

Penentuan Aktivitas Spesifik Radionuklida dan Estimasi Laju Dosis Efektif Radiasi Gamma di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang

Nurul Hasanah.Kr¹, Dian Milvita^{1*}, Wahyudi², Maulidia Hidayat²

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

²Pusat Riset Teknologi Keselamatan Metrologi dan Mutu Nuklir (PRTKMMN) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Pasar Jum'at, Jakarta Selatan, 12440

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 26 Oktober 2023
Direvisi: 10 Januari 2024
Diterima: 26 Mei 2024

Kata kunci:

Aktivitas Spesifik
Atomtex
Laju Dosis Efektif
Spektrometer Gamma

Keywords:

specific activity
atomtex
effective dose rate
gamma spectrometer

Penulis Korespondensi:

Dian Milvita
Email: dianmilvita@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai penentuan aktivitas spesifik radionuklida ²²⁶Ra (Radium), ²³²Th (Thorium), ⁴⁰K (Kalium) dan ¹³⁷Cs (Cesium) pada sampel tanah, air dan tanaman menggunakan spektrometer gamma di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran laju dosis efektif radiasi gamma yang diterima oleh pengunjung wisata, pengelola wisata dan petani. Sampel tanah, air dan tanaman dipreparasi kemudian diukur menggunakan spektrometer gamma. Laju dosis radiasi gamma diukur dengan jarak 1 m di atas permukaan tanah pada 19 titik lokasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa radionuklida ²²⁶Ra hanya terdeteksi pada sampel tanah, sedangkan radionuklida ²³²Th dan ⁴⁰K terdeteksi pada semua sampel kecuali sampel air. Radionuklida ¹³⁷Cs tidak terdeteksi pada semua sampel. Aktivitas spesifik radionuklida masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh PERKA BAPETEN No.16 Tahun 2013 yaitu 1000 Bq/kg untuk ²²⁶Ra dan ²³²Th, dan 10000 Bq/kg untuk ⁴⁰K. Aktivitas spesifik radionuklida ¹³⁷Cs masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh PERKA BAPETEN No.16 Tahun 2012 yaitu 100 Bq/kg. Laju dosis efektif yang diterima oleh pengunjung wisata, pengelola wisata dan petani masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh BAPETEN yaitu 1 mSv/Tahun.

Research has been carried out on determining the specific activity of radionuclides ²²⁶Ra (Radium), ²³²Th (Thorium), ⁴⁰K (Kalium), and ¹³⁷Cs (Cesium) in soil, water, and plant samples using a gamma spectrometer in the Bukit Nobita Tourism Area Padang City. This study shows the effective dose rate of gamma radiation received by tourists, tour managers, and farmers. Prepared soil, water, and plant samples were then measured using a gamma spectrometer. Gamma radiation dose rates were calculated 1 meter above the ground at 19 locations. The results showed that radionuclide ²²⁶Ra was only detected in soil samples, while radionuclides ²³²Th and ⁴⁰K were detected in all samples except water samples. Radionuclide ¹³⁷Cs were not detected in all samples. The specific activity of radionuclides is still below the threshold recommended by PERKA BAPETEN No.16 of 2013, which is 1000 Bq/kg for ²²⁶Ra and ²³²Th and 10000 Bq/kg for ⁴⁰K. The specific activity of ¹³⁷Cs radionuclide is still below the threshold recommended by PERKA BAPETEN No.16 of 2012, which is 100 Bq/kg. The effective dose rate received by tourist visitors, tour managers, and farmers is still below the threshold recommended by BAPETEN, which is one mSv/year.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Manusia dalam kehidupan sehari-hari tidak terlepas dari pancaran radiasi, baik yang berasal dari radionuklida alam ataupun buatan. Radionuklida alam dapat berasal dari tanah, air, dan udara. Peluruhan radionuklida dapat memancarkan paparan radiasi gamma, radiasi tersebut dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui air, udara dan makanan. Radiasi yang ditimbulkan dapat menyebabkan dampak yang merugikan bagi manusia, seperti mutasi gen dan terjadinya kerusakan pada jaringan tubuh manusia (Syarifuddin, 2023). Dampak yang ditimbulkan dari radionuklida alam mendasari pentingnya dilakukan pemantauan terhadap radiasi pada lingkungan. Pemantauan radiasi pada lingkungan dilakukan dengan cara mengukur aktivitas spesifik radionuklida menggunakan spektrometer gamma dan laju dosis radiasi gamma menggunakan surveymeter atomtex.

Penelitian terkait pengukuran aktivitas spesifik radionuklida di lingkungan telah dilakukan oleh Ereh & Zhang (2018) di Provinsi Guangdong, China. Pengukuran dilakukan untuk sampel tanah, air, dan tanaman. Hasil menunjukkan aktivitas spesifik rata-rata ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K di Provinsi Guangdong masih di bawah rata-rata dunia yang ditetapkan oleh UNSCEAR yaitu 50 Bq/kg. Murniasih & Sukirno (2019) melakukan penelitian terkait aktivitas spesifik ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th , dan ^{40}K menggunakan spektrometer gamma pada sampel tanah, air dan tanaman pangan di daerah PLTU Rembang. Hasil penelitian didapatkan aktivitas spesifik radionuklida alam yang terkandung pada sampel air, tanah dan pada daun singkong masih di bawah batas yang direkomendasikan oleh UNSCEAR 2000 dan PERKA BAPETEN No.7 Tahun 2013.

Muthmainnah dkk. (2020) melakukan penelitian terkait konsentrasi radionuklida bahan pangan di ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K dan ^{137}Cs pada bahan pangan di Pasar Raya Kota Padang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa radioaktivitas masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh IAEA TE 1788. Husna dkk. (2022) melakukan penelitian terkait konsentrasi radionuklida ^{137}Cs pada susu sapi, tanah dan rumput di Nagari Sungai Kamuyang Sumatera Barat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa radionuklida ^{137}Cs hanya terdeteksi pada sampel tanah. Penelitian terkait aktivitas spesifik radionuklida pada tanaman juga pernah dilakukan oleh Al-juboury & Ali (2016) menggunakan sampel pisang yang di ekspor ke Iraq.

Erkhembayar dkk. (2019) melakukan penelitian terkait penentuan laju dosis radiasi pada beberapa kota di bagian barat Mongolia menggunakan Surveymeter AtomTex AT6130. Hasil yang didapatkan adalah tingkat radiasi pada beberapa kota di bagian barat Mongolia lebih rendah dibandingkan beberapa kota besar di dunia seperti di Beijing, Hong Kong dan Singapura, akan tetapi lebih tinggi daripada kota-kota besar di Jepang seperti di Fukushima, Nagoya dan Tokyo. Widisaputra dkk. (2022) melakukan penelitian terkait laju dosis gas radon dan gas thoron menggunakan CR-39 di Daerah Wisata Lembah Harau Nagari Solok Bio-Bio Sumatera Barat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju dosis gas radon dan thoron di Nagari Solok Bio-Bio masih berada di bawah ambang batas yang direkomendasikan pada PERKA BAPETEN No.4 Tahun 2013 yaitu sebesar 1 mSv/tahun. Penelitian terkait laju dosis radiasi gamma juga pernah dilakukan oleh Prihatiningsih dkk. (2023) di berbagai pantai wisata Bengkayang, Kalimantan Barat. Hasil yang didapatkan di bawah rekomendasi ICRP yaitu 1 mSv/tahun. Penelitian terkait aktivitas spesifik radionuklida dan laju dosis radiasi di objek wisata pernah dilakukan oleh Yuliandari dkk. (2021) di Wisata Air Panas Pariangan dan Putri dkk. (2020) di Objek Wisata Lobang Jepang Bukittinggi.

Kota Padang merupakan daerah yang berada pada zona bahaya dari bencana gempa dan tsunami. Pada saat terjadinya gempa, pergeseran lempeng bumi menyebabkan batuan mengalami stress yang mengakibatkan retakan, sehingga menyebabkan gas radon (^{222}Rn) hasil dari peluruhan radium (^{226}Ra) yang memancarkan radiasi alfa dan gamma akan terlepas ke permukaan (Tomer, 2016). Hal ini dapat menyebabkan aktivitas spesifik radionuklida dan paparan radiasi gamma pada daerah ini meningkat. Radiasi gamma dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui proses pencernaan dan pernafasan yang dapat menyebabkan kerusakan pada sel seperti DNA sehingga dapat menyebabkan kanker (Akhadi, 2000). Berdasarkan pemetaan tingkat radioaktivitas di Kota Padang yang dilakukan oleh Desprians dkk. (2020) menunjukkan aktivitas radionuklida pada tanah di Kota Padang masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan pada PERKA BAPETEN No.9 Tahun 2009.

Berdasarkan penelitian Arif dkk. (2023) Bukit Nobita merupakan daerah perbukitan yang memiliki struktur batuan silt lempung, andesit, batu pasir dan batu granit. Menurut Akhadi, (1997) Batuan yang berumur lebih dari 600 juta tahun mengandung bahan radioaktif yang relatif tinggi. Bukit

Nobita akan dijadikan kawasan wisata di Kecamatan Lubuk Begalung Kota Padang sehingga akan ramai dikunjungi masyarakat. Berdasarkan hal tersebut penting untuk mengetahui laju dosis radiasi gamma di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan aktivitas spesifik radionuklida dan estimasi laju dosis efektif radiasi gamma di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang. Penelitian dilakukan dengan menggunakan spektrometer gamma dan surveymeter Atomtex AT6130. Hasil penelitian aktivitas spesifik radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K dan laju dosis radiasi gamma ditinjau berdasarkan PERKA BAPETEN No. 16 Tahun 2013 tentang batas dosis dan radioaktivitas yang aman diterima masyarakat, sedangkan aktivitas spesifik radionuklida ^{137}Cs ditinjau berdasarkan PERKA BAPETEN No. 16 Tahun 2012 tentang tingkat klierens pada material terkontaminasi..

II. METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat spektrometer gamma, oven, ayakan 100 *mesh*, timbangan digital, lumpang dan alu, tabung marinelli, lem *araldhite*, dan surveymeter AtomTex AT6130. Bahan yang digunakan adalah sumber standar radionuklida dan sampel tanah, air dan tanaman yang diambil dari Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang.

2.1 Teknik Pengukuran Aktivitas Spesifik Radionuklida

Sampel tanah diambil pada 3 titik lokasi dengan kedalaman 0-5 cm sebanyak 2 kg. Sampel air diambil dari sumber mata air sebanyak 20 L. Sampel tanaman terdiri dari buah pisang, singkong dan rumput yang diambil dari sekitar Bukit Nobita. Sampel tanah dan tanaman dimasukkan ke dalam plastik serta sampel air dimasukkan ke dalam jerigen. Setiap sampel diberi label, kemudian sampel akan dipreparasi. Preparasi untuk sampel tanah dan tanaman dilakukan dengan cara mengeringkan sampel kemudian dihaluskan dan ditimbang, selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung marinelli 1 dan direkatkan menggunakan lem *araldhite*. Sedangkan preparasi untuk sampel air dilakukan dengan cara menguapkan sampel air 20 L menjadi 1 L, kemudian dimasukkan ke dalam tabung marinelli dan direkatkan menggunakan lem *araldhite*. Kemudian sampel dibawa ke PRTKMMN BRIN untuk dilakukan pengukuran dan pengolahan data aktivitas spesifik radionuklida

Sampel yang telah dimasukkan ke dalam tabung marinelli didiamkan selama 30 hari untuk mencapai tingkat kesetimbangan. Kemudian dilakukan kalibrasi energi dan efisiensi pada spektrometer gamma dengan mencacah sumber standar radionuklida selama 17 jam. Selanjutnya dilakukan pengukuran radiasi latar dari tabung marinelli berisi aquadest dan dilakukan pengukuran pada masing-masing sampel selama 17 jam. Setelah pengukuran selesai akan dilakukan perhitungan untuk aktivitas spesifik radionuklida menggunakan Persamaan 1.

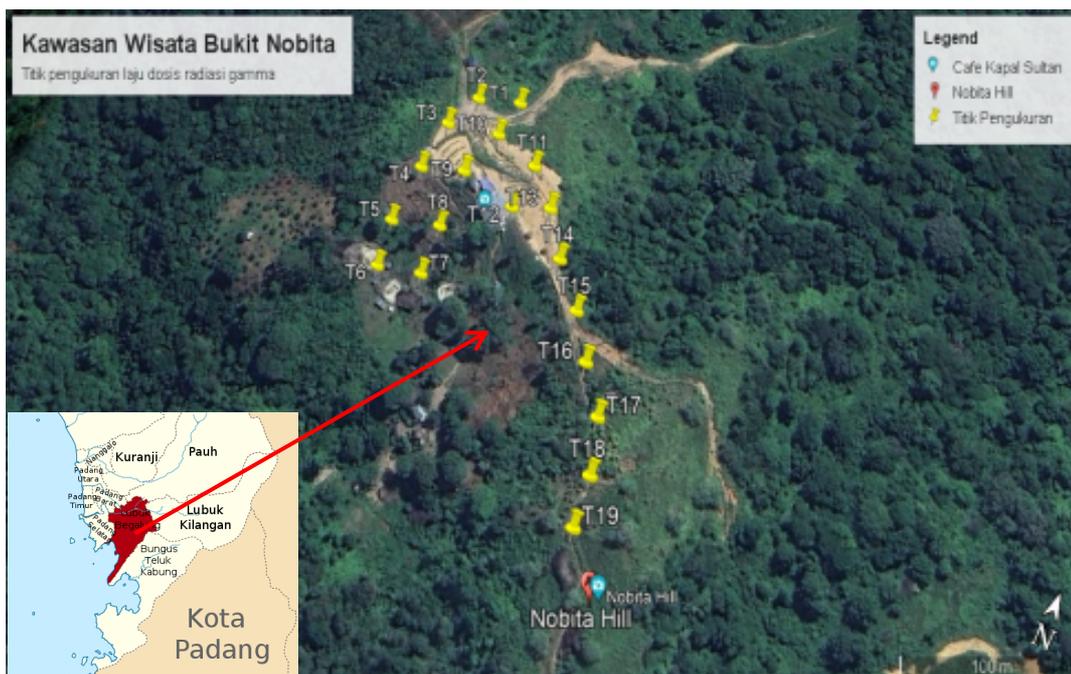
$$C_{avg} = \frac{N_s - N_{bg}}{\epsilon_\gamma P_\gamma m} \quad (1)$$

dengan C_{avg} adalah aktivitas spesifik radioaktif dalam sampel rata-rata (Bq/kg), N_s adalah laju cacah sampel (cps), N_{bg} adalah laju cacah latar (cps) dan m adalah massa sampel (kg).

Aktivitas spesifik radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K yang telah didapatkan pada setiap sampel dianalisis menggunakan PERKA BAPETEN No. 16 tahun 2013 Pasal 3, sedangkan aktivitas spesifik ^{137}Cs dianalisis menggunakan PERKA BAPETEN No. 16 tahun 2012.

2.2 Teknik Pengukuran Laju Dosis Efektif Radiasi Gamma

Pengukuran laju dosis radiasi gamma dilakukan menggunakan Surveymeter AtomTex AT6130 pada 19 titik lokasi dengan jarak antar titik yaitu 30 meter. Pembacaan data dilakukan dengan posisi ketinggian surveymeter sekitar 1 m di atas permukaan tanah. Pengukuran laju dosis radiasi gamma dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap titik pengukuran, kemudian nilai yang terukur dirata-rata kan (Wahyudi dkk, 2019). Titik lokasi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Titik pengukuran laju dosis radiasi gamma

Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan laju dosis efektif tahunan, sesuai dengan satuan pada batas dosis yang ditetapkan oleh (BAPETEN, 2013). Laju dosis efektif tahunan (mSv/tahun) dihitung dengan Persamaan 2.

$$DE = \text{laju dosis } (\mu\text{Sv/Jam}) \times FK \times t \tag{2}$$

dengan *DE* adalah dosis efektif tahunan (mSv/tahun), *FK* adalah faktor kalibrasi surveymeter, dan *t* adalah waktu seseorang berada di lokasi dalam 1 tahun (jam). Waktu pengunjung di bukit nobita / tahun diasumsikan 3 jam x 48 hari (1 kali dalam seminggu) yaitu 144 jam, sedangkan waktu pengelola wisata dan petani sekitar bukit nobita diasumsikan selama 8 jam x 365 hari = 2920 jam. Hasil perhitungan dari estimasi dosis efektif tahunan yang telah didapatkan, selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk grafik *line* (garis). Kemudian ditinjau berdasarkan PERKA BAPETEN No.16 Tahun 2013 pasal 19. Nilai ambang batas yang direkomendasikan yaitu 1 mSv/tahun.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Penentuan Aktivitas Spesifik Radionuklida

Penentuan aktivitas spesifik menggunakan spektrometer gamma menghasilkan spektrum energi. Hasil perhitungan aktivitas spesifik ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K dan ¹³⁷Cs pada sampel tanah, air dan tanaman dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Aktivitas spesifik radionuklida pada sampel

No	Jenis Sampel	Aktivitas Spesifik (Bq/kg)			
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
1	Tanah 1	26,70 ± 2,89	32,32 ± 3,05	345,27 ± 87,61	<MDC
2	Tanah 2	23,42 ± 2,60	30,61 ± 2,92	376,60 ± 95,56	<MDC
3	Tanah 3	17,46 ± 1,93	23,17 ± 2,24	119,69 ± 30,43	<MDC
4	Air	<MDC	<MDC	<MDC	<MDC
5	Singkong	<MDC	0,92 ± 0,36	128,76 ± 32,79	<MDC
6	Buah Pisang	<MDC	2,04 ± 0,72	379,99 ± 96,54	<MDC
7	Rumput	<MDC	9,37 ± 2,16	379,61 ± 96,74	<MDC

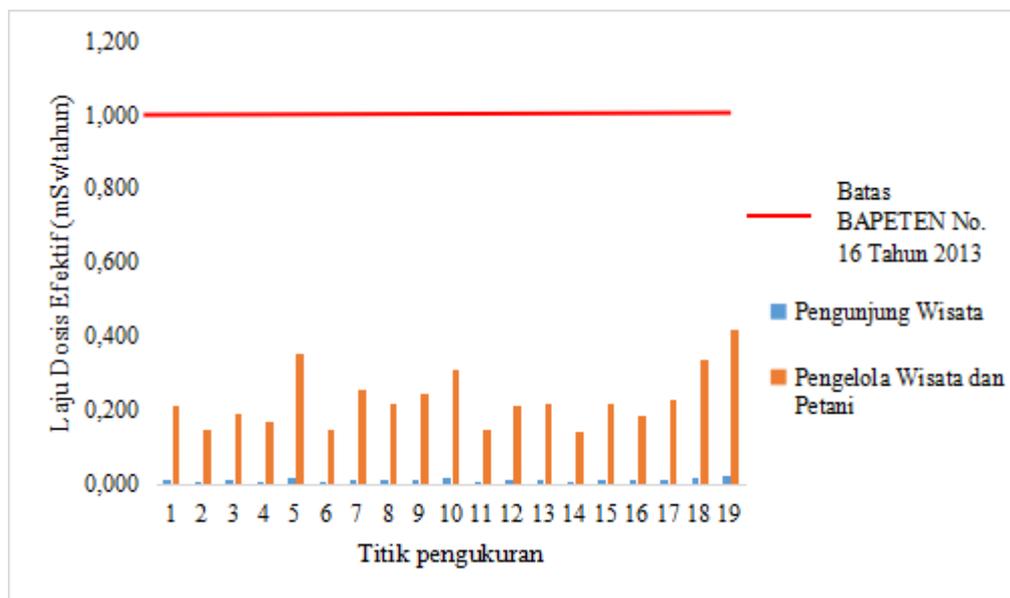
Berdasarkan Tabel 1, aktivitas spesifik radionuklida ^{226}Ra berkisar antara $(17,46 \pm 1,93)$ Bq/kg sampai $(26,70 \pm 2,89)$ Bq/kg. Sedangkan aktivitas ^{232}Th berkisar antara $(0,92 \pm 0,36)$ Bq/kg sampai $(32,32 \pm 3,05)$ Bq/kg. Radionuklida ^{226}Ra hanya terdeteksi pada sampel tanah dan ^{232}Th terdeteksi pada semua sampel kecuali sampel air. Aktivitas spesifik ^{226}Ra lebih rendah dibandingkan dengan ^{232}Th pada semua sampel. Jika ditinjau dari kondisi geografis kawasan wisata Bukit Nobita, lokasi ini terdapat beberapa batuan besar yang diperkirakan berumur ratusan tahun. Sumber batuan menjadi faktor yang dapat mempengaruhi kelimpahan uranium, thorium dan kalium. Salah satu jenis batuan yang terdapat pada kawasan wisata Bukit Nobita adalah batuan andesit yang mengandung uranium lebih sedikit dibandingkan thorium. Hal ini menyebabkan aktivitas spesifik radionuklida ^{226}Ra lebih rendah dibandingkan ^{232}Th (Akhadi, 1997).

Aktivitas spesifik radionuklida tertinggi terdapat pada unsur ^{40}K , berkisar antara $(119,69 \pm 30,43)$ Bq/kg sampai $(379,99 \pm 96,54)$ Bq/kg. Radionuklida ^{40}K terdeteksi pada semua sampel kecuali sampel air. Tingginya aktivitas spesifik ^{40}K pada tanah dan tanaman dapat dipengaruhi oleh penggunaan pupuk oleh petani. Menurut Hatika (2018) pupuk yang digunakan untuk tanaman seperti pupuk urea, ZA, KCL, NPK, TSP dan fosfat mengandung radionuklida ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K .

Aktivitas spesifik radionuklida ^{137}Cs berada di bawah batas minimum yang dapat terdeteksi oleh spektrometer gamma atau MDC (*Minimum Detectable Concentration*) pada semua sampel. ^{137}Cs merupakan radionuklida buatan hasil fisi nuklir. Tidak terdeteksinya nilai aktivitas spesifik radionuklida ^{137}Cs pada sampel tanah dapat menjadi suatu indikator bahwa tidak terdapat jatuhnya debu radioaktif hasil fisi nuklir di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang. Nilai aktivitas spesifik radionuklida di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Desprians dkk. (2020); Muthmainnah dkk. (2020) dan Yuliandari dkk. (2021).

3.2 Estimasi Laju Dosis Efektif Radiasi Gamma

Nilai laju dosis efektif radiasi gamma dihitung menggunakan menggunakan Persamaan (2). Nilai laju dosis efektif yang diterima masyarakat dari paparan radiasi gamma dalam satu tahun dapat diplotkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Laju dosis efektif radiasi gamma di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa estimasi laju dosis efektif radiasi gamma di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang bagi pengunjung wisata berkisar antara $(0,007-0,02)$ mSv/tahun, sedangkan bagi pengelola wisata dan petani berkisar antara $(0,15-0,41)$ mSv/tahun. Estimasi laju dosis efektif tertinggi terletak pada titik pengukuran No.19 dengan estimasi laju dosis bagi pengunjung wisata sebesar $0,02$ mSv/tahun, sedangkan estimasi laju dosis bagi pengelola wisata sebesar $0,41$

mSv/tahun. Hal ini dapat disebabkan karena pada titik tersebut memiliki nilai aktivitas spesifik yang lebih tinggi daripada lokasi lainnya sehingga laju dosis yang terukur lebih tinggi dibandingkan titik lainnya.

Estimasi laju dosis efektif pada Kawasan Wisata Bukit Nobita lebih rendah jika dibandingkan dengan daerah wisata lainnya seperti di Lobang Jepang Bukittinggi yaitu (0,0013-0,48) mSv/tahun Putri dkk. (2020) dan di Lembah Harau yaitu sebesar (0,38-0,91) mSv/tahun Widisaputra dkk. (2022). Nilai laju dosis efektif di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang masih berada di bawah rekomendasi yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN No.16 Tahun 2013 yaitu 1 mSv/tahun.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian radionuklida ^{226}Ra hanya terdeteksi pada sampel tanah, sedangkan radionuklida ^{232}Th dan ^{40}K terdeteksi pada semua sampel kecuali sampel air. Radionuklida ^{137}Cs tidak terdeteksi pada semua sampel. Aktivitas spesifik radionuklida masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh PERKA BAPETEN No.16 Tahun 2013 yaitu 1000 Bq/kg untuk ^{226}Ra dan ^{232}Th , dan 10000 Bq/kg untuk ^{40}K . Aktivitas spesifik radionuklida ^{137}Cs masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh PERKA BAPETEN No.16 Tahun 2012 yaitu 100 Bq/kg. nilai laju dosis efektif radiasi gamma di Kawasan Wisata Bukit Nobita Kota Padang masih berada di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh PERKA BAPETEN No.16 Tahun 2013 yaitu 1 mSv/tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih untuk PRTKMMN BRIN yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar. Terimakasih juga kepada semua pihak yang terlibat selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M. (1997). *Pengantar Teknologi Nuklir*. Rineka Cipta.
- Akhadi, M. (2000). *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta.
- Al-juboury, B. K., & Ali, A. M. (2016). Radionuclides Activity and Radiological Hazard Assessment in Bananas Samples Exported to Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 57(1), 624–629.
- Arif, M., Pujiastuti, D., & Pohan, A. . (2023). Pemodelan 3D Bidang Gelincir Tanah Longsor Menggunakan Metode Geolistrik Di Bukit Nobita Padang. Dalam *Skripsi*.
- BAPETEN. (2013). *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 Tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (TENORM)*. <https://jdih.bapeten.go.id/unggah/dokumen/peraturan/246-full.pdf>
- Despriani, Y., Milvita, D., & Pradana, R. (2020). Pemetaan Tingkat Radioaktivitas Lingkungan pada Tanah di Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 9(2), 190–195. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.2.190-195.2020>
- Ereh, N. C., & Zhang, M. (2018). Environmental Radiation Measurement and Assessment of Natural Radioactivity in Soil, Water and Vegetation. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 6(11), 2330–2337. <https://doi.org/10.4236/jamp.2018.611194>
- Erkhembayar, T., Chimedtsogzol, N., Tsogzolmaa, T., & Tsolmonchimeg, C. (2019). Radiation Level in Western Part of Mongolia. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 8(7), 308–313. <https://doi.org/10.21275/ART20199183>
- Hatika, R. G. (2018). Penentuan Bahan Radioaktif Alami (NORM) dalam Pupuk Kimia Menggunakan Spektrometri Gamma. *Jurnal Sainsmat*, 7(1), 42–46. <https://doi.org/10.30606/aptk.v9i2.1345>
- Husna, I. ., Milvita, D., & Kusdiana. (2022). Penentuan Konsentrasi Radionuklida ^{137}Cs dalam Susu Sapi di Nagari Sungai Kamuyang Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 348–353. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.3.348-354.2022>
- Murniasih, S., & Sukirno. (2019). Distribusi radionuklida alam pada sampel tanah, air dan tanaman di sekitar pltu reimbang distribution of natural radionuclide in soil, water and plant samples

- around the reembang coal power plant. *Jurnal IPTEK Nuklir*, 9(3), 394–400. <https://doi.org/10.17146/gnd.2019.22.1.4063>
- Muthmainnah, Milvita, D., & Wiyono, M. (2020). Penentuan Konsentrasi Radionuklida (Ra-226, Th-232, K-40, dan Cs-137) pada Bahan Pangan Menggunakan Spektrometer Gamma di Pasar Raya Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 9(3), 394–400. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.3.394-400.2020>
- Prihatiningsih, W. R., Makmur, M., Yahya, M. N., Putra, D. I. P., Priasetyono, Y., Jayuska, A., & Idiawati, N. (2023). Assessment of background radiation level in different tourism beach of Bengkayang, West Borneo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1137(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1137/1/012056>
- Putri, S., Milvita, D., & Wahyudi, W. (2020). Analisis Konsentrasi Gas Radon (Rn-222) Menggunakan Detektor Jejak Nuklir CR-39 Di Objek Wisata Lobang Jepang Bukittinggi. *Jurnal Fisika Unand*, 9(2), 250–256. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.2.250-256.2020>
- Syaifuddin, M. (2023). *Biologi Radiasi Dasar-Dasar Dan Aplikasi*. Penerbit BRIN.
- Tomer, A. (2016). Radon as a Earthquake Precursor: A Review. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 4(6), 815–822. <http://www.ijset.in/wp-content/uploads/2016/12/10.2348.11160815.pdf>
- Wahyudi, W., Kusdiana, K., Wiyono, M., & Iskandar, D. (2019). Analisis Dosis Radiasi Alam Dari Paparan Radon Dan Radiasi Gamma Di Rumah Penduduk Di Kalimantan Barat. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*, 22(2), 63. <https://doi.org/10.17146/gnd.2019.22.2.5094>
- Widisaputra, M. R., Milvita, D., & Kusdiana, K. (2022). Penentuan Laju Dosis Efektif Gas Radon (222Rn) dan Gas Thoron (220Rn) Menggunakan CR-39 di Nagari Solok Bio-Bio, Kabupaten 50 Kota, Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.1.1-7.2023>
- Yuliandari, A., Milvita, D., & Shilfa, S. . (2021). Penentuan Aktivitas Spesifik Radionuklida Alam pada Sumber Air Panas di Nagari Pariangan Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 10(3), 371–376. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.3.371-376.2021>