

Tanggapan Dosimeter Lensa Mata Personal Menggunakan TLD-900 (CaSO₄:Dy) pada Medan Radiasi Beta dan Foton

Ni Kadek Nova Anggarani^{1)*}, Johan A.E Noor²⁾, Bunawas³⁾

¹⁾ Program Studi Magister Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

²⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

³⁾ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN

Diterima 01 April 2016, Direvisi 28 April 2016

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan dan pengujian dosimeter lensa mata dengan menggunakan detektor TLD CaSO₄:Dy pada medan radiasi beta. Diperoleh hasil tanggapan yang baik untuk keterulangan dan homogenitas dengan perolehan variasi tanggapan di bawah 10%. Tanggapan terhadap variasi energi beta menunjukkan bahwa energi beta di bawah 0,7 MeV yang diwakilkan oleh ⁸⁵Kr tidak dapat menembus lapisan filter dan untuk energi beta tinggi ⁹⁰Sr/⁹⁰Y masih dapat menembus lapisan filter dan memberikan respon terhadap ¹³⁷Cs sebesar $0,44 \pm 0,07$. Hasil tanggapan sudut datang radiasi beta menunjukkan kebergantungan terhadap sudut datang penyinaran. Tanggapan energi foton yang memperlihatkan kebergantungan pada energi di bawah 100 keV dengan tanggapan sudut datang radiasi pada energi 65 keV menunjukkan hasil yang cukup baik dengan selisih bacaan terhadap penyinaran 0° maksimum sebesar 20%.

Kata kunci: Beta, Dosimeter lensa mata TLD CaSO₄:Dy, Foton, Tanggapan

ABSTRACT

Manufacturing and testing of eye lens dosemeter have been carried out using TLD detector CaSO₄:Dy in beta radiation field. The results indicated a good response in reproducibility and homogeneity with the acquisition of the response variations below 10%. The response to variations in beta energy indicated that the beta with energy below 0,7 MeV, represented by ⁸⁵Kr, could not penetrate the filter layer, while high energy beta of ⁹⁰Sr/⁹⁰Y was able to penetrate the filter and provided response to ¹³⁷Cs of 0.44 ± 0.07 . Response to incidence angle of beta radiation showed dependence on the angle of incidence of irradiation. The response indicates the photon energy dependence on the energy below of 100 keV with angle response of radiation incidence on the energy 65 keV showed good results with the difference in readings against the irradiation of 0° maximum 20 %.

Keywords: Beta, Eye lens dosemeter TLD CaSO₄:Dy, photon, response

PENDAHULUAN

Dewasa ini penggunaan radiasi di rumah sakit semakin luas, guna meningkatkan kualitas perawatan pasien. Berdasarkan data yang dihimpun oleh ICRP diketahui bahwa terdapat lima bagian dari pekerja medis yang mendapat porsi dosis radiasi yang besar terutama pada daerah mata yaitu pekerja medis yang berada

didekat pasien selama prosedur intervensi radiologi, pekerja yang bertugas melakukan persiapan peralatan radiologi seperti PET/CT-Scan, serta sumber radiofarmaka terutama apabila terdapat radiasi beta yang digunakan. Pekerja yang terlibat dalam brakiterapi manual, pekerja yang terlibat dalam prosedur CT intervensi terpadu termasuk biopsi dan pekerja di bagian siklotron [1]. Publikasi *The International Commission on Radiological Protection* (ICRP) Nomor 118 mengeluarkan rekomendasi penurunan dosis lensa mata. Dosis ambang ekivalen lensa mata diturunkan dari

*Corresponding author:
e-mail: nova_anggarani@yahoo.com

semula 150 mSv menjadi 20 mSv [2]. Batas dosis ekivalen ini juga tercantum pada perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 mengenai *Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir* [3]. Penurunan dosis mata dilakukan berdasarkan pertimbangan bahwa sejumlah kecil paparan radiasi (0,5 Gy) dapat menginduksi munculnya kerusakan lensa mata berupa pengeruhan lensa (katarak) [2]. Penurunan batas ambang dosis ini mengakibatkan diperlukannya dosimeter lensa mata sebagai dosimeter khusus guna memonitoring besar radiasi yang diperoleh oleh pekerja yang berkaitan dengan sumber radioaktif maupun paparan radiasi [4]. Monitoring dosis mata ini diperlukan untuk mengantisipasi resiko katarak akibat paparan radiasi pengion.

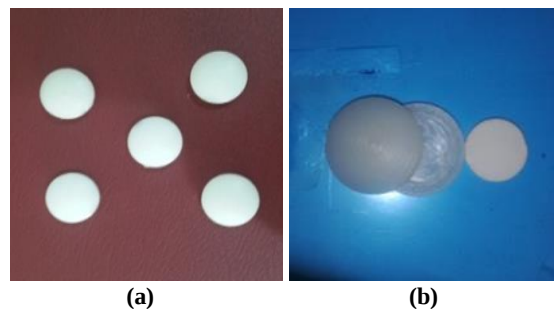
TLD 900 merupakan TLD dengan material penyusun CaSO₄ dengan doping Dysphorsium. Jenis TLD Di Indonesia ini merupakan jenis TLD yang banyak digunakan sebagai personal monitoring. Tercatat sebanyak 1450 instansi yang aktif mengenakan dosimeter ini. Kelebihan TLD jenis ini yaitu sensitifitas yang tinggi, dengan harga yang terjangkau. Meskipun demikian, tetapi TLD jenis ini masi belum siap digunakan sebagai dosimeter mata, dan oleh karena nya diperlukan pengembangan lebih lanjut dan uji terkait karakter TLD ini sebagai dosimeter mata.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PTKMR (Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi) BATAN, Lebak Bulus dan BATAN-Mampang, Jakarta dengan menggunakan peralatan dan bahan: 128 buah chip TLD 900 buatan BARC, lembaran HDPE (*High Density Polythylene*), TLD reader Nucleonix TL1009, seperangkat komputer, fantom kepala berbentuk silinder dengan ukuran diameter 20 cm dan tinggi 20 cm dengan ketebalan 0,5 cm terbuat dari PMMA, meteran, pesawat penyinaran gamma ¹³⁷Cs, sumber ⁹⁰Sr/⁹⁰Y dan sumber ⁸⁵Kr. kontrol panel dan pesawat sinar-x YXLON MGC 41, detektor ionisasi tipe NE 2575C volume 600 mL, elektrometer PTW Unidos Webline, filter aluminium dan tembaga, dudukan dengan pengaturan sudut.

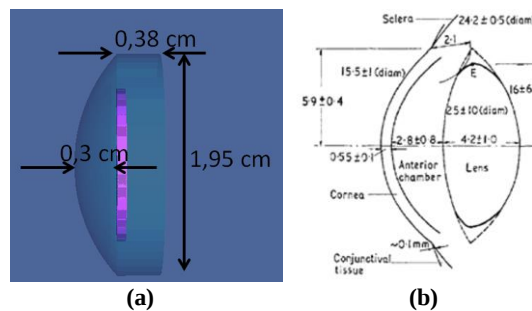
Dosimeter didisain dengan menggunakan

TLD 900 berbentuk disk dengan ketebalan 0,8 mm dan diameter 1,3 cm yang diletakan dalam kapsul HDPE berbentuk hemisferikal dengan ketebalan kapsul 3 mm yang memiliki densitas sebesar 0.941 g/cm³ bentuk kapsul/filter dan TLD dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 (a) keping TLD 900 yang digunakan sebagai detektor dosimeter lensa mata. (b) Kapsul dan TLD 900. Kapsul atau selubung TLD terdiri dari dua bagian yaitu bagian cembung sebagai tutup dan bagian datar sebagai alas TLD.

Disain kapsul atau filter dipilih berbentuk hemisferikal karena menyesuaikan dengan bentuk bagian depan lapisan lensa yang berupa cembungan sehingga diharapkan filter berbentuk hemisferikal ini dapat memberikan respon yang paling mendekati respon mata (Gambar 2).



Gambar 2 Disain kapsul dan anatomi mata. (a). Bentuk kapsul yang dirancang mendekati anatomi mata dengan permukaan cembung dan tebal yang mendekati ketebalan lapisan depan lensa mata. (b). Ukuran ketebalan kornea hingga lensa mata.

Pada pengujian ini digunakan fantom air silinder berdiameter 20 cm dengan tinggi 20 cm. Bando berbahan kain beludru digunakan sebagai wadah atau pemegang dosimeter ini untuk penempatan pada dahi. Pemilihan bahan ini berdasarkan pertimbangan kenyamanan penggunaan dan kemudahan dalam pembuatan model prototipe dosimeter lensa mata.

Persiapan TLD dilakukan dengan memanaskan TLD dengan suhu 300 °C selama 3 jam dan kemudian dibiarkan suhunya menurun perlahan hingga mencapai suhu ruang. Perlakuan ini dilakukan untuk menghapus data yang sebelumnya tersimpan pada TLD akibat iradiasi yang dilakukan sebelumnya. Sejumlah sampel TLD ini kemudian diseleksi dengan melakukan pengujian keterulangan dengan menggunakan sumber ⁹⁰Sr/⁹⁰Y dengan dosis 4 mGy dan kemudian diseleksi lagi dengan pengujian homogenitas tanggapan menggunakan ¹³⁷Cs menggunakan dosis 0,5 mSv.

Pengujian tanggapan energi beta dilakukan dengan menggunakan dua sumber beta yang

memiliki energi berbeda yaitu ⁸⁵Kr dan ⁹⁰Sr/⁹⁰Y [5]. Untuk pengujian respon sudut beta dilakukan dengan menggunakan sumber ⁹⁰Sr/⁹⁰Y untuk lima variasi sudut yaitu 0°, ±30°, ±60° dengan besar dosis 10 mGy [6]. Keseluruhan iradiasi dengan sumber beta dilakukan pada jarak 30 cm.

Tanggapan energi dilakukan dengan menggunakan pesawat sinar-x dan ¹³⁷Cs [7]. Untuk pengujian respon sudut dilakukan dengan menggunakan energi 65 keV untuk tujuh variasi sudut yaitu 0°, ±20°, ±40°, dan ±60° dengan besar dosis 2 mSv [6,8]. Keseluruhan iradiasi dengan sumber foton dilakukan pada jarak 2 meter, spesifikasi penyinaran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi standar penyinaran yang digunakan untuk sumber foton dan beta

Jenis radiasi	Kualitas radiasi	Mean energi ($\bar{E}$)
Foton		
Kelompok 1: 15,8 keV	ISO N-20	16 keV
Kelompok 2: berada dalam range 30-40 keV	ISO N-40	33 keV
Kelompok 3: 65 keV	ISO N- 80	65 keV
Kelompok 4: berada dalam range 80-100 keV	ISO N-100	83 keV
Kelompok 5: ¹³⁷ Cs atau ⁶⁰ Co	-	662 keV
Tambahan	ISO N-60	48 keV
Beta		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	-	182 keV dan 760 keV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seleksi TLD. Seleksi TLD dilakukan dengan dua uji yaitu uji keterulangan TLD dan uji keseragaman tanggapan TLD. Hasil uji keterulangan TLD memberikan total 46 buah TLD CaSO₄:Dy yang memiliki nilai koefisien variansi di bawah 10%, nilai koefisien variansi sejumlah TLD ini berada pada rentang 0,95% - 9,68%. Sejumlah TLD yang telah melalui uji keterulangan disinari dengan sumber foton ¹³⁷Cs dan diperoleh hasil sebaran nilai tanggapan yang baik dengan tanggapan kelompok satu dan dua yang berdekatan. Nilai koefisien variansi untuk kelompok satu adalah

8% dan untuk kelompok 2 adalah sebesar 9%.

Perolehan keseragaman tanggapan ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti komposisi bahan dan proses pembuatan chip TLD (kelompok produksi) [9,10]. Untuk mendapatkan hasil keseragaman tanggapan yang baik, maka pemilihan TLD yang digunakan harus memperhatikan kedua faktor tersebut.

Tanggapan Prototipe Dosimeter Lensa Mata terhadap Energi Beta. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua energi beta dan diperoleh hasil tanggapan prototipe dosimeter lensa mata seperti yang tertampil di Tabel 2.

Tabel 2. Tanggapan prototipe dosimeter lensa mata terhadap energi beta

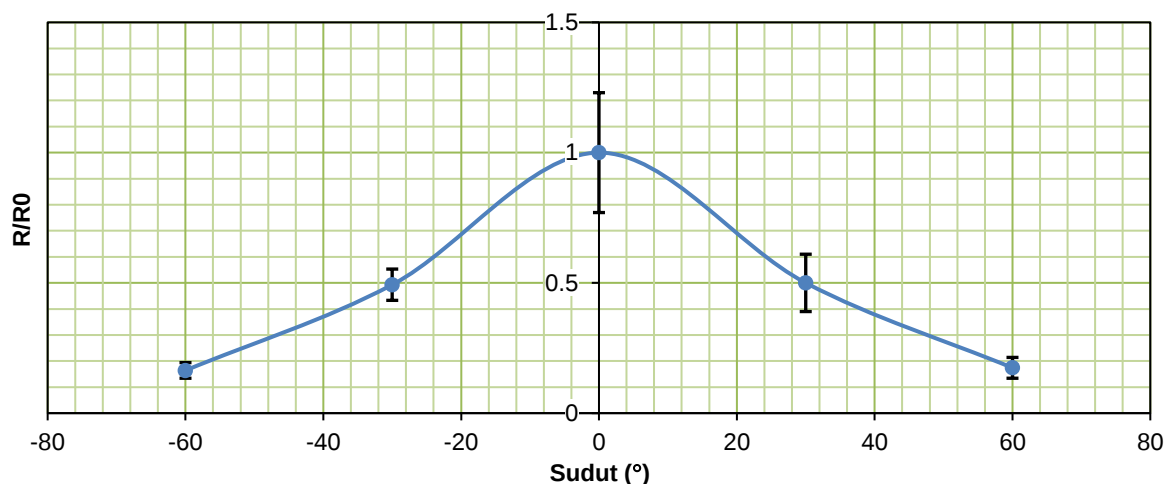
Sumber	E _{mas} (MeV)	Dosis (mSv)	Bacaan (cacah)	R/R _{Cs-137}
⁸⁵ Kr	0,687	1	-	-
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	0,546/2,3	1	44	0,44 ± 0.07

Energi sumber ^{85}Kr tidak mampu menembus lapisan kapsul/filter dari dosimeter, sedangkan energi sumber $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ mampu, di mana energi ^{90}Y (2,28 MeV) pada material polietilen mampu menembus hingga ketebalan 0,8 cm [11]. Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan diketahui bahwa jangkauan efektif ^{85}Kr hanya sejauh 0,21 cm, sehingga dosis yang diberikan pada penyinaran ^{85}Kr tidak dapat terdeteksi oleh dosimeter karena tertahan oleh lapisan kapsul/filter. mekanisme ini juga terjadi pada mata dimana radiasi beta dengan energi lebih rendah dari 0,7 MeV tidak mampu mencapai lensa mata [11–13].

Kecilnya bacaan respon pada dosimeter dikarenakan partikel beta sering kali mengalami hamburan selama perambatannya, arah

pergerakan partikel dalam medium cenderung acak dan tidak lurus dalam medium dan pada kasus ini partikel beta bisa saja terhambur selama perjalanannya menuju detektor yaitu melalui udara, bando, dan filter. Hal ini dapat mengakibatkan hanya sejumlah kecil partikel yang sampai atau mengenai detektor (TLD) dosimeter [14].

Tanggapan Prototipe Dosimeter Lensa Mata terhadap Sudut Datang Beta. Tanggapan prototipe dosimeter lensa mata terhadap sudut datang beta ditunjukkan pada Gambar 5 yang mana prototipe dosimeter lensa mata menunjukkan penurunan nilai tanggapan yang sebanding untuk tiap posisi kanan-kiri kenaikan sudut dan bergantung terhadap arah penyinaran.



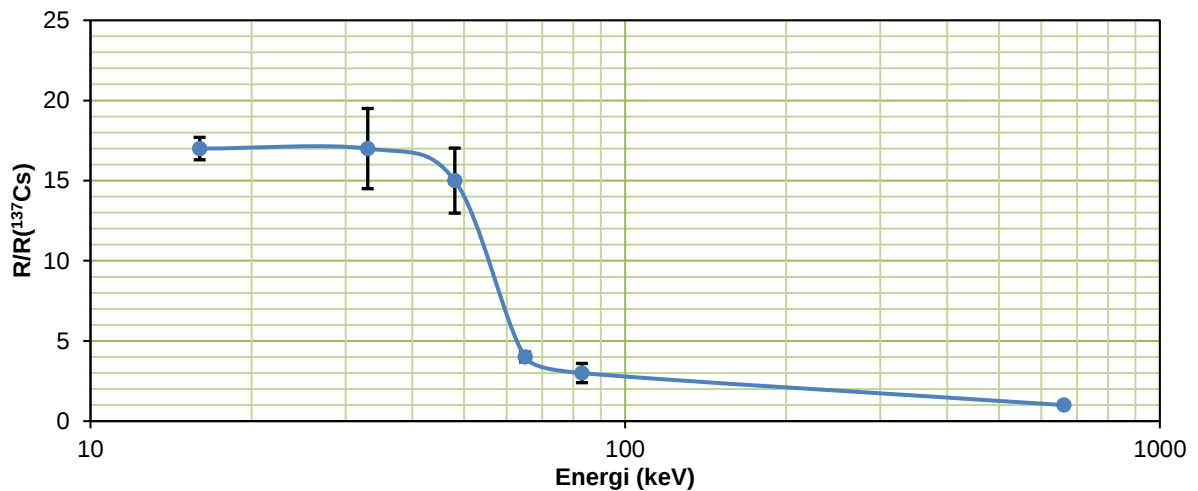
Gambar 5. Kurva tanggapan prototipe dosimeter lensa mata terhadap sudut datang beta. Tanggapan diukur untuk tiap 30° dengan hasil tanggapan yang relatif simetri antara sisi kiri dan kanan, sumbu y merupakan nilai perbandingan antara bacaan pada sudut tertentu dengan bacaan pada sudut nol.

Penurunan tanggapan relatif terhadap sudut 0° untuk sudut $\pm 30^\circ$ sebesar 50% dan untuk sudut $\pm 60^\circ$ penurunan mencapai 84% dengan kesalahan relatif berkisar antara 2,3-12%. Setiap pergeseran sudut yang dilakukan menambah jarak antara sumber beta dan detektor sehingga tanggapan dosimeter pun akan semakin kecil apabila sudut yang diberlakukan semakin besar. Selain itu dengan semakin panjang jarak antara sumber dan detektor maka jumlah partikel beta akan semakin sedikit yang sampai pada detektor akibat hamburan dan tabrakan partikel beta dengan partikel diudara maupun penyerap [12].

Tanggapan Terhadap Energi Foton.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tanggapan prototipe dosimeter lensa mata terkait kebergantungan energi foton pada lebar energi 16-662 keV dengan pola kebergantungan ditunjukkan oleh Gambar 6.

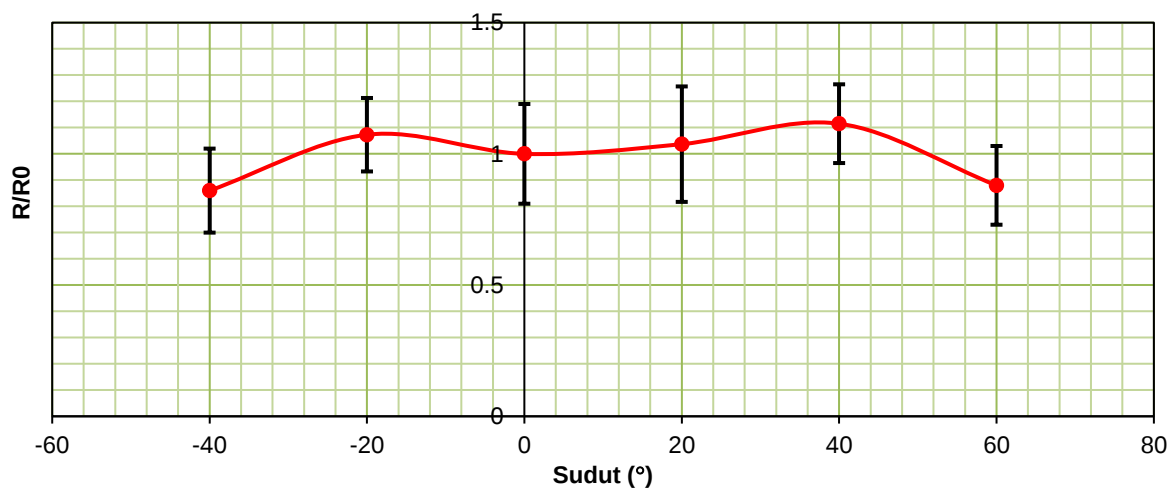
Melihat pola kebergantungan energi ini maka penggunaan dosimeter ini akan tepat diaplikasikan pada energi yang memberikan tanggapan berdekatan atau pada tanggapan yang membentuk kemiringan yang relatif kecil seperti pada energi 16-48 keV, dan energi 65-83 keV, hal ini perlu dilakukan agar koreksi dapat dilakukan dengan mudah, pemilihan kurva kalibrasi yang sesuai dengan energi yang diaplikasikan sangat diperlukan guna mengatasi efek kebergantungan energi ini.



Gambar 6. Tanggapan prototipe dosimeter lensa mata terhadap energi foton. Tanggapan dosimeter menunjukkan kebergantungan terhadap energi, tanggapan yang diukur dilakukan untuk energi 16 keV, 33 keV, 48 keV, 65 keV, 83 keV, dan 662 keV.

Tanggapan Prototipe Dosimeter Lensa Mata terhadap Sudut Foton. Dosimeter tidak menunjukkan hasil kebergantungan sudut yang tinggi (Gambar 7). Perubahan nilai tanggapan

tidak berubah jauh di mana selisih bacaan terhadap sudut 0° hanya maksimum 20% kesalahan relatif untuk masing-masing titik berada pada 2,2-16%.



Gambar 7. Grafik tanggapan sudut prototipe dosimeter lensa mata terhadap berkas foton. Tanggapan relatif menunjukkan kesimetrisan yang cukup baik dengan penyimpangan besar tanggapan sisi kiri dan kanan terbesar terjadi pada sudut ±40°.

KESIMPULAN

Energi beta dengan energi di bawah 0,7 MeV tidak mampu menembus lapisan kapsul/filter dengan ketebalan 3 mm. Respon sudut prototipe pada radiasi beta menunjukkan kebergantungan terhadap arah datang penyinaran dan tanggapan berkurang cukup besar pada 60° sehingga sebaiknya prototipe dosimeter digunakan pada daerah kerja dengan

pergeseran sudut yang kecil.

Tanggapan energi foton menunjukkan kebergantungan energi yang cukup besar pada energi dibawah 50 keV. Hasil tanggapan sudut datang radiasi dengan energi 60±5 keV menunjukkan hasil yang cukup baik dengan selisih bacaan terhadap penyinaran 0° maksimum sebesar 20%. Berdasarkan hasil respon dosimeter pada radiasi foton ini dapat dikatakan bahwa dosimeter mata ini memiliki sensitifitas yang tinggi dan kebergantungan

sudut yang relatif rendah, dalam penggunaan dosimeter ini sebaiknya dilakukan pemilihan kurva kalibrasi yang tepat sesuai dengan energi yang digunakan untuk mengatasi kebergantungan energi dosimeter ini

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian penelitian ini penulis banyak mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak dan oleh karenanya penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada PTKMR-BATAN Lebak Bulus yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Terima kasih kepada Rasito Tursinah, Chomsin S Widodo dan Sugeng Rianto atas masukan dan diskusi yang membangun, serta teman-teman yang telah membantu kelancaran penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA. (2013) Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. *IAEA TECDOC SERIES*, International Atomic Energy Agency.
- [2] Stewart, F.A., Akleyev, A.V., Hauer-Jensen, M., Hendry, J.H., Kleiman, N.J., MacVittie, T.J. et al. (2012) ICRP PUBLICATION 118: ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs — Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. Clement CH, editor. *Annals of the ICRP*, **41**, 1–322. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.02.001>
- [3] Indonesia. (2013) Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
- [4] Vano, E., Kleiman, N.J., Duran, A., Romano-Miller, M. dan Rehani, M.M. (2013) Radiation-associated Lens Opacities in Catheterization Personnel: Results of a Survey and Direct Assessments. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **24**, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2012.10.016>
- [5] Burkett, R. (2010) TLD Eye Dosimetry. University of Surrey.
- [6] Gilvin, P.J., Baker, S.T., Gibbens, N.J., Roberts, G.H., Tanner, R.J., Eakins, J.S. et al. (2013) Type testing of a head band dosimeter for measuring eye lens dose in terms of HP(3). *Radiation Protection Dosimetry*, **157**, 430–6. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct144>
- [7] Mariotti, F. dan Gualdrini, G. (2009) ORAMED PROJECT Eye-Lens Dosimetry A new Monte Carlo approach to define the operational quantity Hp(3). ENEA, Rome, Italy.
- [8] Vanhavere, F., Carinou, E., Gualdrini, G., Clairand, I., Merce, M.S., Ginjaume, M. et al. (2012) Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. EURADOS Rep. 2012-02. EURADOS European Radiation Dosimetry Group e. V., Braunschweig.
- [9] Attix, F.H. (1986) Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany. <https://doi.org/10.1002/9783527617135>
- [10] Hirayama, H. (2000) Lecture Note on Photon interactions and Cross Sections. KEK, High Energy Accelerator Research Organization, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan.
- [11] Parks, J.E. (2001) Attenuation of Radiation. Department of Physics and Astronomy The University of Tennessee, Tennessee.
- [12] Cherry, R.N. (2015) Chapter 48 - Radiation: Ionizing [Internet]. *Encycl. Occup. Heal. Saf.* International Labour Office.
- [13] Johns, H.E. dan Cunningham, J.R. (1983) The Physics Of Radiology. 4th ed. Am. Lect. Ser. Springfield, USA.
- [14] Mitchell, J.E. (1972) An Analysis of the Beta-Attenuation Technique for Estimating Standing Crop of Prairie Range. *Journal of Range Management*, **25**, 300. <https://doi.org/10.2307/3896918>