

Estimasi Faktor Transfer Radionuklida Alam Tanah ke Beras dan Dosis Internal Tahunan Pada Penduduk di Sekitar Geotermal Solok Selatan

Afifah Nabilah¹, Sri Oktamuliani^{1*}, Leli Nirwani²

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

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

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 1 Agustus 2023
Direvisi: 7 Oktober 2023
Diterima: 8 November 2023

Kata kunci:

beras
dosis efektif
faktor transfer
radionuklida alam
spektrometer gamma
tanah

Keywords:

rice
effective dose
transfer factor
natural radionuclides
gamma spectrometer
soil

Penulis Korespondensi:

Sri Oktamuliani
Email:
srioktamuliani@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Solok Selatan merupakan salah satu daerah di Sumatra Barat yang memiliki potensi panas bumi, yang mengandung aktivitas spesifik ^{226}Ra , ^{232}Th , dan ^{40}K jauh lebih tinggi di dalam tanah. Tujuan penelitian ini untuk memperkirakan faktor transfer alami dari tanah dan beras dan dosis efektif tahunan penduduk di jalur geotermal Solok Selatan. Penelitian dilakukan pada tiga kecamatan, yaitu pada Kec. Sungai Pagu, Kec. Pauh Duo, dan Kec. Sangir di Kabupaten Solok Selatan dengan total enam sampel tanah dan enam sampel beras. Aktivitas spesifik radionuklida diukur menggunakan spektrometer gamma. Rata-rata konsentrasi radionuklida alam yang diperoleh pada sampel tanah yaitu ^{226}Ra sebesar $(17,09 \pm 0,75)$ Bq/kg, ^{232}Th sebesar $(30,01 \pm 0,99)$ Bq/kg, dan ^{40}K sebesar $(214,1 \pm 0,87)$ Bq/kg. Konsentrasi radionuklida alam yang diperoleh dalam beras yaitu ^{226}Ra dengan rata-rata $(59,36 \pm 0,33)$ Bq/kg, ^{232}Th dengan rata-rata $(0,10 \pm 0,11)$ Bq/kg, dan ^{40}K dengan rata-rata $(37,75 \pm 1,58)$ Bq/kg. Penelitian ini menunjukkan bahwa sampel tanah yang berada pada jalur geotermal memiliki konsentrasi tertinggi yaitu Nagari Koto Baru, Kec. Sungai Pagu, Kab. Solok Selatan. Nilai faktor transfer radionuklida pada beras tertinggi pada unsur ^{226}Ra sebesar 5,59 terletak di daerah Koto Baru. Perkiraan dosis efektif perorangan tertinggi diperoleh yaitu ^{226}Ra sebesar 2,97 mSv/tahun, ^{232}Th sebesar 0,002 mSv/tahun, dan ^{40}K sebesar 0,022 mSv/tahun. Nilai dosis efektif yang diperoleh tergolong aman untuk penduduk, karena lebih rendah dari batas dosis yang direkomendasikan oleh *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, kecuali pada unsur ^{226}Ra yang terdapat pada sampel daerah Koto Baru, Kec. Sungai Pagu, Kab. Solok Selatan.

*South Solok is one of the areas in West Sumatra that has geothermal potential, which contains much higher specific activities of ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K in the soil. The study aimed to estimate the natural transfer factors from soil and rice and the annual effective dose of residents in the South Solok geothermal line. The study was conducted in three sub-districts, namely Sungai Pagu, Pauh Duo, and Sangir sub-districts in South Solok Regency with a total of six soil samples and six rice samples. The specific activity of radionuclides was measured using a gamma spectrometer. The average concentration of natural radionuclides obtained in soil samples were ^{226}Ra at (17.09 ± 0.75) Bq/kg, ^{232}Th at (30.01 ± 0.99) Bq/kg, and ^{40}K at (214.1 ± 0.87) Bq/kg. The concentration of natural radionuclides obtained in rice is ^{226}Ra with an average of (59.36 ± 0.33) Bq/kg, ^{232}Th with an average of (0.10 ± 0.11) Bq/kg, and ^{40}K with an average of (37.75 ± 1.58) Bq/kg. This study shows that soil samples on the geothermal pathway have the highest concentration, which is Nagari Koto Baru, Sungai Pagu sub-district, South Solok regions. The highest radionuclide transfer factor value in rice on the element ^{226}Ra of 5.59 is located in Koto Baru area. The highest individual effective dose estimates obtained were ^{226}Ra at 2.97 mSv/year, ^{232}Th at 0.002 mSv/year, and ^{40}K at 0.022 mSv/year. The effective dose values obtained are considered safe for the population, because they are lower than the dose limit recommended by the *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, except for the element ^{226}Ra found in the Koto Baru, Sungai Pagu sub-district, South Solok regions sample area.*

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Provinsi Sumatera Barat banyak memiliki geotermal (panas bumi) yang merupakan potensi lokal. Potensi ini tersebar pada 18 titik di 7 kabupaten, salah satu daerah geotermal yang ada di Sumatera Barat yaitu Kabupaten Solok Selatan (Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023). Daerah geotermal adalah daerah yang memiliki sebuah sumber energi panas yang terdapat dan terbentuk di dalam kerak bumi. Salah satu bukti adanya panas bumi pada daerah tersebut yaitu ditemukannya mata air panas (Saptadji, 2005). Beberapa titik mata air panas di Solok Selatan, yaitu Mata Air Panas Ambayan di Kecamatan Sungai Pagu, dan Mata Air Panas Sapan Maluluang di Kecamatan Pauh Duo.

Geotermal ini disebabkan oleh peluruhan radioaktif dari isotop radium-226 (^{226}Ra), torium-232 (^{232}Th) dan kalium-40 (^{40}K) secara terus menerus sehingga menghasilkan panas dari dalam bumi (Goff dan Janik, 2000). Batuan yang ada pada kerak bumi akan mengalami penghancuran secara alami dan radionuklida yang terkandung sampai ke tanah oleh air hujan dan aliran air dalam tanah. Tingkat aktivitas spesifik radionuklida pada tanah di area geotermal Dikili-Turkey yang memiliki struktur geologi vulkanik, terdapat unsur ^{40}K tertinggi yang diuji menggunakan spektrometer gamma Nal(Tl) (Tabar dkk., 2013).

Arif (2015) menyatakan bahwa, menurut laporan *United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation* (UNSCEAR) total dosis radiasi yang diterima tubuh manusia adalah 87% berasal dari radiasi alam. Setiap hari, kita menelan dan menghirup radionuklida melalui konsumsi makanan, air, udara. Semua jenis makanan termasuk beras mengandung jumlah radioaktivitas yang dapat dideteksi lalu berpindah ke dalam tubuh manusia melalui jalur konsumsi. ^{40}K , ^{232}Th , uranium-238 (^{238}U) dan anak luruhnya adalah radionuklida yang umum ditemukan dalam makanan dan air (Yu dan Mao, 1999). Transfer radionuklida dari tanah ke tanaman merupakan salah satu jalur dimana radionuklida sampai ke tubuh manusia. Radionuklida alam yang terkandung dalam tanah akan berpindah ke tanaman melalui akar selama pertumbuhan dan perkembangannya, yang akhirnya sampai ke manusia melalui pola konsumsi bahan pangan yang sudah terkontaminasi radionuklida. Pola makan ini penyebab utama paparan manusia terhadap elemen radioaktif yang memandu dosis radiasi internal.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang radionuklida alam dalam bahan makanan. Erwan (2016) meneliti radionuklida alam dan faktor transfer dari tanah ke beras, dari hasil penelitian ditemukan adanya kandungan ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dengan nilai faktor transfer tertinggi terdapat pada unsur ^{40}K . Aswood (2017) di Cameron Highland, Malaysia melakukan penelitian pada beberapa sampel sayuran, ditemukan adanya kandungan ^{238}U dan ^{232}Th tertinggi pada sampel mentimun dan salada. Ambalingsi (2017) juga telah melakukan penelitian serupa pada kopi toraja, nilai faktor transfer tertinggi dimiliki unsur ^{40}K , dengan dosis efektif perorangan sekitar (0,0037-0,0039) mSv/tahun.

Solok selatan merupakan salah satu daerah penghasil beras di Sumatra Barat dengan luas area penanaman mencapai 54,869 ribu hektar dan memproduksi padi sebesar 40,07 kuintal/hektar pada tahun 2021 (Badan Pusat Statistik, 2021). Shabila (2021) telah melakukan penelitian pada sampel tanah dari tujuh lokasi berbeda di Kabupaten Solok Selatan, menggunakan spektrometer gamma detektor *High-Purity Germanium* (HPGe). Aktivitas spesifik ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K terukur lebih tinggi pada tanah yang dekat dengan daerah geotermal.

Penelitian sebelumnya belum ada yang menyelidiki mengenai faktor transfer dan dosis efektif tahunan pada bahan pangan di daerah Geotermal Solok Selatan. Padahal, aktivitas geotermal berpotensi mempengaruhi konsentrasi radionuklida alami di dalam tanah sehingga dapat terserap oleh tanaman dan dapat menyebabkan risiko paparan radiasi internal jika dikonsumsi oleh penduduk sekitar area geotermal. Penelitian mengenai faktor transfer radionuklida dari tanah ke beras menjadi penting untuk mengevaluasi potensi paparan radiasi internal melalui beras yang dikonsumsi.

II. METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat spektrometer gamma, oven, ayakan 100 mesh, lumpang dan alu, tabung marinelli 1 liter, dan timbangan digital. Bahan yang digunakan adalah sumber standar, sampel tanah dan sampel beras yang diambil dari tanah sawah dan padi yang berada pada Kec. Sungai pagu, Kec. Pauh duo, dan Kec. Sangir di Kab. Solok Selatan.

2.1 Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu pengambilan sampel, preparasi sampel, kalibrasi spektrometer gamma, pengukuran konsentrasi radionuklida, dan pengolahan data.

2.1.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada 6 titik lokasi di tiga kecamatan, dua titik di sekitar air panas ambayan (Kec. Sungai Pagu), tiga titik di sekitar air panas sapan maluluang (Kec. Pauh Duo), dan satu titik di Kec. Sangir sebagai area studi kontrol. Titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.

2.1.2 Preparasi Sampel

Sampel tanah diambil sebanyak 2 kg pada kedalaman (5-35) cm, sampel beras diambil dari tanaman padi yang tumbuh dan berkembang pada sampel tanah. Sampel dikeringkan, dihaluskan, dan diayak. Sampel dimasukkan ke tabung marinelli dan didiamkan selama 30 hari agar ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K berada dalam kesetimbangan radioaktif dengan anak luruhnya.

2.1.3 Kalibrasi Spektrometer Gamma

Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan sumber standar radioaktif padatan yang berisi unsur radioaktif (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{133}Ba) yang diketahui aktivitasnya. Sebelum kalibrasi dilakukan, radiasi latar diukur terlebih dahulu dengan mencacah aquades yang berada di dalam tabung marinelli selama 17 jam, kemudian dilakukan pengukuran sumber standar juga selama 17 jam. Setelah pengukuran, hasil cacahan ditampilkan di komputer dengan menggunakan *software maestro*. Dari hasil cacahan dilakukan kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi.

Kalibrasi energi dilakukan dengan menentukan hubungan antara nomor salur dan energi radionuklida yang terdapat dalam sumber standar. Kalibrasi efisiensi dilakukan dengan menentukan hubungan antara efisiensi dan energi radionuklida yang terkandung dalam sumber standar. Efisiensi dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{N_{sp} - N_{BG}}{A_t P_{\gamma}} \quad (1)$$

N_{sp} adalah laju cacah sampel (cps), N_{bg} adalah laju cacah latar (cps), A_t adalah aktivitas radionuklida (Bq), dan P_{γ} adalah yield dari energi gamma (%).

2.1.4 Pencacahan Sampel

Pencacahan pada sampel tanah dan beras dilakukan menggunakan spektrometer gamma detektor HPGe. Pencacahan sampel dilakukan selama 17 jam per masing-masing sampel. Selanjutnya, dilakukan pengolahan data kemudian data dianalisis untuk mengetahui konsentrasi aktivitas radionuklida terkandung dalam sampel tersebut.

2.1.5 Pengolahan Data

Konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K pada sampel dihitung menggunakan Persamaan (2) dan Persamaan (3), ketidakpastian pengukuran dihitung menggunakan Persamaan (4), konsentrasi minimum yang dapat terdeteksi dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$C_{avg} = \frac{N_{sp} - N_{BG}}{\varepsilon_{\gamma} \cdot P_{\gamma} \cdot W_{sp}} \quad (2)$$

$$C_{sp} = C_{avg} \pm U_T \quad (3)$$

$$U_T = C_{avg} \sqrt{\left(\frac{U_N}{N_s}\right)^2 + \left(\frac{U_{\varepsilon}}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{U_{p\gamma}}{P_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{U_w}{W_{sp}}\right)^2} \quad (4)$$

$$MDC = 4,66 \cdot \frac{\sqrt{\frac{N_{BG}}{(t_{BG})^2}}}{\varepsilon_{\gamma} \cdot P_{\gamma} \cdot W_{sp}} \quad (5)$$

C_{avg} adalah konsentrasi zat radioaktif dalam sampel rata-rata (Bq/kg), W adalah massa sampel (kg), U_T adalah ketidakpastian pengukuran, U_N adalah ketidakpastian pencacahan sampel (%), U_{ε} adalah ketidakpastian efisiensi (%), $U_{P_{\gamma}}$ adalah ketidakpastian yield (%), U_W adalah ketidakpastian massa (%), MDC adalah konsentrasi minimum terdeteksi (Bq/kg), dan t_{bg} adalah waktu cacah latar (detik).

Faktor transfer dapat dihitung dengan Persamaan (6), Dosis efektif yang diterima oleh masyarakat melalui konsumsi beras dapat dihitung berdasarkan konsentrasi radionuklida yang terkandung dalam beras dengan Persamaan (7).

$$F_t = \frac{C_{sp \text{ tan aman}}}{C_{sp \text{ tanah}}} \quad (6)$$

$$D = C_{sp \text{ tan aman}} \times I \times F_k \quad (7)$$

F_t adalah faktor transfer, $C_{sp \text{ tanaman}}$ adalah konsentrasi radionuklida pada bagian tanaman yang dikonsumsi (Bq/kg), $C_{sp \text{ tanah}}$ adalah konsentrasi radionuklida dalam tanah (Bq/kg), D adalah dosis efektif yang diterima melalui konsumsi beras (mSv/tahun), I adalah jumlah rata-rata beras yang dikonsumsi setahun (tahun), dan F_k adalah faktor konversi dosis radionuklida (mSv/Bq) masing-masing nilainya untuk ^{226}Ra yaitu $0,28 \times 10^{-3}$, ^{232}Th yaitu $0,22 \times 10^{-3}$ dan ^{40}K yaitu $6,2 \times 10^{-6}$.

2.2 Analisis Data

Nilai aktivitas spesifik radionuklida pada sampel tanah yang diperoleh pada wilayah Solok Selatan kemudian ditinjau dengan nilai rata-rata dunia berdasarkan UNSCEAR (2000) yaitu 35 Bq/kg untuk ^{226}Ra , 30 Bq/kg untuk ^{232}Th dan 400 Bq/kg untuk ^{40}K . Nilai faktor transfer radionuklida pada beras ditinjau berdasarkan nilai maksimum yang ditetapkan (IAEA, 2010). Nilai dosis efektif yang diterima masyarakat setahun ditinjau berdasarkan dosis efektif maksimum yang ditetapkan UNSCEAR (2000) yaitu 1 mSv/tahun.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Aktivitas Radionuklida Alam pada Tanah dan Beras serta Faktor Transfer

Hasil pengukuran konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K pada sampel tanah dan beras serta perhitungan faktor transfer dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa unsur ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K terdeteksi pada sampel tanah dan beras rata-rata masih dalam batas aman yang ditetapkan UNSCEAR (2000). Aktivitas ^{226}Ra dan ^{40}K tertinggi terdapat pada sampel Tanah-5 yang berlokasi di daerah Koto Baru (Kec. Sungai Pagu) masing-masing sebesar $(20,89 \pm 0,85)$ Bq/kg dan $(370,92 \pm 8,89)$ Bq/kg, dan aktivitas ^{232}Th tertinggi terdapat pada sampel Tanah-4 yang berlokasi di daerah Pekonika, Kec. Pauh Duo sebesar $(33,8 \pm 1,22)$ Bq/kg. Sedangkan aktivitas ^{226}Ra , ^{40}K , dan ^{232}Th terendah terdapat pada sampel Tanah-1.

Radionuklida dalam tanah pada penelitian dipengaruhi dengan adanya area geotermal di dalam permukaan bumi seperti pada Gambar 1. Semakin dekat jarak pengambilan dengan titik-titik sumber panas bumi maka, semakin besar radionuklida yang didapatkan. Konsentrasi radionuklida tertinggi yaitu pada sampel yang berada di Kecamatan Sungai Pagu atau yang berada di sekitar mata air panas ambayan, pada gambar ditunjukkan pada daerah berwarna putih. Konsentrasi terendah berada pada Kecamatan Sangir, ditunjukkan dengan daerah sekitar pengambilan sampel berwarna hijau, hal ini karena daerah tersebut tidak dilalui jalur geotermal sehingga pada penelitian ini dijadikan sebagai area studi kontrol (pembanding).

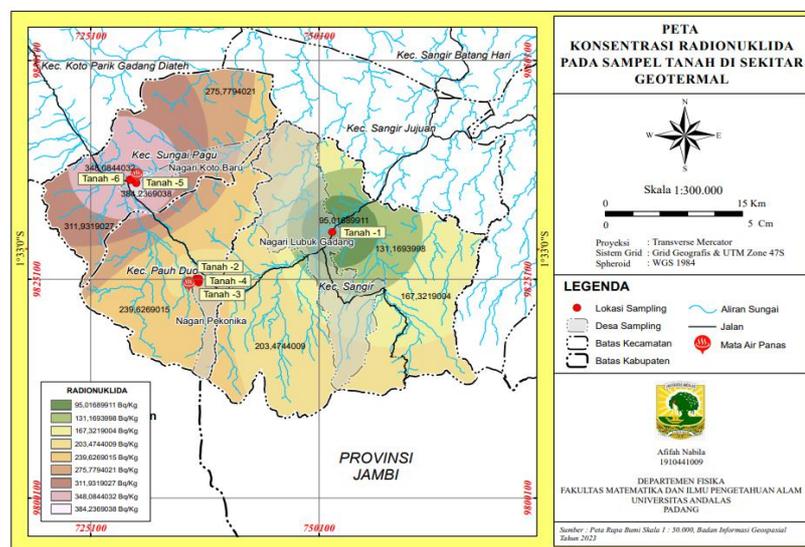
Selain itu, faktor lain yang menyebabkan adanya perbedaan hasil konsentrasi radionuklida dalam tanah, yaitu penggunaan pupuk NPK, pH tanah, dan jenis tanah. Lokasi diambilnya sampel Tanah-1 berada jauh atau ± 33 km dari wilayah geotermal yaitu di Nagari Lubuk Gadang, Kec. Sangir

merupakan area kontrol yang memiliki pH tanah basa yaitu 7,5. Lokasi diambilnya Tanah-4 dan Tanah-5 berada di jalur geotermal yaitu di sekitar sumber air panas sapan maluluang (Pauh Duo) dan ambayan (Sungai Pagu) yang memiliki pH tanah 5,5 dan 4. Nilai pH (4-6) tanah menunjukkan bahwa tanah bersifat asam. Umumnya, tanah yang berada di jalur geotermal memiliki sifat tanah asam atau pH rendah. Tanah asam menyerap lebih banyak radionuklida dari pada tanah yang bersifat basa khususnya ^{226}Ra (Asaduzzaman dkk., 2014)

Tabel 1 Konsentrasi radionuklida alam pada sampel tanah, beras serta faktor transfer

Lokasi Sampel	Jenis Sampel	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)			Faktor Transfer		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Lubuk Gadang, Kec. Sangir	Tanah-1	8,51±0,52	23,01±0,52	63,46 ±2,56			
	Beras-1	TTD	TTD	38,61±1,85	-	-	0,608
Pekonika, Kec. Pauh duo	Tanah-2	15,6±0,75	33,03±1,25	147,11±4,33			
	Beras-2	1,88±0,13	TTD	34,77±1,78	0,12	-	0,236
Pekonika, Pauh Duo	Tanah-3	18,91±0,8	32,08±0,8	236,23±6,13			
	Beras-3	TTD	TTD	39,63±1,88	-	-	0,167
Pekonika, Kec. Pauh Duo	Tanah-4	20,12±0,81	33,8±1,22	168,89±4,68			
	Beras-4	TTD	TTD	34,66±1,81	-	-	0,205
Koto Baru, Kec. Sungai Pagu	Tanah-5	20,89±0,85	28,95±1,13	370,92±8,89			
	Beras-5	116,84±0,54	TTD	42,90±2,04	5,59	-	0,096
Koto Baru, Kec. Sungai Pagu	Tanah-6	18,51±0,8	29,19±1,02	298,22±7,44			
	Beras-6	TTD	0,10±0,11	37,75±1,58	-	0,005	0,143
MDC 95%		0,67	0,51	0,42			
UNSCEAR (2000)	Tanah	32	45	420			
	Beras	67	82	310			
IAEA(2010)					0,028	0,03	0,78

Ket: TTD= tidak terdeteksi/ konsentrasi di bawah konsentrasi yang dapat terdeteksi MDC



Gambar 1 Pola penyebaran ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dalam tanah

Tabel 1 menunjukkan nilai konsentrasi radionuklida alam tertinggi untuk unsur ^{40}K terdapat pada sampel Beras-6 yaitu sebesar $(42,90 \pm 2,04)$ Bq/kg dan konsentrasi terendah terdapat pada sampel Beras-4 yaitu sebesar $(34,66 \pm 1,81)$ Bq/kg. Unsur ^{226}Ra hanya terdeteksi pada sampel Beras-2 dan Beras-5 yaitu masing-masing sebesar $(1,88 \pm 0,13)$ Bq/kg dan $(116,84 \pm 0,54)$ Bq/kg. Unsur ^{232}Th hanya pada sampel Beras-6 yaitu sebesar $(0,10 \pm 0,11)$ Bq/kg. Nilai MDC menunjukkan bahwa konsentrasi aktivitas radionuklida berada di bawah batas deteksi instrumen yang digunakan sehingga konsentrasi pada sampel tidak dapat terdeteksi. Konsentrasi ^{226}Ra dan ^{232}Th pada sampel beras nilainya relatif sangat kecil dibandingkan konsentrasi yang terdapat pada sampel tanah bahkan tidak terdeteksi, sedangkan unsur ^{40}K terdeteksi di setiap sampel beras. Unsur ^{40}K merupakan unsur yang sangat dibutuhkan untuk

pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Penyerapan dan akumulasi unsur ^{40}K dari dalam tanah yang terjadi terus menerus selama satu periode menjadi penyebab adanya konsentrasi radionuklida alam ^{40}K dalam beras di setiap sampel. Unsur ^{226}Ra dan ^{232}Th yang terdapat dalam tanah sulit untuk diserap oleh beras selama masa pertumbuhan dan perkembangannya kecuali unsur ^{226}Ra pada sampel Beras-5. Hal ini disebabkan oleh perbedaan lokasi, sifat fisik tanah dan padi, kondisi dan jumlah iklim, serta jenis pupuk (NPK) yang digunakan (Karunakara dkk., 2013). Ketersediaan kalsium dan kalium dalam tanah untuk diserap akan mempengaruhi kandungan ^{226}Ra .

Menurut prinsip rasio konsentrasi, konsentrasi radionuklida pada tanaman seharusnya mencerminkan konsentrasi radionuklida pada tanah. Namun, hal ini tidak selalu benar, karena sistem penyerapan pada tanah. Radionuklida yang memiliki sifat kimia yang sama dapat diserap, dan beberapa mungkin tidak dapat diserap secara selektif. Perbedaan faktor transfer pada lahan pertanian mungkin disebabkan oleh sifat-sifat tanah seperti komposisi mineralogi dan granulometri, kandungan bahan organik, pH, kondisi hidrologi di dalam tanah. Faktor transfer juga dipengaruhi oleh potensi tanah, teknologi budidaya tanam, durasi periode pertumbuhan dan karakteristik penyebaran akar di dalam tanah. Parameter-parameter tersebut dapat mengubah sifat-sifat tanah, atau menyebabkan redistribusi radionuklida di zona perakaran, sehingga mengubah serapan radionuklida pada tanaman (Asaduzzaman dkk., 2014).

Berdasarkan Tabel 1, faktor transfer untuk unsur ^{226}Ra yaitu sebesar 0,12 dan 5,59 pada sampel beras masing masing Beras-2 dan Beras-5. Nilai faktor transfer unsur ^{232}Th yaitu sebesar 0,005 pada sampel Beras-6. Nilai faktor transfer untuk unsur ^{40}K berkisar antara 0,096 – 0,608. Faktor transfer dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi radionuklida yang ada pada beras dengan konsentrasi radionuklida yang ada pada tanah. Pada sampel Beras-5 terdapat konsentrasi unsur ^{226}Ra tertinggi, sehingga faktor transfer unsur ^{226}Ra tertinggi dibanding faktor transfer unsur ^{232}Th dan ^{40}K . Nilai faktor transfer untuk unsur ^{232}Th dan ^{40}K didapatkan berada di batas maksimum yang ditentukan IAEA (2010) kecuali pada unsur ^{226}Ra yang didapatkan melebihi dari yang ditentukan yaitu 0,028. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh faktor geologi tempat tumbuhnya tanaman tersebut dan kemampuan tanaman untuk menyerap ^{226}Ra . Selain itu Tanah-5 memiliki pH lebih kecil dibanding lokasi sampel yang lain yaitu 4. Tanah asam menyerap lebih banyak radionuklida dari pada tanah yang bersifat basa khususnya ^{226}Ra yang tidak dapat dihindari pada tanah bersifat asam (Asaduzzaman dkk., 2014).

3.2 Dosis Internal yang Diterima Penduduk dalam Satu Tahun

Setelah didapatkan nilai aktivitas spesifik ^{226}Ra , ^{232}Th , dan ^{40}K pada sampel beras yang diserap dari dalam tanah selama masa pertumbuhan dan perkembangannya, maka dapat dihitung nilai dosis efektif internal perorangan dengan mengestimasi bahwa masyarakat dapat mengonsumsi beras 91,056 kg/kapita/tahun berdasarkan data BPS tahun 2022 (BPS, 2022).

Tabel 2 Dosis internal penduduk Solok Selatan

No.	Kode Sampel	Dosis efektif internal perorangan (mSv/tahun)		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
1.	Beras-1	-	-	0,021
2.	Beras-2	0,047	-	0,019
3.	Beras-3	-	-	0,022
4.	Beras-4	-	-	0,019
5.	Beras-5	2,978	-	0,020
6.	Beras-6	-	0,002	0,024
(UNSCEAR, 2000)		1		

Data pada Tabel 1 dosis efektif internal untuk unsur ^{226}Ra tertinggi yaitu sebesar 2,978 mSv/tahun, dosis efektif untuk unsur ^{232}Th yaitu sebesar 0,002 mSv/tahun dan dosis efektif tertinggi untuk unsur ^{40}K yaitu sebesar 0,024 mSv/tahun. Nilai dosis efektif dari semua unsur yang diperoleh semuanya masih berada jauh di bawah nilai batas ambang yang telah ditetapkan oleh yaitu 1 mSv/tahun, kecuali pada unsur ^{226}Ra yang terdapat pada sampel Beras-5. Dosis efektif dipengaruhi oleh beberapa parameter salah satunya konsentrasi radionuklida alam dalam beras. Konsentrasi unsur ^{226}Ra pada

sampel Beras-5 didapatkan jauh lebih tinggi dibanding sampel lain dan ditetapkan UNSCEAR (2000) yaitu $(116,84 \pm 0,54)$ Bq/kg sehingga ketika diakumulasikan menggunakan Persamaan (7) didapatkan hasil dosis efektif jauh lebih tinggi. Hal ini juga disebabkan oleh daya serap tanaman untuk menyerap radionuklida alam pada tanah berbeda-beda.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat transfer radionuklida alam dari tanah ke beras. Unsur ^{40}K tertransfer dari tanah ke beras di setiap sampel dibandingkan unsur ^{226}Ra dan ^{232}Th yang tidak terdeteksi di setiap sampel. Paparan radiasi internal melalui konsumsi beras di wilayah Geotermal Solok Selatan masih berada dalam batas yang dapat diterima dan tidak melebihi yang ditetapkan oleh UNSCEAR yaitu 1 mSv/tahun, kecuali pada sampel Beras-5 yang berlokasi di daerah Koto Baru yang memiliki dosis internal sebesar 2,978 mSv/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambalnggi. (2017). Penentuan Konsentrasi dan Nilai Faktor Transfer Radionuklida Alam dari Tanah ke Kopi Toraja Menggunakan Spektrometer Gamma. *BMC Public Health*, 5(1).
- Arif. (2015). Interpretasi Konsentrasi Radionuklida Alam Dalam Bata Merah Dan Semen Menggunakan Spektrometer Gamma. *Jurnal Ilmiah - Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin*, 1(1).
- Asaduzzaman, Kh., Khandaker, Mayeen Uddin., Amin, Y.M., Bradley, D.A., Mahat, R.H, Nor, R. (2014). Soil-to-root vegetable transfer factors for in Malaysia Th , K , and. *Journal of Environmental Radioactivity*, 135, 120–127.
- Aswood, M. S., Jaafar, M. S., & Bauk, S. (2013). Assessment of Radionuclide Transfer from Soil to Vegetables in Farms from Cameron Highlands and Penang, (Malaysia) Using Neutron Activation Analysis. *Applied Physics Research*, 5(5).
- Badan Pusat Statistik. (2021). Luas areal Penanaman dan Hasil Pertanian Solok Selatan 2021. <https://sumbar.bps.go.id/indicator/53/276/1/luas-panen-produksi-dan-produktivitas-padi-menurut-kabupaten-kota-hasil-kerangka-sampel-area-ksa-.html>.
- BPS. (2022). Rata-rata Konsumsi Perkapita Seminggu Menurut Kelompok Padi-Padian Per Kabupaten/Kota (Satuan Komoditas) 2021-2022. <https://www.bps.go.id/indicator/5/2094/1/rata-rata-konsumsi-perkapita-seminggu-menurut-kelompok-padi-padian-per-kabupaten-kota.html>
- Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023, Potensi Panas Bumi Sumatra Barat.(2023). <https://ppid.sumbarprov.go.id/home/details/13530>
- Erwan, Abdullah, B., & Dewang, Syamsir, S. (2017). Penentuan Konsentrasi dan Nilai Faktor Transfer Radionuklida Alam (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) dari Tanah Sawah ke Beras menggunakan Spektrometer Gamma. Universitas Hasanuddin.
- Goff, F.E., dan Janik, C.J. (2000). *Encyclopedia of Volcanoes: Geothermal System*.
- IAEA. (2010). Review of “Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments.” *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(2).
- Karunakara, N., Rao, C., Ujwal, P., Yashodhara, I., Kumara, S., & Ravi, P. M. (2013). Soil to rice transfer factors for ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{40}K and ^{137}Cs : A study on rice grown in India. *Journal of Environmental Radioactivity*, 118, 80–92.
- Saptadji, N. M. (2005). *Teknik Panasbumi*. ITB.
- Shabila, N. K. (2021). Penentuan Konsentrasi Aktivitas Radionuklida pada Tanah dan Bahaya Kesehatan Radiologi di Daerah Geotermal, Solok Selatan.
- Tabar, E., Kumru, M. N., İçhedef, M., & Saç, M. M. (2013). Radioactivity level and the measurement of soil gas radon concentration in Dikili geothermal area, Turkey. *International Journal of Radiation Research*, 11(4).
- UNSCEAR. (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation. In United Nations 47 Publication (Vol. 1, Nomor 4).
- Yu, K. N., & Mao, S. Y. (1999). Assessment of radionuclide contents in food in Hong Kong. *Health Physics*, 77(6), 686–696.