

Penentuan Konsentrasi Radionuklida Alam Di Kawasan Terdampak Banjir Lahar Dingin Gunung Marapi Sumatera Barat

Novi Afriani¹, Ramacos Fardela^{1*}, Dadong Iskandar², Kusdiana², Wahyudi²

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Laboratorium Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Pusat Riset Teknologi Keselamatan Metrologi dan Mutu Nuklir, Badan Riset Inovasi Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan, 12440

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 4 Januari 2026
Direvisi: 15 Februari 2026
Diterima: 31 Maret 2026

Kata kunci:

Konsentrasi Aktivitas
Radionuklida
Spectrometer Gamma

Keywords:

Activity Concentration
Radionuclide
Gamma Spectrometer

Penulis Korespondensi:

Ramacos Fardela
Email:
ramacosfardela@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai penentuan konsentrasi aktivitas radionuklida Ra-226 (Radium-226), Th-232 (Thorium), dan K-40 (Kalium-40) di kawasan Bukik Batabuah Sumatera Barat. Tujuan utama penelitian ialah membandingkan kadar radionuklida pada tanah yang terkena banjir lahar dingin dengan tanah yang hanya terdampak abu vulkanik, serta menilai apakah peristiwa banjir lahar dingin menyebabkan peningkatan konsentrasi radionuklida. Pengukuran dilakukan menggunakan spektrometer gamma HPGe (High Purity Germanium). Sampel tanah diambil dari enam lokasi yang dilalui banjir lahar dingin serta tiga lokasi yang terdampak abu erupsi Gunung Marapi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa radionuklida Ra-226, Th-232, dan K-40 terdeteksi pada seluruh sampel. Rata-rata konsentrasi aktivitas radionuklida pada tanah terdampak banjir masing-masing sebesar $14,92 \pm 0,62$ Bq/kg untuk Ra-226, $18,37 \pm 0,83$ Bq/kg untuk Th-232, dan $342,15 \pm 7,85$ Bq/kg untuk K-40. Sementara itu, tanah yang tidak terdampak mencatat nilai rata-rata $10,99 \pm 0,62$ Bq/kg, $22,34 \pm 1,03$ Bq/kg, dan $191,68 \pm 5,06$ Bq/kg. Uji statistik T-test menunjukkan perbedaan signifikan antara kedua jenis sampel. Apabila ditinjau berdasarkan dengan PERKA BAPETEN No. 9 tahun 2009 nilai yang konsentrasi aktivitas radionuklida yang didapatkan pada tanah di kawasan kaki Gunung Marapi masih berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan oleh BAPETEN.

Research has been carried out to determine the activity concentrations of radionuclides Ra-226 (Radium-226), Th-232 (Thorium-232), and K-40 (Potassium-40) in the Bukik Batabuah area, West Sumatra. The main objective of this research was to compare radionuclide levels in soils affected by cold lava floods with those exposed only to volcanic ash, and to assess whether the cold lava flow contributed to increased radionuclide concentrations. Measurements were performed using an HPGe (High Purity Germanium) gamma spectrometer. Soil samples were collected from six locations impacted by the cold lava flow and from three locations by ash from the Mount Marapi eruption. The results indicated that Ra-226, Th-232, and K-40 were detected in all samples. The average activity concentrations in soil affected by the cold lava flow were 14.92 ± 0.62 Bq/kg for Ra-226, 18.37 ± 0.83 Bq/kg for Th-232, and 342.15 ± 7.85 Bq/kg for K-40. In contrast, soils not affected by the cold lava flow showed average values of 10.99 ± 0.62 Bq/kg for Ra-226, 22.34 ± 1.03 Bq/kg for Th-232, and 191.68 ± 5.06 Bq/kg for K-40. A t-test statistical analysis indicated significant differences between the two groups of samples. Based on PERKA BAPETEN No. 9 of 2009, the measured activity concentrations in soils around the foothills of Mount Marapi remain below the regulatory limits established by BAPETEN.

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Gunung Marapi merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia yang telah terjadi beberapa letusan kali sejak 3 Desember 2023. Letusan tersebut mengeluarkan abu vulkanik yang dapat menyebar hingga jarak yang jauh sebelum jatuh ke permukaan tanah. Selain abu vulkanik, letusan Gunung Marapi juga memuntahkan lava pijar serta menyebabkan terjadinya banjir lahar dingin yang melanda beberapa daerah di sekitar kaki gunung. Material vulkanik yang dikeluarkan dari letusan Gunung Marapi mengandung berbagai mineral yang terdiri dari unsur-unsur radionuklida alam (UNSCEAR, 2000).

Radionuklida yang terdapat pada alam dapat ditemukan di batuan, tanah, air dan udara. Radionuklida alam mengandung unsur, seperti Radium-226 (Ra-226), Thorium-232 (Th-232) dan Kalium-40 (K-40) (Blundell, 2015). Radionuklida dapat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui rantai makanan, baik secara langsung maupun tidak langsung melalui konsumsi sayuran serta bahan makanan lainnya yang terdapat radionuklida didalamnya (Akhadi, 2021). Radionuklida yang masuk ke tubuh manusia dapat menyebabkan mutasi gen dan merusak jaringan tubuh manusia. Radionuklida pada lingkungan dapat diketahui dengan melakukan penentuan laju dosis radiasi gamma dan konsentrasi radionuklida (Syaifudin, 2023)

Brahmana et al. (2017) melakukan penelitian tentang kandungan radionuklida alam pada tanaman palawija di sekitar tanah Karo pasca erupsi Gunung Sinabung dengan menggunakan spektrometer gamma. Hasil dari penelitian menunjukkan faktor transfer Ra-226 dan Th-232 dari tanah ke tanaman tidak terdeteksi dikarenakan rendahnya kandungan radionuklida dalam sampel tanaman. Sementara untuk faktor transfer untuk K-40 ialah 0.27 yang menandakan terjadinya transfer K-40 dari tanah ke tanaman. Penelitian yang serupa juga dilakukan oleh Raja et al. (2021) melakukan pengukuran aktivitas spesifik radionuklida alam U-238, Ra-226, Th-228, Th-232 dan K-40 dengan sampel abu vulkanik, lahar dingin dan air sungai akibat letusan Gunung Sinabung, Sumatera Utara. Konsentrasi aktivitas dari masing-masing radionuklida pada abu vulkanik dan lahar dingin terdeteksi. Konsentrasi aktivitas dan indeks bahaya radiologi masih berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan BAPETEN.

Alzubaidi et al. (2016) telah melakukan penelitian perbandingan tanah yang telah diolah dan belum diolah lahan pertanian di Kedah, Malaysia Utara. Unsur radionuklida yang diukur ialah Ra-226, Th-232, dan K-40 dengan menggunakan alat spektrometer gamma. Konsentrasi aktivitas radionuklida yang didapatkan menunjukkan konsentrasi pada tanah yang telah diolah memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan tanah yang belum diolah dan hasil yang didapatkan masih berada dibawah ambang batas yang telah ditetapkan UNSCEAR 2000.

Caridi et al. (2022) di Gunung Etna, Sisilia Timur, Italia Selatan. Dengan menggunakan spektrometer gamma untuk mengukur aktivitas spesifik rata-rata radionuklida alam pada Ra-226, Th-232 dan K-40 dengan menggunakan sampel tanah yang berada di sekitar kaki Gunung Etna. Hasil dari penelitian ini mendapatkan bahwa radionuklida alam pada tanah di sekitar Gunung Etna masih berada di bawah batas maksimum yang aman dari bahaya radionuklida alam yang ditetapkan UNSCEAR 2000. Penelitian tahun yang sama juga dilakukan oleh Srinivasa et al (2022) dengan mengukur konsentrasi aktivitas radionuklida Ra-226, Th-232, dan K-40 pada sampel tanah menggunakan spektrometer gamma di Chikkamagaluru, Karnataka, India. Aktivitas rata-rata yang didapatkan dari masing-masing radionuklida didapatkan hasil sedikit lebih tinggi daripada nilai rata-rata di India.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran aktivitas radionuklida alam dengan variabel yang akan diukur Ra-226, Th-232 dan K-40 pada tanah yang terdampak erupsi dan banjir lahar dingin Gunung Marapi. Adapun tujuan penelitian yaitu untuk menentukan konsentrasi radionuklida Ra-226, Th-232 dan K-40 pada tanah di daerah yang terdampak dan tidak terdampak banjir lahar dingin Gunung Marapi. Menentukan apakah terjadi peningkatan radionuklida pada tanah akibat banjir lahar dingin yang terjadi di sekitar Gunung Marapi. Alat yang digunakan untuk mengukur radionuklida alam yaitu spektrometer gamma HPGe. Hasil yang didapatkan akan dilakukan perbandingan dengan masing-masing tanah yang terdampak dan tidak terdampak banjir lahar dingin untuk mengetahui tingkat keamanan pada tanah di sekitar daerah yang terdampak banjir lahar dingin Gunung Marapi dengan acuan yang telah ditetapkan BAPETEN dan UNSCEAR (2000).

II. METODE

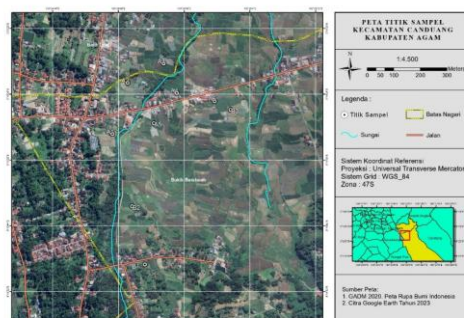
Pengambilan sampel tanah dilakukan selama 6 bulan di Nagari Bukik Batabuah, Kecamatan Canduang, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Presapasi sampel dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Andalas dan pengolahan sampel dilakukan di Laboratorium Cacah Pusat Riset Teknologi Bahan Nuklir dan Limbah Radioaktif (PRTBNLR) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Pasar Jumat, Jakarta Selatan. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Fisika Nuklir. Alat yang digunakan pada penelitian adalah seperangkat Spektrometer gamma dengan detektor HPGe, oven, lumpung dan alu, set ayakan 80 mesh, timbangan digital, marinelli 1 L, *software maestro*, *software google earth*.

2.1 Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan oleh BATAN, dimulai dari tahap survei lokasi, pengurusan surat izin penelitian dan pengambilan sampel, tahap pengambilan sampel, preparasi sampel, pengukuran radiasi latar, kalibrasi spektrometer gamma, pengukuran konsentrasi aktivitas radionuklida, pengolahan data dan analisa data.

2.1.1 Pengambilan Sampel

Sampel tanah diambil pada 9 titik yang berbeda (6 titik yang terdampak banjir lahar dingin dan 3 titik yang tidak terdampak banjir lahar dingin) sebanyak 2 kg untuk masing-masing dengan variasi kedalaman (6-15) cm dari permukaan tanah. Untuk pengambilan sampel diambil dengan jarak diantara (80-200) m pada setiap sampel. Dapat dilihat pada Gambar 1 peta titik pengambilan sampel. Untuk tanah yang terdampak banjir lahar dingin diberi simbol A, sedangkan tanah yang tidak terdampak diberi simbol B.



Gambar 1 Titik lokasi pengambilan sampel terdiri dari 6 titik yang terdampak banjir lahar dingin (A1, A2, A3, A4, A5, A6) dan 3 titik yang tidak terdampak banjir lahar dingin (B1, B2, B3). Garis biru merupakan aliran sungai dan garis merah adalah jalan

2.1.2 Preparasi Sampel

Sampel tanah dikeringkan dengan menggunakan oven lalu dipisahkan dari kerikil serta kayu yang terdapat pada tanah, sampel ditumbuk menggunakan lumpung dan alu. Setelah itu sampel diayak menggunakan ayakan 100 *mesh*, sampel yang sudah halus dimasukkan kedalam tabung marinelli dan disegel menggunakan lem araldite dan disungkup selama 30 hari, setelah itu dilakukan pengukuran dengan menggunakan spektrometer gamma.

2.1.3 Pengukuran Radiasi Latar

Pengukuran radiasi latar dilakukan dengan mengukur cacahan tabung marinelli dan vial yang berisi air aquades menggunakan spektrometer gamma selama 17 jam sesuai prosedur standar BATAN (2017). Pengukuran radiasi latar dilakukan agar mengetahui radiasi awal pada spektrometer gamma sebelum dilakukan pengukuran radionuklida pada sampel.

2.1.4 Kalibrasi Spektrometer Gamma

Kalibrasi Spektrometer gamma dilakukan dengan mengukur cacahan sumber standar gamma yang sudah diketahui aktivitas radionuklidanya. Cacahan sumber standar gamma marinelli GM-014 diukur selama 17 jam, sumber standar gamma vial GM-011 diukur selama 3 jam dan sumber standar

gamma vial GM-013 diukur selama 17 jam. Kalibrasi yang dilakukan terdiri dari kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Kalibrasi energi dilakukan untuk menentukan hubungan nomor salur dengan energi dari radiasi gamma yang dipancarkan oleh radionuklida sumber standar. Kalibrasi efisiensi dilakukan untuk menentukan hubungan antara efisiensi dan energi dari radiasi gamma yang dipancarkan oleh radionuklida sumber standar.

2.1.5 Pengukuran Radionuklida pada Sampel

Pengukuran radionuklida terhadap sampel menggunakan spektrometer gamma dengan detektor germanium berkemurnian tinggi (HPGe). Pengukuran pada setiap sampel dilakukan selama 17 jam. Setelah itu dilakukan pengolahan data untuk mengetahui aktivitas spesifik radionuklida yang terkandung pada sampel.

2.1.6 Pengolahan Data

Pengolahan data untuk menentukan konsentrasi radioanuklida yang terkandung dalam sampel dengan menghitung aktivitas radionuklida rata-rata pada sampel (C_{avg}) dan ketidakpastian pengukuran (U_T) dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2 (BATAN, 2013).

$$C_{avg} = \frac{N_{sp} - N_{BG}}{s_{\gamma} p_{\gamma} m} \quad (1)$$

$$U_T = C_{avg} \times \sqrt{\left(\frac{U_N}{N_s}\right)^2 + \left(\frac{U_{\varepsilon}}{\varepsilon_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{U_P}{P_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{U_m}{m}\right)^2} \quad (2)$$

Kemampuan suatu alat ukur untuk melakukan pengukuran berbeda-beda tergantung pada spesifikasi dari alat tersebut. Minimum *Detectable Concentration* (MDC) merupakan besarnya konsentrasi minimum yang dapat dideteksi oleh suatu alat. MDC spektrometer gamma dipengaruhi oleh efisiensi pencacah, cacah latar, dan berat sampel. MDC dengan tingkat kepercayaan 95% dihitung dengan Persamaan 3 (BATAN, 2013).

$$MDC = 4,66 \frac{\sqrt{\frac{N_{BG}}{(t_{BG})^2}}}{\varepsilon_{\gamma} P_{\gamma} W_{sp}}$$

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Konsentrasi Aktivitas Radionuklida

3.1.1 Konsentrasi Aktivitas Radionuklida Pada Tanah Terdampak Banjir Lahar Dingin

Hasil perhitungan konsentrasi dari aktivitas radionuklida Ra-226, Th-232, dan K-40 pada sampel tanah yang terdampak banjir lahar dingin disajikan berupa tabel, dalam Tabel 1.

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi aktivitas radionuklida pada tanah yang terdampak banjir lahar dingin di beberapa daerah untuk Ra-226 berkisar antara 14,92 hingga 67,5. Radionuklida Th-232 berkisar dari 18,37 hingga 86, sedangkan K-40 berkisar antara 136,98 hingga 1650. Ditinjau berdasarkan PERKA BAPETEN No 9 tahun 2009 aktivitas radionuklida alam pada sampel tanah masih berada di bawah ambang batas, dimana radionuklida Ra-226 dan Th-232 memiliki batas aman dengan nilai 1.000 Bq/kg serta untuk K-40 yaitu 10.000 Bq/kg. Aktivitas radionuklida Ra-226, Th-232 dan K-40 pada sampel tanah yang terdampak banjir lahar dingin Gunung Marapi apabila dibandingkan dengan beberapa daerah dapat dilihat pada Tabel 1. Penelitian Srinivasa et al. (2022) dalam Tabel 1 yang melakukan penelitian di India, di peroleh nilai unsur radionuklida Ra-226, Th-232 dan K-40 yang dilakukan terhadap sampel tanah dengan menggunakan alat spektrometer gamma sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian lainnya. Namun, penelitian yang dilakukan di Bukik Batabuah, Kab. Agam, Sumatera Barat memiliki nilai yang rendah dibandingkan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada Tabel 1. Walaupun konsentrasi radionuklida yang didapatkan rendah, apabila terpapar terlalu lama akan menyebabkan resiko pada kesehatan masyarakat sekitar Bapeten (2013).

Tabel 1 Konsentrasi Aktivitas radionuklida pada tanah yang terdampak banjir lahar dingin di beberapa daerah

No	Lokasi	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)		
		Ra-226	Th-232	K-40
1	Brahmana et al, 2017 (Sumatera Utara)	22,27±0,96	56,62±2,34	484,14±13,94
2	Ceridi et al, 2022 (Italia Selatan)	67,5±7,5	30,0± 4,3	530±61
3	Raja et al, 2021 (Sumatera Utara)	15,10±0,27	36,55±0,74	538,78±3,85
4	Alzubaidi et al, 2016 (Malaysia Utara)	65,24±2,00	83,39±2,27	136,98±9,76
5	Srinivasa et al, 2022 (India)	58±1,2	86±1,7	1650±20,3
6	Penelitian saat ini (Bukik Batabuah, Sumatera Barat)	14,92±0,62	18,37±0,83	342,15±7,85

3.1.2 Konsentrasi Aktivitas Radionuklida Pada Tanah Tidak Terdampak Banjir Lahar Dingin

Berdasarkan pengukuran konsentrasi aktivitas radionuklida pada sampel tanah yang tidak terdampak banjir lahar dingin diperoleh hasil perbandingan konsentrasi aktivitas radionuklida pada sampel tanah di beberapa daerahh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Konsentrasi Aktivitas radionuklida pada tanah yang tidak terdampak banjir lahar dingin di beberapa daerah

No	Lokasi	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)		
		Ra-226	Th-232	K-40
1	Brahmana et al, 2017 (Sumatera Utara)	22,27±0,96	56,62±2,34	484,14±13,94
2	Ceridi et al, 2022 (Italia Selatan)	67,5±7,5	30,0± 4,3	530±61
3	Raja et al, 2021 (Sumatera Utara)	15,10±0,27	36,55±0,74	538,78±3,85
4	Alzubaidi et al, 2016 (Malaysia Utara)	65,24±2,00	83,39±2,27	136,98±9,76
5	Srinivasa et al, 2022 (India)	86,2±1,7	224,5±5,5	1650±20,3
6	Penelitian saat ini (Bukik Batabuah, Sumatera Barat)	10,99±0,62	22,34±1,03	191,68±5,06

Perbandingan konsentrasi aktivitas radionuklida Ra-226, Th-232, dan K-40 di beberapa daerah, hasil dari penelitian saat ini di Bukik Batabuah menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penelitiannya lainnya yang ditemukan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 radionuklida Ra-226 yang diukur di Bukik Batabuah didapatkan rata-rata sebesar $10,99 \pm 0,62$ Bq/kg, yang merupakan nilai terendah dengan nilai tertinggi $86,2 \pm 1,7$ Bq/kg diperoleh oleh Srinivasa et al. (2022).

Hasil dari perbandingan menunjukkan bahwa konsentrasi aktivitas radionuklida di Bukik Batabuah, dengan menggunakan sampel tanah yang tidak terdampak erupsi Gunung Marapi berada dalam kisaran yang lebih rendah. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh faktor geologi, jenis material vulkanik, serta perbedaan kondisi lingkungan setempat. Nilai yang didapatkan dari penelitian ini masih berada di bawah ambang batas aman yang telah ditetapkan Bapeten (2009).

3.2 Perbandingan Konsentrasi Aktivitas Radionuklida Pada Tanah Terdampak dan Tidak Terdampak Banjir Lahar Dingin

Berdasarkan nilai aktivitas radionuklida yang didapatkan pada sampel tanah yang terdampak dan tidak terdampak banjir lahar dingin Gunung Marapi dapat dilihat perbandingan pada Table 3. Pada Tabel 3, terdapat perubahan pada konsentrasi aktivitas radionuklida pada tanah terdampak dan tidak

terdampak. Perubahan ini terjadi akibat aktivitas Ra-226 dan K-40 pada tanah terdampak lebih tinggi dibandingkan tanah tidak terdampak, sedangkan aktivitas Th-232 pada tanah terdampak lebih rendah.

Tabel 3 Perbandingan nilai Konsentrasi Aktivitas Radionuklida pada sampel

No	Unsur Radionuklida	Nilai Rata-rata		Nilai p (T-test)	Signifikansi
		Yang terdampak Tanah A1-A6 (Bq/kg)	Yang tidak Terdampak Tanah B1-B3 (Bq/kg)		
1.	Ra-226	14,92 ± 0,62	10,99 ± 0,62	0,006	Signifikan
2.	Th-232	18,37 ± 0,83	22,34 ± 1,03	0,009	Signifikan
3.	K-40	342,15 ± 7,85	191,68 ± 5,06	0,0003	Signifikan

Meskipun terdapat perbedaan signifikan, seluruh nilai aktivitas ketiga radionuklida masih berada jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013, yakni 1000 Bq untuk Ra-226 dan Th-232, serta 10000 Bq untuk K-40.

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,01$) pada seluruh radionuklida antara tanah terdampak (A1–A6) dan tanah kontrol (B1–B3). Peningkatan paling dramatis terjadi pada aktivitas K-40, yang melonjak dari 191,68±5,06 Bq/kg menjadi 342,15±7,85 Bq/kg ($p=0,0003$). Hal ini mengindikasikan bahwa abu vulkanik yang terdeposisi di lokasi tersebut memiliki kandungan mineral kaya kalium (seperti feldspar atau mika) yang jauh lebih tinggi dibandingkan material tanah asli. Pengayaan serupa juga teramati pada Ra-226 yang meningkat secara signifikan ($p = 0,006$), mempertegas adanya suplai material dari deret uranium melalui aktivitas piroklastik. Sebaliknya, fenomena unik teramati pada aktivitas Th-232, yang meskipun menunjukkan perbedaan signifikan ($p = 0,009$), justru mengalami penurunan nilai dari 22,34±1,03 Bq/kg pada tanah kontrol menjadi 18,37±0,83 Bq/kg pada tanah terdampak. Penurunan ini mengindikasikan terjadinya efek pengenceran (*dilution effect*). Dalam konteks ini, abu vulkanik yang jatuh di wilayah tersebut kemungkinan besar memiliki konsentrasi Thorium yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah asli setempat (*background*). Oleh karena itu, pencampuran abu vulkanik dengan lapisan permukaan tanah justru menurunkan densitas aktivitas Thorium secara keseluruhan, berbeda dengan perilaku Kalium dan Radium yang justru mengalami pengayaan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai penentuan konsentrasi radionuklida alam di kawasan terdampak banjir lahar dingin Gunung Marapi Sumatera Barat dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata dari konsentrasi radionuklida alam pada sampel tanah yang terdampak banjir lahar dingin Gunung Marapi lebih tinggi dibandingkan tanah yang tidak terdampak banjir lahar dingin Gunung Marapi untuk unsur Ra-226 dan K-40, unsur Th-232 konsentrasi aktivitas radionuklida masih berada dalam batas ambang. Berdasarkan hasil uji statistik terjadi peningkatan yang signifikan dengan nilai p pada Ra-226 sebesar 0,006, Th-232 sebesar 0,009, dan K-40 sebesar 0,0003. Ditinjau berdasarkan dengan PERKA BAPETEN No. 9 tahun 2009 nilai yang konsentrasi aktivitas radionuklida yang didapatkan pada tanah di kawasan kaki Gunung Marapi masih berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan oleh BAPETEN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Pusat Riset Teknologi Keselamatan Metrologi dan Mutu Nuklir, Badan Riset Inovasi Nasional yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian dapat dilakukan dengan baik. Terimakasih juga kepada semua pihak yang telah terlibat dalam melakukan penelitian.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M., (2021). Radioekologi Radionuklida Kosmogenik, Deepublish, Yogyakarta.
- Alzubaidi, G., Hamid, F. B. S., & Rahman, I. A. (2016). Assessment of Natural Radioactivity Levels and Radiation Hazards in Agricultural and Virgin Soil in the State of Kedah , North of Malaysia. 2016.
- BATAN, Homepage, 2013, Pedoman Tentang Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan, [http://www.batan.go.id/images/PSMN/PDF/SB-14-BATAN-2013 Analisis-Sampel-Radioaktif-Lingkungan-BAGIAN-II.pdf](http://www.batan.go.id/images/PSMN/PDF/SB-14-BATAN-2013-Analisis-Sampel-Radioaktif-Lingkungan-BAGIAN-II.pdf), diakses pada 13 April 2024.
- BAPETEN, 2013, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2012 Tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (TENORM), <https://jdih.bapeten.go.id/unggah/dokumen/peraturan/246-full.pdf>, diakses pada 15 April 2024.
- BATAN, Homepage, 2019, Radionuklida yang Ada di Bumi <http://www.batan.go.id/ensiklopedi/09/01/01/06/09-01-01-06.html>, diakses pada 15 April 2024.
- Blundell, M. (2015). Naturally occuring radioactive material. Proceedings of the American Gas Association, Operating Section, 1,490-502.
- Brahmana, Y. S. (2017). Studi Kandungan Radionuklida Alam pada Tanaman Palawija Disekitar Tanah Karo Pasca Erupsi Gunung Sinabung Sumatera Utara. Universitas Sumatera Utara.
- Caridi, F., Spoto, S. E., Mottese, A. F., Paladini, G., Crupi, V., Belvedere, A., Marguccio, S., D'Agostino, M., Faggio, G., Grillo, R., Messina, G., Barreca, F., Venuti, V., & Majolino, D. (2022). Multivariate Statistics, Mineralogy, and Radiological Hazards Assessment Due to the Natural Radioactivity Content in Pyroclastic Products from Mt. Etna, Sicily, Southern Italy. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(17).
- Murniasih, S., & Sukirno, S. (2019). Distribusi Radionuklida Alam Sampel Lingkungan Tanah, Air dan Tanaman Sekitar Pltu Rembang. GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir, 22(1), 1–9.
- Karo, R. M. (2018). Penentuan Aktivitas Radionuklida Alam (^{226}Ra , ^{232}Th & ^{40}K) dalam Debu Vulkanik Gunung Sinabung, Pupuk Fosfat dan Tanah Pertanian dengan Metode Spektrometri Gamma serta Perkiraan Dampaknya pada Lingkungan. Universitas Sumatera Utara.
- Kementerian ESDM. Press Release Erupsi Gunung Marapi Sumatera Barat. <https://vsi.esdm.go.id>. Diunduh pada 12 Juni 2024.
- Kusumayudha, S. B., Lestari, P., & Paripurno, E. T. (2018). Eruption characteristic of the sleeping volcano, Sinabung, North Sumatera, Indonesia, and SMS gateway for disaster early warning system. Indonesian Journal of Geography, 50(1), 70–77.
- Rhynaldi, K. K. B. P. (2023). Penanggulangan Bencana Erupsi Gunung api Semeru. Jurnal Ketahanan Nasional, 29(1), 53–69.
- Srinivasa, E., Rangaswamy, D. R., Suresh, S., & Sannappa, J. (2022). Natural radioactivity levels and associated radiation hazards in soil samples of Chikkamagaluru district, Karnataka, India. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 331(4), 1899–1906. <https://doi.org/10.1007/s10967-021-08133-9>
- Syaifudin, M. (2023). Biologi radiasi: dasar-dasar dan aplikasi, Jakarta.