan pada berkas foton Linac Elekta Versa HD. Uji kualitas dilakukan sebagai tahap awal komisioning. Selanjutnya, detektor PTW 60019 microDiamond dilakukan uji pengaruh energi dan arah radiasi, pengukuran TPR_{20,10}, *output factors* (OF), dosis absolut, dan evaluasi dosis titik pada perencanaan radiasi lapangan kecil dengan menggunakan fantom air, *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) *plastic phantom*, dan elektrometer Supermax Standard Imaging. Detektor PTW 60019 microDiamond diletakkan *face-on* terhadap arah radiasi sesuai *code of practice* (CoP) IAEA TRS 483. (2)

2.1. Uji kualitas detektor

Bagian ini Uji kualitas dilakukan pada kondisi standar lapangan 10×10 cm², kedalaman 10 cm, dan SSD 100 cm untuk berkas 6 MV dan 6 MV FFF menggunakan fantom air. Uji kualitas meliputi linearitas, stabilitas, dan kebocoran detektor. Uji linieritas menggunakan radiasi 100-500 *monitor unit* (MU) dengan interval 100 MU. Uji stabilitas dan kebocoran detektor menggunakan radiasi 200 MU.

2.2. Uji pengaruh arah radiasi

Uji pengaruh arah radiasi terhadap respon detektor dilakukan pada lapangan 5×5 cm², 3×3 cm² dan 2×2 cm², kedalaman 8 cm, dan SAD 100 cm untuk semua berkas 6 MV FFF dan 10 MV FFF. Variasi arah radiasi 0°-360° dengan interval 30°. Respon detektor dibandingkan dengan mengukur bacaan muatan pada elektrometer, hasil bacaan dinormalisasi terhadap hasil bacaan pada arah radiasi 0°.

2.3. Output Factor (OF)

Pengukuran OF dilakukan pada lapangan 5×5 cm², 4×4 cm², 3×3 cm², dan 2×2 cm², kedalaman 10 cm, dan SSD 100 cm untuk seluruh berkas foton menggunakan fantom ABS. Respon bacaan pada lapangan tersebut dinormalisasi terhadap respon lapangan 10×10 cm².

2.4. $TPR_{20,10}$

Pengukuran *tissue to phantom ratio* (TPR) dilakukan pada microDiamond dan dibandingkan dengan bilik ionisasi CC13. $TPR_{20,10}$ didapatkan dari rasio respon pada kedalaman 20 cm dan 10 cm. Pengukuran pada lapangan $5 \times 5 \text{ cm}^2$, $4 \times 4 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, dan $2 \times 2 \text{ cm}^2$. Teknik SSD 100 cm digunakan untuk mendapatkan nilai PDD_{10} dan PDD_{20} , kemudian didapatkan nilai dengan Persamaan 1.

$$TPR_{20,10} = 1.2661 PDD_{20,10} - 0.0595 \quad (1)$$

2.5. Pengukuran Dosis Absolut

Uji kualitas dilakukan pada kondisi standar lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$, kedalaman 10 cm, dan SSD 100 cm untuk berkas 6 MV FFF dan 10 MV FFF menggunakan fantom air.

2.6. Evaluasi dosis titik

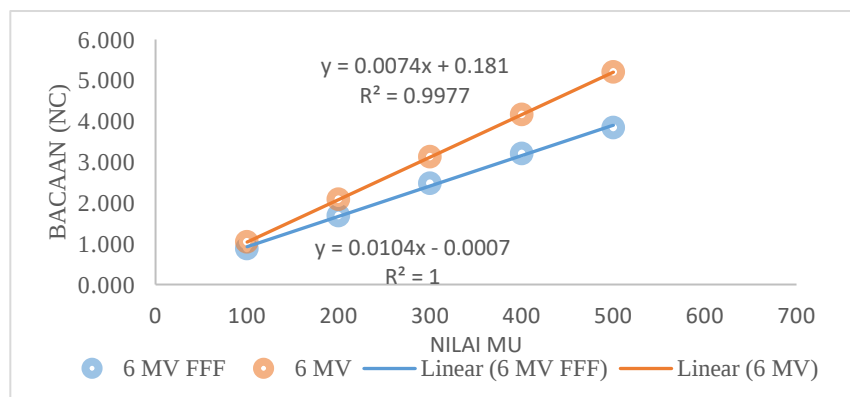
Evaluasi dosis titik dilakukan pada dua perencanaan radiasi teknik *Stereotactic Radiosurgery* (SRS). Dosis pada isocenter dibandingkan antara perhitungan *treatment planning system* (TPS) dan pengukuran dengan PTW microDiamond.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Uji kualitas detektor

Karakteristik umum detektor untuk pengukuran radiasi lapangan kecil adalah linear, stabil, dan kebocoran arus yang minimal pada detektor². Gambar 1 menunjukkan pengaruh dosis terhadap linearitas respon detektor yang diperlihatkan dalam bacaan muatan. Nilai R^2 pada berkas 6 MV sebesar 0.99 dan berkas 6 MV FFF sebesar 1. Nilai R^2 semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa respon detektor linear terhadap dosis.

Nilai toleransi untuk stabilitas dan kebocoran arus detektor berdasarkan TRS 483 adalah 0.1%. Hasil pengukuran stabilitas detektor microdiamond adalah 0.06% pada berkas 6 MV dan 0.02% pada berkas 6 MV FFF. Sedangkan nilai kebocoran arus detektor microdiamond pada berkas 6 MV dan 6 MV FFF sebesar 0.02%. Dengan melihat hasil pengukuran linearitas, stabilitas, dan kebocoran arus detektor yang dibawah toleransi, detektor PTW 60019 microDiamond dapat dikatakan baik sebagai detektor pengukuran dosis radiasi.

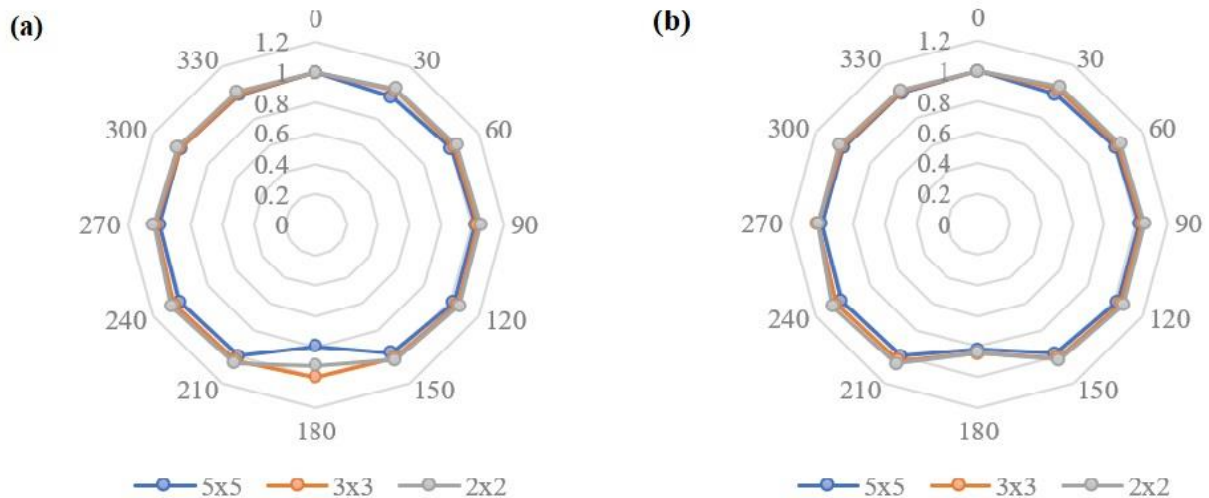


Gambar 1. Linearitas respon detektor PTW microDiamond terhadap berkas foton 6 MV dan 6 MV FFF

3.2. Uji pengaruh arah radiasi

Ketidakpastian hasil pengukuran detektor salah satunya diakibatkan adanya *stem effect* yang disebabkan oleh interaksi radiasi dengan udara atau bahan dielektrik pada detektor maupun interaksi radiasi dengan kabel. Interaksi-interaksi ini

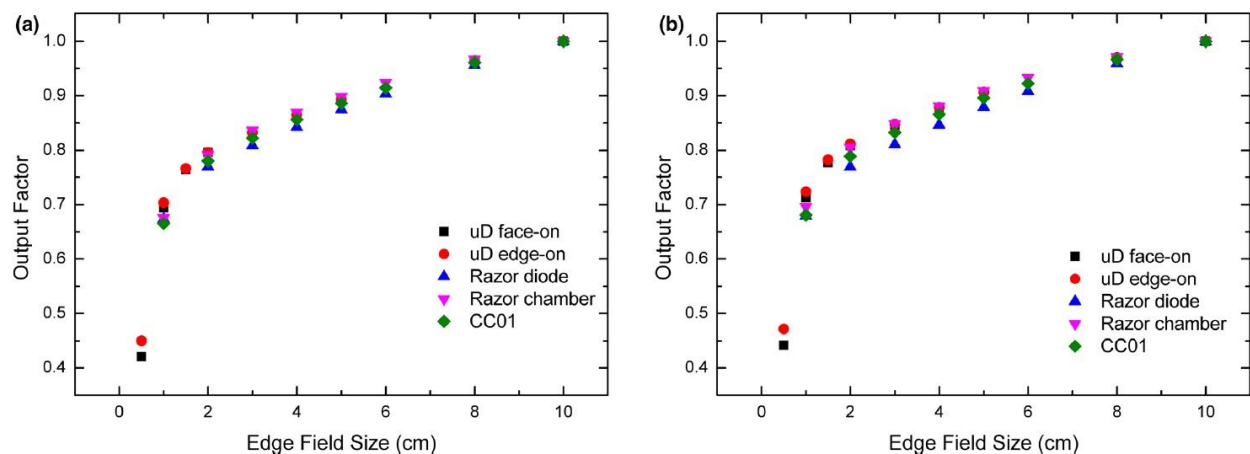
berkontribusi pada nilai bacaan detektor. *Gambar 2* menunjukkan hasil uji pengaruh arah radiasi terhadap respon detektor PTW microDiamond. Deviasi terbesar terjadi pada lapangan $5 \times 5 \text{ cm}^2$ dengan arah radiasi 180° baik pada berkas 6 MV FFF maupun 10 MV FFF, yaitu masing-masing 21% dan 18%. Deviasi besar tersebut kemungkinan disebabkan oleh sifat non-simetris dan *stem effect* yang terjadi akibat potensi adanya *extra cameral effect* pada kabel (3).



Gambar 2. Pengaruh arah radiasi terhadap respon detektor PTW microdiamond (a) pada berkas 6 MV FFF dan (b) pada berkas 10 MV FFF

3.3. Output factor (OF)

Brace et al (2020) melakukan pengukuran OF pada beberapa detektor dan lapangan dengan hasil seperti pada Gambar 3. *Overresponse* terukur pada lapangan $1 \times 1 \text{ cm}^2$ akibat hal yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu tidak tercapainya *lateral charged particle equilibrium* (LCPE), fluens akibat perturbasi partikel bermuatan, dan *volume averaging effects* (3). IAEA TRS 483 merekomendasikan faktor koreksi untuk pengukuran pada lapangan kecil². Hasil pengukuran OF studi ini ditampilkan pada Tabel 1. Pengukuran OF dilakukan pada lapangan $5 \times 5 \text{ cm}^2$, $4 \times 4 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, dan $2 \times 2 \text{ cm}^2$ serta dinormalisasi pada lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Faktor koreksi *field output* untuk lapangan $5 \times 5 \text{ cm}^2$, $4 \times 4 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$ adalah 1, sedangkan faktor koreksi *field output* untuk lapangan $2 \times 2 \text{ cm}^2$ sebesar 0.997.



Gambar 3. Pengukuran OF pada Varian Truebeam dengan detektor PTW microdiamond (a) pada berkas 6 MV (b) pada berkas 6 MV FFF

Tabel 1. Pengukuran OF dengan detektor PTW 60019 microDiamond

Lapangan (cm ²)	OF			
	6 MV	10 MV	6 MV FFF	10 MV FFF
10 x 10	1.000	1.000	1.000	1.000
5 x 5	0.967	0.974	0.976	0.985
4 x 4	0.905	0.922	0.926	0.948
3 x 3	0.877	0.897	0.903	0.929
2 x 2	0.842	0.862	0.870	0.893

3.4. $TPR_{20,10}$

Hasil pengukuran $TPR_{20,10}$ ditunjukkan pada Tabel 2. IAEA TRS 483 merekomendasikan penggunaan bilik ionisasi untuk pengukuran kualitas berkas karena kesesuaian *stopping power ratios* antara air dan udara, tetapi harus mempertimbangkan ukuran detektor sehingga tidak ada pertubasi. Data pada Tabel 2 menunjukkan nilai $TPR_{20,10}$ yang bervariasi karena ukuran lapangan dan kolimasi lapangan kecil dengan *multi leaf collimators* (MLC) akan mempengaruhi kualitas berkas. Bacaan detektor merupakan perbandingan dosis dengan volume detektor. Jika lapangan radiasi terlalu kecil dibandingkan volume aktif detektor, LCPE tidak akan tercapai sehingga terdapat perbedaan signal yang terukur detektor. Pengukuran $TPR_{20,10}$ menggunakan detektor CC13 dengan volume aktif 0.125 cm³ dibandingkan detektor microDiamond dengan volume aktif 0.004 mm³ memiliki deviasi nilai $TPR_{20,10}$ hingga 5.4%.

Tabel 2. Pengukuran $TPR_{20,10}$ dengan detektor PTW 60019 microDiamond dan CC13

Energi (MV)	Lapangan (cm ²)	Microdiamond	CC13	Deviasi (%)
6X	5 × 5	0.625	0.648	3.7
	4 × 4	0.610	0.643	5.4
	3 × 3	0.610	0.637	4.4
	2 × 2	0.594	0.625	5.3
10X	5 × 5	0.681	0.709	4.1
	4 × 4	0.686	0.698	1.7
	3 × 3	0.682	0.694	1.7
	2 × 2	0.688	-	-
6 FFF	5 × 5	0.637	0.644	1.1
	4 × 4	0.627	0.641	2.2
	3 × 3	0.621	0.634	2.1
	2 × 2	0.616	0.632	2.5
10FFF	5 × 5	0.689	0.701	1.9
	4 × 4	0.685	0.690	0.8
	3 × 3	0.679	0.691	1.9
	2 × 2	0.678	-	-

3.5. Pengukuran dosis absolut

Dalam pengukuran detektor PTW 60019 microDiamond harus digunakan tegangan 0 V, sehingga dalam pengukuran dan perhitungan dosis absolut tidak diperlukan faktor koreksi akibat tegangan, yaitu koreksi rekombinasi dan koreksi polaritas. Faktor koreksi yang digunakan dalam pengukuran dosis absolut yaitu koreksi suhu dan tekanan. Selain faktor koreksi tersebut, diperlukan $TPR_{20,10}$ sebagai faktor kualitas berkas dan PDD_{10} sebagai fungsi kedalaman.

Pengukuran dosis absolut dilakukan pada lapangan referensi $10 \times 10 \text{ cm}^2$, kedalaman 10 cm, dan SSD 100 cm. Deviasi pengukuran berkas 6 MV FFF dan 10 MV FFF masing-masing adalah 0.98% dan 0.17%. Toleransi pengukuran dosis absolut adalah 2%.

3.6. Evaluasi dosis titik

Evaluasi dosis titik dilakukan pada perencanaan radiasi teknik SRS dengan berkas foton 6 MV FFF. Hasil evaluasi dosis titik ditunjukkan pada Tabel 3. Deviasi dosis perhitungan TPS dan pengukuran adalah 0.96% dan 1.75%. Toleransi evaluasi dosis titik adalah 2%.

Tabel 3. Evaluasi dosis titik menggunakan PTW 60019 microDiamond

Kasus	Dosis (Gy)		Deviasi (%)
	TPS	Pengukuran	
1	39.37	39.74	0.96
2	37.82	38.48	1.75

4. Kesimpulan

Detektor PTW 60019 microDiamond memenuhi karakteristik umum detektor untuk pengukuran radiasi yaitu linear, stabil, dan kebocoran arus yang minimal pada detektor. Pengaruh arah radiasi terhadap respon detektor microDiamond rendah, deviasi respon terbesar terdapat terjadi pada arah radiasi 180° yang kemungkinan disebabkan oleh sifat non-simetris dan *stem effect*. *Overresponse* terukur pada lapangan $1 \times 1 \text{ cm}^2$ sehingga pada pengukuran OF pada lapangan kecil diperlukan faktor koreksi *field output*. Pengukuran $TPR_{20,10}$ menggunakan detektor CC13 dengan volume aktif 0.125 cm^3 dibandingkan detektor microDiamond dengan volume aktif 0.004 mm^3 memiliki deviasi hasil bacaan hingga 5.4%. Jika lapangan radiasi terlalu kecil dibandingkan volume aktif detektor, LCPE tidak akan tercapai sehingga terdapat perbedaan signal yang terukur detektor. Detektor *synthetic diamond* merupakan salah satu detektor yang direkomendasikan IAEA TRS 483 sebagai dosimeter radiasi lapangan kecil. Hasil pengukuran absolut pada berkas 6 MV FFF dan 10 MV FFF masing-masing adalah 0.98% dan 0.17%. Deviasi evaluasi dosis titik pada perencanaan radiasi teknik SRS adalah 0.96% dan 1.75%. Detektor PTW 60019 microDiamond cocok digunakan sebagai detektor radiasi lapangan kecil, baik untuk pengukuran relatif maupun absolut.

Referensi

- ¹ Y Akino, M Fujiwara, K Okamura, et al. "Characterization of a microSilicon diode detector for small-field photon beam dosimetry", *J Radiat Res*, **61**(3):410-418, (2020). doi:10.1093/jrr/rraa010
- ² S Weintraub. "International Atomic Energy Agency", *Nature*. **207**(5002):1138, (1965). doi:10.1038/2071138a0
- ³ OJ Brace, SF Alhujaili, JR Paino, et al. "Evaluation of the PTW microDiamond in edge-on orientation for dosimetry in small fields. *J Appl Clin Med Phys*, **21**(8):278-288, (2020). doi:10.1002/acm2.12906
- ⁴ M Shaw, J Lye, A Alves, dkk. "Characterisation of a synthetic diamond detector for end-to-end dosimetry in stereotactic body radiotherapy and radiosurgery", *Phys Imaging Radiat Oncol*, **20**:40-45, (2021). doi:10.1016/j.phro.2021.10.002
- ⁵ A Ralston, M Tyler, P Liu, D McKenzie, N Suchowerska. "Over-response of synthetic microDiamond detectors in small radiation fields", *Phys Med Biol*, **59**(19):5873-5881, (2014). doi:10.1088/0031-9155/59/19/5873
- ⁶ T Kashiwagi, K Hibino, H Kitamura, et al. "Investigation of basic characteristics of synthetic diamond radiation detectors", *IEEE Trans Nucl Sci*, **53**(2):630-635, (2006). doi:10.1109/TNS.2006.871505
- ⁷ IAEA. "International Conference on Advances in Radiation Oncology ICARO2 (RDHR-2020)", *Int Conf Int Conf*, (2020). <http://www-pub.iaea.org/iaeameetings/50815/> International-Conference-on-Advances-in- Radiation-Oncology-ICARO2.