**Jurnal Fisika Unand (JFU)**
Vol. 14, No. 5, September 2025, hal. 471 – 478
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.14.5.471-478.2025

Open Access

# Penentuan Aktivitas Spesifik Radionuklida Alam Sumber Mata Air Panas di Kabupaten Solok Sumatera Barat

**Alfian Darmawan[1], Afdhal Muttaqin[1*], Murdahayu Makmur[2]**
[1]Depatermen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163
[2]Kelompok Riset Radioekologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Pasar Jum'at, Lebak Bulus, Jakarta Selatan, 12440

**Info Artikel**

***Histori Artikel:***
Diajukan: 3 April 2025
Direvisi: 20 Juli 2025
Diterima: 30 Agustus 2025

***Kata kunci:***
Air Panas
Aktivitas Spesifik
Parameter Awal
Radionuklida
Spektrometer Gamma

**ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian tentang penentuan aktivitas spesifik radionuklida alam sumber air panas di Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai aktivitas spesifik radionuklida 238U, 232Th, dan 40K dan parameter awal air dari sumber mata air panas sebagai usaha dalam keselamatan dan perlindungan radiasi untuk lingkungan dan masyarakat sekitar. Sampel air diambil dari tiga tempat yang berbeda yaitu Bukik Gadang, Batu Bajanjang dan Bukik Kili. Sampel air kemudian dianalisis aktivitas spesifiknya menggunakan spektrometer gamma HPGe yang dicacah selama 72 jam untuk radionuklida 238U, 232Th dan 40K. Hasil pengukuran derajat keasaman (pH), temperatur dan konduktivitas air sebagai parameter awal yang diukur pada sampel masing-masing berkisar antara 6,1-6,5 untuk pH; 41-52 °C dan 156,4-164,7 µS/m. Hasil pengukuran aktivitas spesifik pada sampel yang tertinggi terdapat pada radionuklida 40K berkisar antara (0,20 ± 0,01) Bq/L sampai (0,58 ± 0,02) Bq/L dan yang terendah pada 238U berada pada MDC. Beberapa hasil pengukuran sampel tidak mendeteksi semua radionuklida karena hasil yang didapatkan berada dibawah MDC. Aktivitas spesifik 238U, 232Th dan 40K sampel berada di bawah ambang batas dari PERKA BAPETEN No 9 Tahun 2009 yang menandakan bahwa lokasi penelitian aman dari dampak radiasi.

***Keywords:***
*Specific Activity*
*Radionuclides*
*Hot Water*
*Initial Parameters*
*Gamma Spectrometer*

***Penulis Korespondensi:***
Afdhal Muttaqin
Email:
afdhalmuttaqin@sci.unand.ac.id

*Research has been conducted on determination of specific activity of natural radionuclides of hot water source in Solok Regency, West Sumatera. The study aims to determine the specific activity of radionuclides 238U, 232Th, and 40K and initial water parameters from hot water to effort in radiation safety and protection for environment and surrounding communities. Water samples were taken from three places, namely Bukik Gadang, Batu Bajanjang and Bukik Kili. Then the water samples were analyzed for specific activity using HPGe gamma spectrometer which was chopped 72 hours for radionuclides 238U, 232Th and 40K. The results of measuring acidity (pH), temperature and conductivity of water as initial parameters measured in each sample ranged from 6,1-6,5 for pH; 41-52 °C and 156,4-164,7 µS/m. The results of specific activity measurements on the highest samples were found in the 40K radionuclide ranging from (0.20 ± 0.01) Bq/L to (0.58 ± 0.02) Bq/L and the lowest was in 238U at MDC. Some sample measurement results did not detect all radionuclides because the results obtained were below the MDC. The specific activity of 238U, 232Th and 40K samples were below the threshold of PERKA BAPETEN No. 9 of 2009 which indicates that the research location is safe from radiation impacts.*

*Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved*

## I. PENDAHULUAN

Pemandian air panas alam merupakan salah satu indikasi adanya potensi geotermal (panas bumi). Keberadaan gunung api dan potensi geotermal sangat erat kaitannya dengan jalur Cincin Api Pasifik yang melintasi Indonesia. Disisi lain, gunung api juga memiliki kelimpahan dan ketersebaran radionuklida alam seperti uranium, thorium dan kalium, yang kemungkinan dapat terbawa kepermukaan dengan adanya sumber air panas (Hassan et al., 2016). Oleh karena itu, mengetahui aktivitas spesifik dari radionuklida alam yang terdapat pada sumber air panas penting untuk meminimalisir efek kesehatan yang akan muncul.

Paparan radiasi dari radionuklida tidak secara langsung berdampak terhadap kesehatan, namun secara perlahan bisa meningkatkan risiko tumbuhnya sel kanker. Radiasi di lingkungan dengan tingkat yang rendah bisa menjadi salah satu faktor pemicu terjadinya kanker (Cohen, 2002). Dalam upaya pencegahan, badan keamanan atom, nuklir, dan lingkungan tentang radiasi dunia seperti EPA (*Environmental Protection Agency*), UNSCEAR (*United Nations - Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) dan IAEA (*International Atomic Energy Agency*) mengeluarkan aturan tentang tingkat radiasi yang dapat diterima oleh manusia. Selain rekomendasi dunia, Indonesia juga mempunyai rekomendasi nasional yang telah diatur oleh BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir).

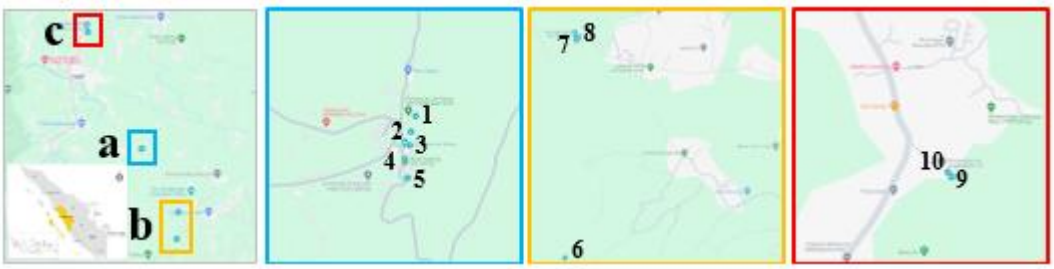
Pemetaan radiasi gamma telah dilakukan di Sumatra Barat pada 28 titik lokasi. Pemetaan dilakukan dengan sistem deteksi radiasi exploranium GR-130 dengan pengambilan sampel dibagi dalam area 40x40 $km^2$. Hasil yang diperoleh relatif sama dengan rata-rata tingkat radiasi gamma di Indonesia. Namun, beberapanya sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa wilayah lainnya di Indonesia. Laju dosis radiasi yang tinggi dibeberapa daerah di Sumatera Barat menunjukkan tingginya tingkat radioaktivitas lingkungan, yang kemungkinan memiliki kaitan erat dengan keberadaan jalur gunung api, termasuk pada sumber air panas alam yang ada di Sumatera Barat (Kusdiana et al., 2013).

Banyaknya penelitian yang dilaksanakan untuk mengetahui aktivitas spesifik radionuklida alam pada air panas alam, salah satunya pada beberapa daerah di Yaman, dianalisis menggunakan spektrometer gamma. Pada lokasi penelitian ditemukan radionuklida alam $^{236}Ra$, $^{232}Th$ dan $^{40}K$. Hasil pengukuran melebihi nilai batas yang telah diatur oleh WHO (*World Health Organization*) sehingga air panas alam yang berlokasi di dalam penelitian ini tak patut digunakan (El-Mageed et al., 2013).

Salah satu daerah yang memiliki sumber mata air panas di Sumatera Barat adalah di Kabupaten Solok. Kabupaten Solok terdapat memiliki ± 15 sumber air panas alam, diantaranya berada di Kecamatan Lembang Jaya (BPS, 2019b) dan Kecamatan Kubung (BPS, 2019a). Sumber mata air panas digunakan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan rekreasi. Hal inilah yang melandasi pentingnya penelitian untuk mengukur dan mengetahui aktivitas spesifik radionuklida terutama alam pada sumber air panas di Kabupaten Solok, terutama pada beberapa radionuklida yang tergolong dalam deret thorium dan uranium.

## II. METODE

### 2.1 Lokasi Pengambilan Sampel




**Gambar 1** Citra Satelit Beberapa Pemandian Air Panas di Kabupaten Solok (a) Bukik Gadang (b) Batu Bajanjang (c) Kubung (Google Maps, 2023)

Sampel air panas yang diperoleh berada pada dua Kecamatan yaitu Kecamatan Lembang Jaya dan Kecamatan Kubung, Sumatera Barat yang terlihat pada Gambar 1. Sampel yang diperoleh berada di sekitar Nagari Koto Anau, Nagari Batu Bajanjang, dan Nagari Koto Baru pada Pemandian Air Panas Enam Saudara, Pemandian Air Panas Musholla Zam-Zam, dan Pemandian Air Panas Masjid Al-Ikhwan

dan Lereng Gunung Talang. Lokasi pengambilan sampel berada pada 10 titik dengan koordinat dimulai dari 0°51'20.7"LS − 100°39'07.5" BT hingga 0°55'03.9"LS − 100°41'60.0" BT.

### 2.2 Teknik Pengambilan dan Preparasi Sampel

Lokasi pengambilan ada 3 untuk mendapatkan 10 titik pengambilan sampel. Setiap sampel air panas diambil sebanyak 20 liter untuk mengukur aktivitas spesifik. Sampel kemudian dilabeli dengan penamaan sesuai lokasi pengambilan. Derajat keasaman (pH), temperatur dan konduktivitas dari sampel sebagai parameter awal diukur kemudian diantarkan ke Laboratorium Radioekologi, PRTKMMN-BRIN.

### 2.3 Teknik Pengukuran Radionuklida

Aktivitas spesifik radionuklida $^{238}$U, $^{232}$Th dan $^{40}$K diukur dengan memakai spektrometer gamma HP-Ge. Pengukuran sampel dilakukan selama 72 jam (257500 detik) untuk setiap sampel. Proses pengukuran dan hasil analisis spektrum akan ditampilkan pada *software Maestro*.

Setelah pengukuran selesai, dilakukan proses pengolahan data sampel dengan perhitungan untuk konsentrasi radionuklida $^{238}$U, $^{232}$Th dan $^{40}$K menggunakan Persamaan 1 dan 2. Ketidakpastiaan pengukuran diukur dengan memakai Persamaan 3 (BATAN, 1998).

$$C_{sp} = C_{avg} + U_T \tag{1}$$

$$C_{avg} = \frac{N_{sp} - N_{bg}}{\varepsilon_\gamma P_\gamma w_{sp}} \tag{2}$$

$$U_T = C_{avg} \times \sqrt{\left(\frac{U_N}{N_s}\right)^2 + \left(\frac{U_\varepsilon}{\varepsilon_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{U_p}{P_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{U_m}{m}\right)^2} \tag{3}$$

Dengan $C_{sp}$ dan $C_{avg}$ konsentrasi radionuklida dan rata-rata dalam sampel (Bq/l), $U_T$ adalah ketidakpastian pengukuran, $N_{sp}$ dan $N_{bg}$ adalah laju cacah sampel dan latar, $\varepsilon_\gamma$ dan $P_\gamma$ adalah efisiensi dan *yield* energi gamma $w_{sp}$ adalah massa sampel air, dan masing-masing $U_N$; $U_\varepsilon$; $U_P$; $U_m$ adalah ketidakpastian pencacahan sampel; efisiensi pada energi gamma; *yield*; serta berat sampel.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Pengukuran pH, Temperatur dan Konduktivitas

Parameter awal sampel untuk mengetahui derajat keasaman, temperatur dan konduktivitas air. Pengukuran parameter awal dibagi menjadi tiga sesuai nama lokasi pengambilan sampel. Hasil pengukuran ketiga parameter awal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan nilai derajat keasaman, temperatur, dan konduktivitas air bervariasi pada setiap lokasi pengambilan sampel. Rata-rata dejarat keasaman pada masing-masing Bukit Gadang, Batu Bajanjang dan Bukit Kili adalah 6,28; 6,17 dan 6,3. Rata-rata temperatur pada masing-masing Bukit Gadang, Batu Bajanjang dan Bukit Kili adalah 45,4 °C; 45,7 °C dan 42,5 °C. Rata-rata konduktivitas air pada masing-masing Bukit Gadang, Batu Bajanjang dan Bukit Kili adalah 159,76 µS; 159,53 µS dan 162,25 µS. Nilai derajat keasaman pada ketiga lokasi pengambilan sampel menunjukkan bahwa sumber air panas berada di skala netral jika diperhatikan dari skala pH, namun sedikit asam. Air dengan pH 6,0-7,0 umumnya aman bagi kulit manusia tanpa menyebabkan iritasi atau kerusakan pada kulit (Skotnicki, 2020).

Nilai konduktivitas air pada sampel ketiga lokasi pengambilan sampel penelitian ini menunjukan bahwa konduktivitas sebesar ini tergolong dalam mineral yang rendah. Konduktivitas yang tergolong rendah berada pada rentang 0-200 µS/m (Khairunnas & Gusman, 2018). Konduktivitas air dengan mineral yang rendah menunjukkan air tersebut memiliki kandungan mineral yang tak terlalu tinggi dan aman dikonsumsi.

Air panas yang mengalir dari formasi batuan yang memiliki kandungan mineral yang tinggi dapat dilihat dari tingkat konduktivitas air yang tinggi. Kandungan mineral atau senyawa dalam air

panas berasal dari interaksi batuan beku atau sendimen yang kaya dengan mineral, bergantung pada lokasi geologinya. Kandungan garam, sulfat, klorida, atau mineral yang lain dapat meningkatkan konduktivitas air (Nugraha et al., 2021). Dari hasil ini menunjukkan bahwa air panas dari 10 titik pengambilan sampel tidak banyak mengandung mineral terlarut.-

**Tabel 1** Parameter awal pada sampel air

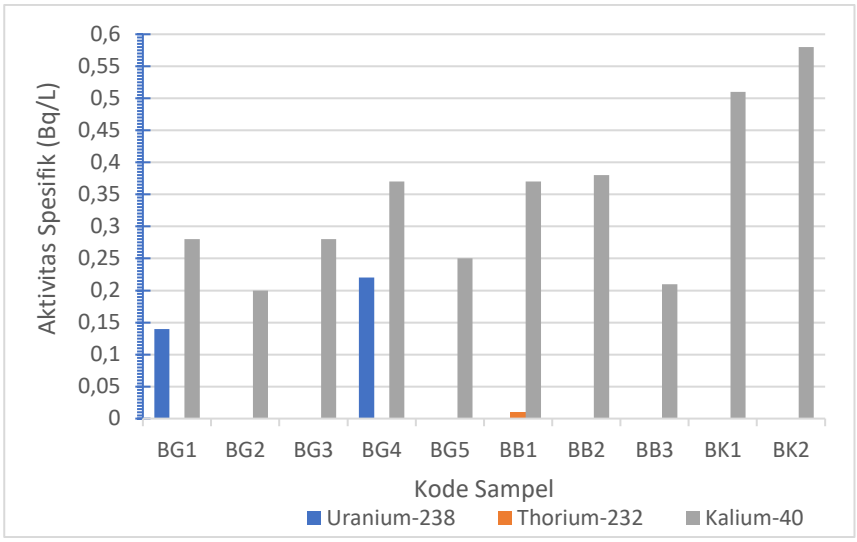
| No | Kode Sampel | Derajat Keasaman (pH) | Temperatur (° C) | Konduktivitas Air ($\mu$ S/m) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | BG1 | 6,1 | 41 | 164,7 |
| 2 | BG2 | 6,3 | 45 | 156,4 |
| 3 | BG3 | 6,5 | 48 | 158,9 |
| 4 | BG4 | 6,3 | 46 | 159,2 |
| 5 | BG5 | 6,2 | 47 | 159,6 |
| | **Rata-rata** | 6,28 | 45,4 | 159,76 |
| 6 | BB1 | 6,2 | 44 | 161,3 |
| 7 | BB2 | 6,2 | 52 | 159,4 |
| 8 | BB3 | 6,1 | 41 | 157,9 |
| | **Rata-rata** | 6,17 | 45,7 | 159,53 |
| 9 | BK1 | 6,3 | 43 | 162,1 |
| 10 | BK2 | 6,3 | 42 | 162,4 |
| | **Rata-rata** | 6,3 | 42,5 | 162,25 |

### 3.2 Pengukuran Aktivitas Spesifik pada Sampel Air Panas

Berdasarkan Tabel 2 dan dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 2, dapat diketahui bahwa aktivitas spesifik radionuklida $^{40}$K ada pada ketiga tempat, dengan aktivitas spesifik $^{40}$K tertinggi ada di Bukit Kili. Namun $^{238}$U dan $^{232}$Th hanya ada di Bukit Gadang dan Batu Bajanjang. Hasil ini lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil pemetaan yang dilakukan dengan mengambil sampel tanah yang dilakukan oleh (Kusdiana et al., 2013).

**Tabel 2** Aktivitas Spesifik Radionuklida Pada Sampel Air

| No | Kode Sampel | Aktvitias Spesifik (Bq/L) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $^{238}$U | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| 1 | BG1 | 0,14 ± 0,07 | MDC | 0,28 ± 0,01 |
| 2 | BG2 | MDC | MDC | 0,20 ± 0,01 |
| 3 | BG3 | MDC | MDC | 0,28 ± 0,01 |
| 4 | BG4 | 0,22 ± 0,08 | MDC | 0,37 ± 0,01 |
| 5 | BG5 | MDC | MDC | 0,25 ± 0,01 |
| | **Rata-rata** | MDC | MDC | 0,276 ± 0,01 |
| 6 | BB1 | MDC | 0,01 ± 0,00 | 0,37 ± 0,02 |
| 7 | BB2 | MDC | MDC | 0,38 ± 0,01 |
| 8 | BB3 | MDC | MDC | 0,21 ± 0,01 |
| | **Rata-rata** | MDC | MDC | 0,320 ± 0,01 |
| 9 | BK1 | MDC | MDC | 0,51 ± 0,02 |
| 10 | BK2 | MDC | MDC | 0,58 ± 0,02 |
| | **Rata-rata** | MDC | MDC | 0,545 ± 0,02 |




**Gambar 2** Aktivitas Spesifik Radionuklida Pada Sampel Air

Jika dihubungkan dengan nilai pengukuran konduktivitas air, terlihat bahwa air panas dari 10 titik sampel memiliki konduktivitas yang rendah, menunjukkan bahwa kandungan ion terlarut pada sampel air panas juga rendah. Ini dapat berarti bahwa kandungan mineral yang berasal dari batuan terlarut yang dibawa bersama air panas dari perut bumi juga cukup rendah. Hal ini dapat berdampak pada rendahnya kandungan unsur radionuklida yang terdapat didalam sampel air panas.

Nilai aktivitas spesifik ini juga masih rendah jika dibandingkan dengan aktivitas radiasi alam terukur di beberapa titik di Sumatera Barat (Kusdiana dkk., 2013). Pada pengukuran sampel tanah, tingkat aktivitas radiasi dapat lebih tinggi diakibatkan oleh penyebaran debu yang mengandung unsur radioaktif, atau akibat penggunaan pupuk pertanian. Berbeda halnya dengan sampel air panas, kontaminasi materi dari masyarakat sekitar seperti pertambangan atau industri dapat dihindarkan. Selain faktor eksternal akibat kontaminasi, aktivitas spesifik radionuklida dalam suatu lingkungan bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya keadaan geologi suatu tempat, derajat keasaman, temperatur dan konduktivitas air. Oleh karena itu, untuk air permukaan pada lokasi penelitian perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk melihat nilai radioaktivitas alam yang dimiliki oleh sumber air permukaan yang di konsumsi masyarakat.

Berdasarkan hasil pengukuran dengan skala peta, jarak sumber air panas dari Gunung Talang sebagai dapur geotermal bervariasi dari 2,5-20 km. Rentang jarak yang tidak terlalu dekat tersebut yang kemungkinan mempengaruhi interaksi dengan batuan tidak terlalu tinggi. Sehingga konsentrasi uranium, thorium dan kalium juga tidak terlalu tinggi. Menurut Kölbel dkk., 2020, semakin dekat air dengan sumber panas bumi, semakin tinggi suhunya dan semakin intens interaksi air dengan batuan, yang menyebabkan konsentrasi uranium, thorium, dan kalium lebih tinggi.

Jika ditinjau dari formasi geologi dan sistem geotermal pada semua tempat pengambilan sampel dengan karakteristik formasi geologi dan sistem geotermal yang relatif sama, dapat disimpulkan bahwa formasi geologi dari daerah tempat pengambilan sampel tidak kaya dengan unsur uranium, thorium dan kalium. Hal ini dikarenakan tingkat aktivitas spesifik radionuklida berkaitan dengan dominasi formasi geologi dan sistem geotermal di sekitar lokasi sumber air panas. Semua tempat pengambilan sampel berada pada daerah yang memiliki sumber daya energi geotermal (Direktorat Panas Bumi, 2017).

Aktivitas spesifik radionuklida $^{232}$Th lebih rendah dari $^{238}$U pada semua sampel air panas. Jika ditinjau dari letak geografis lokasi pengambilan sampel, lokasinya berada di area sekitar lereng Gunung Talang yang merupakan gunung api aktif. Kelimpahan dan distribusi uranium, thorium dan kalium berasal dari sumber batuan yang dihasilkan dari lokasi sampel. Jenis batuan di sekitar lereng Gunung Talang adalah batuan lava dan piroklastika (Welayaturromadhona, 2013). Mengacu pada Chakraborty dkk., 2013, seharusnya ketika sumber air panas mengalir pada batuan, batuan yang mengandung radionuklida dapat larut ke dalam air karena terjadi interaksi dan meningkatkan aktivitas unsur radiokatif. Namun, dari 10 titik yang di ukur, nilai uranium, thorium dan kalium pada sampel tidak terlalu tinggi. Selain temperatur air, kemungkinan derajat keasaman (pH) pada air juga mempengaruhi kelarutan batuan yang mengandung radionuklida.

Berdasarkan pengukuran derajat keasaman (pH), pH air panas alam pada sampel penelitian berada pada 6,1-6,5. Hasil yang diperoleh menunjukkan pH sampel air sedikit asam dan hampir mendekati netral. Rendahnya aktivitas spesifik radionuklida $^{232}$Th dan $^{238}$U pada sampel air boleh jadi diakibatkan karena pH sampel air netral. Sehingga kemampuan air dalam melarutkan zat menjadi menurun oleh pH.

Derajat keasaman pada air panas alam berperan penting dalam perilaku mineral termasuk radionuklida. Dari hasil pengukuran, beberapa mineral yang mengandung radionuklida $^{232}$Th dan $^{238}$U di area sampel yang diambil tergolong dalam mineral yang rendah (Khairunnas dan Gusman, 2018). Pada keadaan asam, mineral yang mengandung radionuklida dapat meningkatkan kelarutan pada $^{232}$Th dan $^{238}$U sehingga aktivitas spesifik meningkat. Semakin asam kondisi air maka semakin larut suatu mineral sehingga dapat melepaskan radionuklida ke dalam air (Erfurt, 2021).

Berdasarkan pengukuran temperatur dan konduktivitas, temperatur air panas alam yang berada pada 3 lokasi dengan rentang suhu 41-52 °C pada semua titik pengambilan. Konduktivitas air pada air panas alam yang ada di 3 lokasi berada pada interval 156,4-164,7 µS/m. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran lainnya dalam sistem geotermal. Dalam sistem geotermal, interaksi antara suhu, formasi geologi, pH, dan konduktivitas sangat kompleks.

Suhu yang lebih tinggi berkorelasi dengan peningkatan konduktivitas dan aktivitas spesifik dari uranium, thorium, dan kalium yang menunjukan bahwa potensi geotermal dan geologi dapat meningkatkan kemampuan radionuklida untuk tersebar di permukaan bumi (Madi dkk., 2014). Keberadaan mineral seperti sulfat dan karbonat dapat menyebabkan radionuklida kurang larut. Sulfat dan karbonat terdapat pada batuan beku dan piroklastik seperti andesit, tuf, piroklastik, filit dan endapan (Putriyana dan Soekarno, 2020). Kehadiran sulfat dan karbonat menyebabkan aktivitas spesifik radionuklida rendah bahkan saat konduktivitasnya tinggi (Han dan Park, 2018). Oleh karena itu, untuk hasil yang lebih baik, perlu dilakukan pengukuran sulfat dan karbonat untuk melihat korelasi rendahnya nilai radionuklida pada sampel dengan kandungan sulfat dan karbonat.

Jika ditinjau dari PERKA BAPETEN No. 9 tahun 2009 aktivitas spesifik radionuklida pada sampel penelitian berada di bawah ambang batas. Menurut PERKA BAPETEN No. 9 tahun 2009, batas ambang untuk $^{232}$Th dan $^{238}$U adalah 1000 Bq/L dan $^{40}$K adalah 10000 Bq/L. Hal ini mendeskripsikan bahwa sampel air panas di lokasi penelitian aman dan bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan sebagai tempat rekreasi tanpa ada risiko bahaya radiasi.

**Tabel 3** Aktivitas Spesifik Radionuklida Pada Sampel Air Panas Alam Pada Beberapa Wilayah

| No | Daerah (Peneliti) | Referensi | Aktivitas Spesifik (Bq/L) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $^{238}$U | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| 1 | Aljazair | (Kebir & Boucenna, 2017) | 1,13 | 1,55 | - |
| 2 | Kroasia | (Krmpotić et al., 2018) | 0,03 | - | 10,68 |
| 3 | Hungaria | (Kovács-Bodor et al., 2019) | 0,07 | - | - |
| 4 | Mashad, Iran | (Dhahir et al., 2020) | 7,79 | - | - |
| 5 | [1]Gunung Panjang dan [2]Gunung Pancar, Kab. Bogor, Jabar | (Zulfa et al., 2024) | [1]18,24<br>[2]1,87 | [1]86.13<br>[2]0,81 | [1]361,32<br>[2]1,85 |
| 6 | Pariangan, Sumbar | (Yuliandari et al., 2021) | - | 0,53 | 41,87 |

Aktivitas spesifik radionuklida $^{238}$U, $^{232}$Th dan $^{40}$K pada sampel air di air panas alam pada penelitian jika dibandingkan dengan pemandian air panas alam lainnya pada Tabel 3, aktivitas spesifik radionuklida pada penelitian ini bernilai lebih rendah rendah. Hal ini menginformasikan bahwa air panas alam di sekitar air panas beberapa Nagari di Kabupaten Solok lebih aman apabila dibandingkan dengan air panas alam pada beberapa lokasi penelitian di beberapa negara.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa tingkat radioaktivitas tertinggi pada sampel terdapat pada $^{40}$K berkisar antara 0,20 ± 0,01 Bq/L sampai dengan 0,58 ± 0,02 Bq/L dan yang terendah pada $^{238}$U tidak terdeteksi oleh alat (MDC). Derajat keasaman (pH), temperatur dan konduktivitas air masing-masing berada pada rentang 6,1-6,5 untuk pH, titik tertinggi

pada BB2 yaitu 52°C dan titik tertinggi pada BG1 yaitu 164,7 μS/m. Tidak semua radionuklida terdeteksi pada semua sampel dikarenakan beberapa hasil yang didapatkan berada dibawah MDC. Hasil pengukuran aktivitas spesifik $^{238}U$, $^{232}Th$ dan $^{40}K$ berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan oleh PERKA BAPETEN No 9 Tahun 2009 yang menandakan bahwa lokasi penelitian aman dari dampak radiasi dan mempunyai kandungan radionuklida yang rendah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PRTKMMN-BRIN yang telah memfasilitasi semua sarana dan prasarana sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar. Terima kasih juga untuk pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian yang dilaksanakan sampai selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

BATAN. (1998). Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan. BATAN.

BPS. (2019a). Kecamatan Kubung Dalam Angka 2019 (U. A. Rahmi, Ed.). CT Adyta.

BPS. (2019b). Kecamatan Lembang Jaya Dalam Angka 2019 (U. A. Rahmi, Ed.). CT Adyta.

Chakraborty, S. R., Azim, R., Rahman, A. K. M. R., & Sarker, R. (2013). Radioactivity Concentrations in Soil and Transfer Factors of Radionuclides from Soil to Grass and Plants in the Chittagong City of Bangladesh. Journal of Physical Science, 24(1), 95-113.

Cohen, B. L. (2002). Cancer Risk from Low-Level Radiation. American Journal of Roentgenology, 179(5), 1137-1143. https://doi.org/10.2214/ajr.179.5.1791137

Dhahir, D. M., Mdekil, A. S., & Abojassim, A. A. (2020). Evaluation of Natural Radionuclides in Groundwater Samples of Some Villages of Mashhad-Iran. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, XII(III), 4480-4485. https://dx.doi.org/10.37896/JXAT12.03/396

Direktorat Panas Bumi. (2017). Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1 (Edisi Pertama). Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.

El-Mageed, A. I. A., El-Kamel, A. E. H., Abbady, A. E. B., Harb, S., & Saleh, I. I. (2013). Natural Radioactivity of Ground and Hot Spring Water in Some Areas in Yemen. Desalination, 321, 28-31. https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.022

Erfurt, P. (2021). The Geoheritage of Hot Springs. In Geoheritage, Geoparks and Geotourism. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60463-9_3

Han, C. H., & Park, J. W. (2018). Analysis of The Natural Radioactivity Concentrations of The Fine Dust Samples in Jeju Island, Korea and The Annual Effective Radiation Dose by Inhalation. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 316(3), 1173-1179. https://doi.org/10.1007/s10967-018-5873-6

Hassan, N. M., Mansour, N. A., Fayez-Hassan, M., & Sedqy, E. (2016). Assessment of Natural Radioactivity in Fertilizers and Phosphate Ores in Egypt. Journal of Taibah University for Science, 10(2), 296-306. https://doi.org/10.1016/J.JTUSCI.2015.08.009

Kebir, H., & Boucenna, A. (2017). Natural Radionuclide Concentrations in Thermal Springs of East Algeria. Environmental Earth Sciences, 76(52.). https://doi.org/10.1007/s12665-016-6373-z

Khairunnas, & Gusman, M. (2018). Analisis Pengaruh Parameter Konduktivitas, Resistivitas dan TDS Terhadap Salinitas Air Tanah Dangkal pada Kondisi Air Laut Pasang dan Air Laut Surut di Daerah Pesisir Pantai Kota Padang. Jurnal Bina Tambang, 3(4), 1751-1760. https://doi.org/10.24036/bt.v3i4.102295

Kölbel, L., Kölbel, T., Maier, U., Sauter, M., Schäfer, T., & Wiegand, B. (2020). Water−Rock Interactions in The Bruchsal Geothermal System by U−Th Series Radionuclides. Geothermal Energy, 8(1), 24. https://doi.org/10.1186/s40517-020-00179-4

Kovács-Bodor, P., Csondor, K., Erőss, A., Szieberth, D., Freiler-Nagy, Á., Horváth, Á., Bihari, Á., & Mádl-Szőnyi, J. (2019). Natural Radioactivity of Thermal Springs And Related Precipitates in Gellért Hill area, Buda Thermal Karst, Hungary. Journal of Environmental Radioactivity, 201, 32-42. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.01.020

Krmpotić, M., Rožmarić, M., Petrinec, B., Bituh, T., Fiket, Ž., & Benedik, L. (2018). Radionuclide and Major element analysis of thermal and mineral waters in Croatia with a related dose assessment. Radiation Protection Dosimetry, 181(3), 199-207. https://doi.org/10.1093/RPD/NCY010

Kusdiana, Setiawan, A., Pudjadi, E., & Syarbaini. (2013). Mapping of Environmental Gamma Radiation Dose Rate in West Sumatera Province. Iternational Conference on the Source, Effects and Risks of Ionizing Radiation, 211−214.

Madi, K., Nyabeze, P., Gwavava, O., Sekiba, M., & Zhao, B. (2014). Uranium, Thorium and Potassium Occurrences in The Vicinity of Hot Springs in The Northern Neotectonic Belt in The Eastern Cape Province, South Africa. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 301(2), 351-363. https://doi.org/10.1007/s10967-014-3183-1

Nugraha, E. D., Hosoda, M., Mellawati, J., Untara, U., Rosianna, I., Tamakuma, Y., Modibo, O. B., Kranrod, C., Kusdiana, K., & Tokonami, S. (2021). Radon Activity Concentrations in Natural Hot Spring Water: Dose Assessment and Health Perspective. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(3), 1-8. https://doi.org/10.3390/ijerph18030920

Putriyana, L., & Soekarno, H. (2020). Numerical Modelling of Geothermal Reservior in Gunung Talang, Erst Sumatera, Indonesia. RISET Geologi Dan Pertambangan, 30(1), 11-20. https://doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1058

Skotnicki, S. (2020). Skin pH, Epidermal Barrier Function, Cleansers, and Skin Health. In A. Alavi & H. I. Maibach (Eds.), Local Wound Care for Dermatologists. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28872-3

Welayaturromadhona. (2013). Analisis Fisis Aktivitas Gunung Talang − Sumatera Barat Berdasarkan Karakteristik Spektral dan Estimasi Hiposenter Gempa Vulkanik [Skripsi, Universitas Brawijaya, Malang.]. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15642.54720

Yuliandari, A., Milvita, D., & Shilfa, S. N. (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

Zulfa, N. A., Adrial, R., Makmur, M., Yahya, M. N., Putra, D. I. P., & Priasetyono, Y. (2024). Penentuan Aktivitas Radionuklida Alam pada Pemandian Air Panas Gunung Panjang dan Gunung Pancar di Kabupaten Bogor Jawa Barat. Jurnal Fisika Unand (JFU), 13(4), 541-548. https://doi.org/10.25077/jfu.13.4.541-548.2024