

Perbandingan Daya Tangkap Dosis Radiasi Beberapa Dosimeter Aktif Perorangan

Annisa Destri Ramadiah¹, Rico Adrial^{1,*}, Hasnel Sofyan², Amel Oktavia S³

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²PRTKMMN BRIN, Pasar Jum'at, Lebak Bulus, Jakarta Selatan, Indonesia

³Instalasi Radioterapi, Rumah Sakit Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 02 Desember 2023

Direvisi: 20 Desember 2023

Diterima: 18 Maret 2024

Kata kunci:

dose area product (dap)

dosis radiasi

dosimeter aktif

entrance surface air kerma (esak)

Keywords:

radiation dose

active dosimeter

dose area product (dap)

entrance surface air kerma (esak)

Penulis Korespondensi:

Rico Adrial

Email: ricoadrial@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian perbandingan daya tangkap dosis radiasi beberapa dosimeter aktif perorangan. Daya tangkap dosis radiasi dosimeter aktif dibandingkan dengan hasil perhitungan teori ESAK (*Entrance Surface Air Kerma*) yang digunakan sebagai nilai referensi dosis radiasi dan *Dose Area Product* (DAP) yang biasa digunakan untuk pemantauan dosis radiasi pesawat sinar-X. Dosimeter aktif telah dikalibrasi oleh lembaga kalibrasi. Pengambilan data dilakukan dengan menyinari dosimeter aktif di bawah sumber pesawat sinar-X dengan tegangan tabung (50, 60, 70, 81, 90 dan 102) kV dan arus tabung 8 mAs. Dosimeter aktif disusun di isosenter lapangan penyinaran radiasi dengan luas (30 x 30) cm. Hasil pengujian menunjukkan dosimeter aktif yang digunakan dalam penelitian memiliki nilai daya tangkap dosis radiasi yang berbeda dengan nilai ESAK dan DAP, tetapi memiliki daya tangkap dosis radiasi yang linear terhadap ESAK dan DAP. Dosimeter aktif yang memiliki nilai daya tangkap dosis radiasi terbaik berdasarkan koefisien determinasi ESAK dan terbaik berdasarkan koefisien determinasi DAP terhadap dosimeter aktif yaitu dosimeter PDM-127 dengan $[R^2] = 0,9396$ dan $[R^2] = 0,9767$. Dalam penggunaannya dosimeter aktif tidak direkomendasikan untuk penggunaan pengukuran dosis radiasi secara langsung di bawah sumber radiasi foton karena untuk keseluruhan dosimeter aktif memiliki persentase perbandingan daya tangkap dosis radiasi rata-rata > 94%

A comparison study of the radiation dose capture power of several individual active dosimeters was conducted. The radiation dose capture power of active dosimeters was compared with the calculation results of ESAK (Entrance Surface Air Kerma) theory which is used as a reference value of radiation dose and Dose Area Product (DAP) which is commonly used for X-ray device radiation dose monitoring. The active dosimeter has been calibrated by a calibration institute. Data was collected by irradiating the active dosimeter under an X-ray device source with a tube voltage of (50, 60, 70, 81, 90 and 102) kV and a tube current of 8 mAs. The active dosimeter was arranged in the isocenter of the radiation irradiation field with an area of (30 x 30) cm. The test results show that the active dosimeters used in the study have radiation dose capture values that are different from the ESAK and DAP values, but have radiation dose capture power that is linear to ESAK and DAP. The active dosimeter that has the best radiation dose capture value based on the ESAK determination coefficient and the best based on the DAP determination coefficient against the active dosimeter is the PDM-127 dosimeter with $[R^2] = 0,9396$ and $[R^2] = 0,9767$. In its use, the active dosimeter is not recommended for the use of radiation dose measurement directly under the photon radiation source because for the entire active dosimeter has an average radiation dose capture power comparison percentage of > 94%.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia, salah satu pemantauan dosis perorangan secara umum menggunakan dosimeter pasif *Thermoluminescence Dosimetry* (TLD) untuk pemantauan dosis eksternal dari paparan radiasi foton dan neutron, serta menggunakan *Whole Body Counter* (WBC) untuk pemantauan dosis internal bagi personal yang terpapar radiasi (Farida, Sri Wahyuningsih, 2018), namun dalam penggunaan dua alat tersebut untuk pemantauan dosis radiasi memerlukan biaya dan waktu dalam proses pembacaan dosis radiasi yang ditangkap. Selain menggunakan TLD dan WBC untuk mengukur dosis radiasi, dapat digunakan juga dosimeter aktif yang memiliki fitur-fitur fleksibel. Dosimeter ini mampu membaca dan menampilkan dosis radiasi secara langsung pada dosimeter (Sofyan, 2013). Dosimeter aktif memberikan informasi secara real-time untuk pembacaan dosis radiasi dan memiliki potensi untuk proteksi radiasi (Laksmiarti, 2002). Dalam pengujian untuk evaluasi dosimeter aktif terdapat standar yang digunakan, yaitu standar IEC-61526.

IEC (*International Electrotechnical Commission*) adalah lembaga yang menyiapkan dan menerbitkan standar internasional untuk semua peralatan teknologi listrik dan elektronik (ISO 9917-1, 2003) Standar IEC-61526 ini berlaku untuk pengukuran setara dosis pribadi dengan karakteristik: dikenakan pada tubuh luar, mengukur dosis setara pribadi, memiliki indikasi digital, dan memiliki fitur alarm untuk dosis ekuivalen setara pribadi (IAEA, 1999b).

Ortega dkk. (2001) melakukan penelitian tentang prospek dosimeter elektronik sebagai dosimeter yang legal untuk digunakan. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa 3 dari 6 pabrikan dosimeter elektronik yang digunakan memenuhi secara karakteristik fisik dan kinerja radiologi serta dalam pengujian mekanik dan lingkungan. Persyaratan yang digunakan dalam pengujian yaitu standar IEC-61526. Tetapi terdapat parameter yang perlu diuji lebih lanjut yaitu respon dosimeter aktif terhadap radiasi foton.

Voytchev dkk. (2011) membahas tentang Standar IEC Monitoring Radiasi Ionisasi untuk Individu. Standar yang dibahas yaitu pemantauan individu untuk pengukuran dosis radiasi menggunakan dosimeter aktif dan dosimeter pasif. Standar yang mencakup monitoring individu dosimeter aktif adalah IEC-61526, standar ini berlaku untuk pengukuran setara dosis individu (Sofyan dkk, 2015). Standar yang digunakan untuk monitoring dosimeter pasif yaitu IEC 62387-1. Standar ini digunakan untuk sistem dosimetri yang mampu mengevaluasi kuantitas dan satuan dalam Sievert (Sv) pada saat proses pembacaan.

Sailer dkk. (2017) melakukan penelitian monitoring dosis radiasi untuk pasien dan staf di ruangan Infrared secara real-time. Penelitian ini menggunakan Personal Dose Meter (PDM) untuk mengukur dosis radiasi secara langsung. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa PDM mampu mengidentifikasi jenis radiasi dosis tinggi dan memungkinkan digunakan untuk penggunaan dalam optimasi proteksi radiasi.

Pengukuran dosis radiasi tidak hanya terbatas pada dosis yang terbaca pada dosimeter saja, tapi terdapat besaran lain yang digunakan. Besaran yang digunakan yaitu *Dose Area Product* (DAP). DAP adalah metode pemantauan dosis radiasi yang digunakan dalam studi radiografi dan fluoroskopi (Batu dkk. 2014). Metode ini memberikan indikasi dosis radiasi yang diterima oleh objek dan merupakan pengukuran yang digunakan dalam audit dosis (perbandingan untuk referensi diagnostik. Nilai DAP dianggap proporsional dengan dosis ekuivalen sehingga baik digunakan untuk perkiraan pengukuran dosis radiasi dipermukaan kulit (Hiswara, 2016). Selain pemantau dosis radiasi menggunakan dosimeter dan DAP, untuk memperkirakan dosis radiasi yang dikeluarkan oleh pesawat sinar-X juga dapat dilakukan dengan dengan memperkirakan dosis radiasi yang dikeluarkan oleh tabung sinar-X dengan mengitung secara teori dengan menggunakan nilai *incident air kerma* dan *backscatter factor* (TRS 457, 2007), berdasarkan penelitian (Irsal dkk, 2014) ESAK direkomendasikan oleh ICRU untuk dosimetri pada pencitraan medis.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian yang akan dilakukan yaitu membandingkan daya tangkap dosis radiasi radiasi menggunakan dosimeter aktif perorangan dimana dosimeter aktif memiliki akurasi daya tangkap dosis radiasi yang berbeda-beda. Daya tangkap dosis radiasi merujuk kepada kemampuan terimaan dosis radiasi oleh dosimeter. Hasil dari daya tangkap yang terbaca dari dosimeter aktif akan dibandingkan dengan daya tangkap radiasi dari perhitungan ESAK (*Entrance Surface Air Kerma*) untuk melihat keefektifan pemakaian dosimeter aktif sebagai alternatif daya tangkap dosis radiasi secara langsung pada sumber radiasi foton.

II. METODE

Penelitian diawali dengan mengkalibrasi dosimeter aktif jenis silikon semikonduktor, yaitu dosimeter aktif PDM-122, PDM-127, DMC-3000, dan EPD Mk2 oleh pihak PRTKMMN BRIN. Pengkalibrasian dilakukan dengan menyinari dosimeter di medan radiasi standar sumber Cs-137 dan Am-241. Pengkalibrasian dilakukan sesuai dengan metode substitusi (IAEA, 1999a). Penelitian dilakukan di Instalasi Radiodiagnostik Rumah Sakit Universitas Andalas. Kemudian untuk proses pengambilan data, dosimeter aktif terlebih dahulu diuji responnya terhadap sumber radiasi, dimana dosimeter aktif diletakkan pada meja pemeriksaan dengan jarak 100 cm dari sumber radiasi. Dosimeter aktif diletakkan di isosenter dengan luas lapangan penyinaran sebesar (30 x 30) cm. Selanjutnya dosimeter disinari radiasi pesawat sinar-X konvensional, setelah pengujian respon dosimeter aktif, kemudian dilakukan penyinaran radiasi pesawat sinar-X dengan variasi faktor eksposi tegangan tabung (50, 60, 70, 81, 90 dan 102) kV dan arus tabung sebesar 8 mAs.

Pengolahan data dilakukan dengan mengkonversikan daya tangkap dosis radiasi oleh masing-masing dosimeter dengan faktor bobot radiasi. Hasil perhitungan dosis radiasi masing-masing dosimeter aktif dan DAP akan dibandingkan dengan daya tangkap yang didapat dari hasil perhitungan nilai ESAK. Untuk mendapatkan nilai ESAK, dapat menggunakan Persamaan:

$$K = ax^b \quad (1)$$

$$INAK = K \times I \times \left(\frac{100}{FDD} \right)^2 \quad (2)$$

$$ESAK = I \times bsf \quad (3)$$

Dengan K adalah kerma (mGy), a dan b adalah konstanta yang terkait dengan modalitas pesawat sinar-X, x adalah nilai beda potensial/tegangan tabung (kV), $INAK$ adalah *Incident air kerma*, I adalah arus tabung yang digunakan (mAs), FDD adalah jarak fokus ke detektor (cm), bsf adalah *backscatter factor*, nilai yang digunakan yaitu 1,35

Selanjutnya, untuk melihat persentase perbandingan dari daya tangkap radiasi yang terbaca oleh dosimeter aktif dengan daya tangkap yang berasal dari ESAK menggunakan Persamaan 4.

$$\% \text{ perbandingan} = \left| \frac{\text{teori} - D_{\text{aktif}}}{\text{teori}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

dengan teori adalah nilai *Entrance Surface Air Kerma* (μSv) yang telah dihitung menggunakan Persamaan 3 dan DAP yang didapatkan dari konsol pesawat sinar-X serta D_{aktif} adalah daya tangkap terukur (μSv) pada dosimeter.

III. HASIL DAN DISKUSI

Hubungan DAP dan Dosimeter Aktif terhadap Dosis Radiasi pada Berbagai Variasi Tegangan Tabung.

Pengukuran dosis radiasi pada DAP dan dosimeter aktif dilakukan dengan arus tabung sebesar 8 mAs dengan jarak sumber radiasi ke dosimeter aktif sebesar 100 cm. Tegangan tabung yang digunakan yaitu (50, 60, 70, 81, 90 dan 102) kV dengan luas lapangan penyinaran yang digunakan sebesar (30 x 30) cm. Dosis radiasi yang ditangkap oleh DAP (μGy^2) selanjutnya dikonversikan dengan membagi dengan luas lapangan penyinaran radiasi sehingga didapatkan satuan (μGy). Dosis radiasi rujukan yang digunakan adalah dosis radiasi dari perhitungan ESAK (Persamaan 3). Hasil pengukuran daya tangkap dosis radiasi menggunakan dosimeter aktif dan DAP dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai daya tangkap dosis radiasi pada dosimeter aktif, DAP, dan ESAK

| No | V (kV) | I (mAs) | Daya Tangkap Dosis Radiasi (μSv) | | | | | |
|----|-----------|------------|---|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|
| | | | Dosimeter Aktif | | | | | |
| | | | PDM-122 | PDM-127 | DMC-3000 | EPD Mk2 | DAP | ESAK |
| 1 | 50 | 8 | 11,78 ± 0,58 | 4,64 ± 0,00 | 29,92 ± 0,59 | 6,86 ± 0,00 | 206,7 ± 1,11 | 463,3 |
| 2 | 60 | 8 | 18,85 ± 0,58 | 9,28 ± 0,00 | 31,62 ± 0,00 | 7,51 ± 0,57 | 317,4 ± 0,67 | 509,8 |
| 3 | 70 | 8 | 24,24 ± 0,00 | 11,6 ± 0,00 | No-read | 8,82 ± 0,00 | 429,4 ± 0,11 | 551,6 |
| 4 | 81 | 8 | 29,29 ± 0,00 | 14,69 ± 0,67 | No-read | 10,45 ± 0,57 | 556,2 ± 0,78 | 593,2 |
| 5 | 90 | 8 | 35,69 ± 6,73 | 17,4 ± 4,02 | No-read | 11,76 ± 3,39 | 585,2 ± 127,8 | 626,1 |
| 6 | 102 | 8 | 53,53 ± 1,01 | 26,29 ± 0,67 | No-read | 17,64 ± 0,00 | 799,9 ± 0,44 | 668,5 |

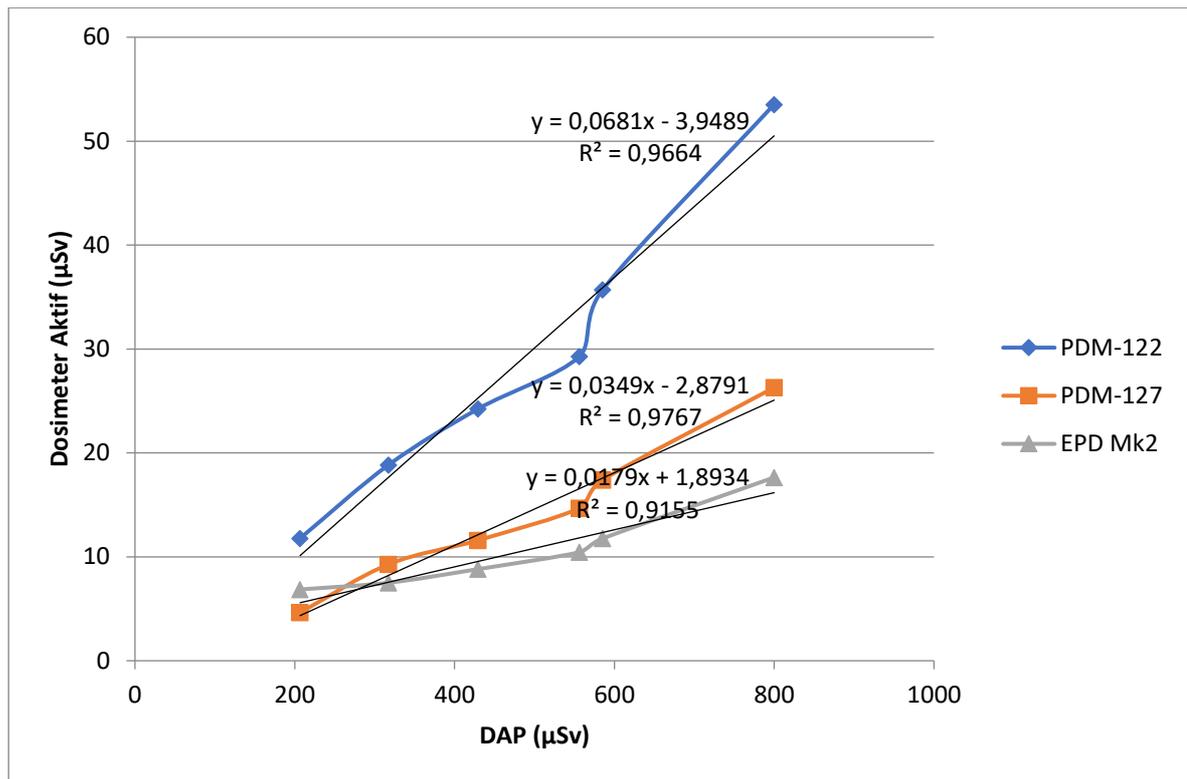
Nilai daya tangkap dosis radiasi untuk dosimeter aktif pada Tabel 1 merupakan hasil pengukuran daya tangkap dosis radiasi untuk dosimeter aktif pada masing-masing tegangan tabung (kV) yang telah dikalikan dengan faktor kalibrasi untuk tiap-tiap dosimeter aktif. Faktor kalibrasi dosimeter aktif didapatkan dari sertifikasi pengkalibrasian dosimeter yang telah dilakukan oleh lembaga kalibrasi.

Secara umum, daya tangkap dosis radiasi dosimeter aktif menunjukkan kenaikan yang sebanding dengan kenaikan tegangan tabung. Namun, daya tangkap dosis radiasi yang ditampilkan pada dosimeter aktif berbeda-beda. Dari Tabel 1 terlihat bahwa dosimeter aktif PDM-122, PDM-127, DMC-3000 dan EPD Mk2 menunjukkan kemampuan dalam daya tangkapan dosis radiasi untuk rentang pengukuran tegangan dan arus tabung yang diberikan. Tetapi pada dosimeter aktif DMC-3000 hanya dapat menampilkan daya tangkap dosis radiasi hingga pada tegangan 60 kV, dengan demikian dosimeter aktif DMC-3000 tidak direkomendasikan untuk digunakan dalam daya tangkap dosis radiasi pada tegangan tabung 70-120 kV dan arus 8 mAs. Berdasarkan Tabel 1 juga didapatkan bahwa dosimeter aktif EPD Mk2 memiliki daya tangkap dosis radiasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan dosimeter aktif lainnya

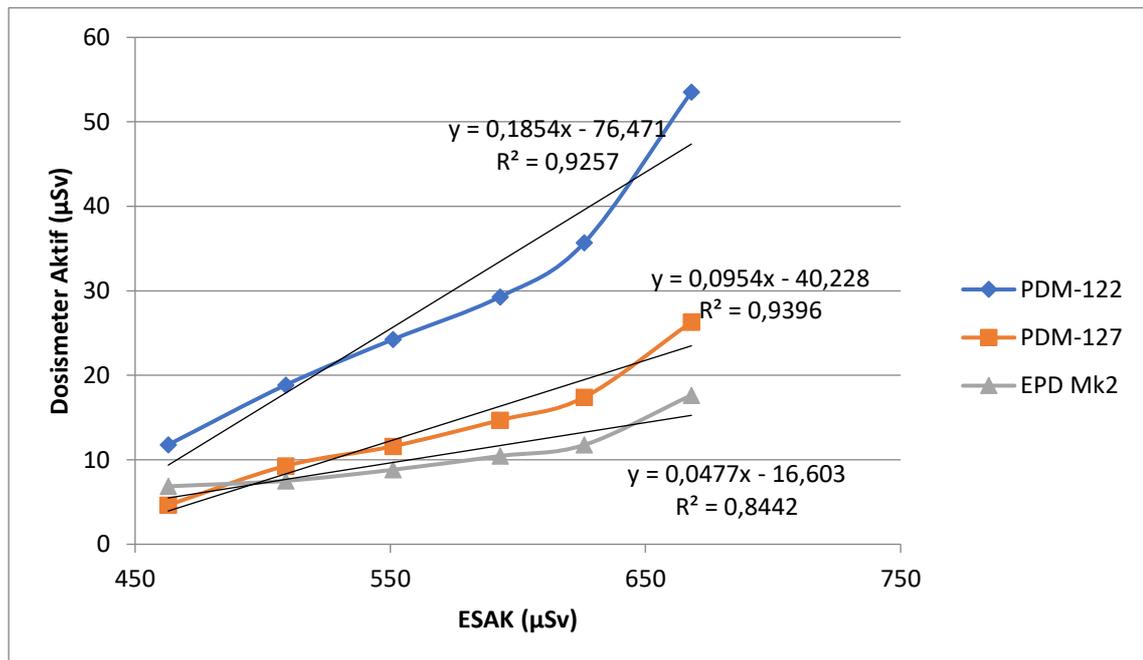
Nilai daya tangkap dosis radiasi dari ESAK didapatkan dari perhitungan secara teori atau berdasarkan dari keluaran tabung pesawat sinar-X dan DAP didapatkan dari konsol pesawat sinar-X. Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa nilai daya tangkap dosis radiasi dari ESAK dan DAP terhadap dosimeter aktif memiliki *gap* nilai yang besar.

Grafik hubungan nilai daya tangkap dosis radiasi dosimeter aktif terhadap DAP ditampilkan pada Gambar 1. Daya tangkap dosis radiasi dosimeter aktif terhadap DAP memiliki hubungan yang linear dengan koefisien determinasi [R^2]. Koefisien determinasi [R^2] berturut-turut untuk dosimeter PDM-122, PDM-127, dan EPD Mk2 yaitu (0,9664, 0,9767, 0,9155).

Grafik hubungan nilai daya tangkap dosis radiasi dosimeter aktif terhadap ESAK ditampilkan pada Gambar 2. Daya tangkap dosis radiasi dosimeter aktif terhadap ESAK memiliki hubungan yang linear dengan koefisien determinasi [R^2]. Koefisien determinasi [R^2] berturut-turut untuk dosimeter PDM-122, PDM-127, dan EPD Mk2 yaitu (0,9257, 0,9396, 0,8442). Berdasarkan koefisien determinasi dari dosimeter aktif terhadap ESAK dan DAP, didapatkan bahwa dosimeter aktif PDM-127 memiliki koefisien determinasi yang paling tinggi atau mendekati nilai 1 yang artinya PDM-127 memiliki nilai daya tangkapan dosis radiasi yang paling mendekati dengan nilai yang dihitung secara teori/ESAK dan terhadap nilai daya tangkap dosis radiasi oleh DAP.



Gambar 1 Hubungan daya tangkap dosis radiasi dosimeter aktif terhadap daya tangkap dosis radiasi DAP



Gambar 2 Hubungan daya tangkap dosis radiasi dosimeter aktif terhadap daya tangkap dosis radiasi ESAK

Berdasarkan nilai daya tangkap dosis radiasi pada dosimeter aktif, DAP dan ESAK pada Tabel 1 dihitung persentase perbandingan daya tangkap dosis radiasi dari masing-masing dosimeter aktif terhadap ESAK dan DAP yang didapatkan dari perhitungan menggunakan Persamaan 4. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2 Persentase perbandingan daya tangkap dosis radiasi ESAK dengan dosimeter aktif
% Perbandingan Daya Tangkap Dosis Radiasi

| No. | PDM-122 | PDM-127 | EPD Mk2 |
|-----------|---------|---------|---------|
| 1. | 97,46 | 99,00 | 98,52 |
| 2. | 96,30 | 98,18 | 98,53 |
| 3. | 95,61 | 97,90 | 98,40 |
| 4. | 95,06 | 97,52 | 98,24 |
| 5. | 94,30 | 97,22 | 98,12 |
| 6. | 91,99 | 96,07 | 97,36 |
| Rata-rata | 95,12 | 97,65 | 98,19 |

Tabel 3 Persentase perbandingan daya tangkap dosis radiasi DAP dengan dosimeter aktif
% Perbandingan Daya Tangkap Dosis Radiasi

| No. | PDM-122 | PDM-127 | EPD Mk2 |
|-----------|---------|---------|---------|
| 1. | 94,30 | 97,76 | 96,68 |
| 2. | 94,06 | 97,08 | 97,63 |
| 3. | 94,35 | 97,30 | 97,95 |
| 4. | 94,73 | 97,36 | 98,12 |
| 5. | 93,90 | 97,03 | 97,99 |
| 6. | 93,31 | 96,71 | 97,79 |
| Rata-rata | 94,11 | 97,20 | 97,69 |

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 dapat dilihat persentase daya tangkap dosis radiasi masing-masing dosimeter aktif berbeda jika dibandingkan dengan nilai ESAK dan DAP. Untuk keseluruhan dosimeter aktif yang digunakan dalam penelitian memiliki persentase daya tangkap dosis radiasi rata-rata di atas 94%. Dengan demikian dari hasil penelitian ini dosimeter aktif tidak direkomendasikan untuk penggunaan pengukuran dosis radiasi secara langsung di bawah sumber radiasi foton karena berdasarkan (IAEA, 1999b) keakuratan daya tangkap dosis radiasi oleh dosimeter aktif tidak boleh kurang dari 33% atau bernilai lebih besar dari 50%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dosimeter aktif yang digunakan dalam penelitian memiliki nilai daya tangkap dosis radiasi yang berbeda dengan nilai ESAK dan DAP, tetapi memiliki daya tangkap dosis radiasi yang linear terhadap ESAK dan DAP, sehingga dosimeter aktif dapat menampilkan daya tangkap dosis radiasi walaupun bukan daya tangkap dosis radiasi yang sebenarnya. Dosimeter aktif yang memiliki nilai daya tangkap dosis radiasi terbaik berdasarkan koefisien determinasi ESAK dan terbaik berdasarkan koefisien determinasi DAP terhadap dosimeter aktif yaitu dosimeter PDM-127 dengan $[R^2] = 0,9396$ dan $[R^2] = 0,9767$. Dalam penggunaannya dosimeter aktif tidak direkomendasikan untuk penggunaan pengukuran dosis radiasi secara langsung di

bawah sumber radiasi foton karena untuk keseluruhan dosimeter aktif memiliki persentase perbandingan daya tangkap dosis radiasi rata-rata > 94%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pihak PRTKMMN BRIN dan Rumah Sakit Universitas Andalas yang telah memberikan izin penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Batu, P., Siti, G., Irwan, D. M., Sri, K., Jurusan, M., Radiodiagnostik, T., Poltekkes, R., Semarang, K., & Tirto Agung, J. (2014). *Dose Area Product Performance in Fluoroscopy as Supporting Modalities Lithotripsy Extracorporeal Shock Wave (ESWL) Action for Kidney Stone Localization Resolution Performance Dose Area Product pada Fluoroscopy sebagai Modalitas Penunjang Extracorporeal S.* 545–550.
- Farida, Sri Wahyuningsih, A. D. S. (2018). Manajemen Pemantauan Dosis Radiasi Personil Pekerja Radiasi Di IRM Dan IEBE. *Reposiding Hasil-Hasil Penelitian EBN Tahun 2018*, 313–323.
- Hiswara, E. (2016). Tingkat acuan diagnostik pada radiografi umum. (*Batan*), 1–6.
- IAEA. (1999a). *Iaea Safety Related Publications. June*, 153. www.iaea.org/ns/coordinet
- IAEA. (1999b). IAEA Safety Standards Series: Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation.
- Irsal, M., Hidayanto, E., & Arifin, Z. (2014). Analisa Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Entrance Surface Air Kerma (Esak). *Youngster Physics Journal*, 3(4), 271–278.
- ISO 9917–1. (2003). International Standard International Standard. *61010-1 © Iec:2001, 2003(10)*, 13.
- Laksmiarti, T. (2002). Alat Pemantau Perorangan Pada Tenaga Kerja Radiasi Di Bidang Kesehatan. In *Media Litbang Kesehatan* (Vol. 12, Issue 2, pp. 36–40).
- Ortega, X., Ginjaume, M., Hernandez, A., Villanueva, I., & I, A. (2001). *the Outlook for the Application of Electronic.* 96, 87–91.
- Prayitno, G., & Roza, E. (2018). Analisa Matematik Karakteristik Detector Semikonduktor Silicon Tipe P sebagai Bahan Detector Partikel Radiasi Bermuatan. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 3(2502), 55. <https://doi.org/10.22236/teknoka.v3i0.2822>
- Sailer, A. M., Paulis, L., Vergoossen, L., Kovac, A. O., Wijnhoven, G., Schurink, G. W. H., Mees, B., Das, M., Wildberger, J. E., de Haan, M. W., & Jeukens, C. R. L. P. N. (2017). Real-Time Patient and Staff Radiation Dose Monitoring in IR Practice. *CardioVascular and Interventional Radiology*, 40(3), 421–429. <https://doi.org/10.1007/s00270-016-1526-8>
- Sofyan, H. (2013). Peluang Dosimeter Personal Elektronik untuk Menggantikan Dosimeter Personal Pasif. *Buletin Alara*, 15(1), 27–37.
- TRS457. (2007). *Dosimetry in Diagnostic Radiology : An International Code of Practice.* IAEA.
- Voytchev, M., Ambrosi, P., Behrens, R., & Chiaro, P. (2011). IEC standards for individual monitoring of ionising radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 144(1–4), 33–36. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq296>