

Pengukuran Konsentrasi Gas Radon (^{222}Rn) dan Thoron (^{220}Rn) Menggunakan Detektor CR-39 Pada Rumah Penduduk Di Nagari Alam Pauh Duo, Solok Selatan

Pahrudin^{1*}, Dian Milvita¹, Wahyudi²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

²Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Organisasi Riset Tenaga Nuklir,
Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan, 12440

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 18 April 2022

Direvisi: 10 Juni 2022

Diterima: 30 Juni 2022

Kata kunci:

CR-39

Dosis efektif

Konsentrasi gas

Gas radon

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) dan gas thoron (^{220}Rn) menggunakan metode pasif CR-39 pada rumah penduduk di Nagari Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. Pengukuran bertujuan untuk mengetahui dosis efektif yang diterima oleh penduduk di daerah tersebut. Pengukuran gas radon dan gas thoron dilakukan menggunakan 50 buah detektor CR-39 yang dipasang pada 3 lokasi selama 3 bulan. Hasil pengukuran konsentrasi gas radon terkecil yaitu $7 \pm 0,50 \text{ Bq/m}^3$ sampai dengan yang terbesar yaitu $37 \pm 2,65 \text{ Bq/m}^3$ dengan rata-rata $14 \pm 0,99 \text{ Bq/m}^3$, sedangkan konsentrasi gas thoron yang terkecil yaitu $3 \pm 0,18 \text{ Bq/m}^3$ dan yang terbesar yaitu $25 \pm 1,78 \text{ Bq/m}^3$ dengan rata-rata $6,25 \pm 0,45 \text{ Bq/m}^3$. Hasil konsentrasi gas radon dan gas thoron yang didapatkan masih di bawah batas yang direkomendasikan oleh UNSCEAR tahun 2008 yaitu 300 Bq/m^3 . Estimasi dosis efektif yang diterima penduduk akibat paparan gas radon dan gas thoron yaitu $0,94 \text{ mSv/tahun}$ dan $0,63 \text{ mSv/tahun}$. Nilai dosis efektif yang didapatkan tidak melebihi ambang batas yang telah direkomendasikan oleh PERKA BAPETEN No. 4 pasal 23 ayat 1 tahun 2013 yaitu 1 mSv/tahun .

Keywords:

CR-39

Effective dose

Gas concentration

Radon gas

The concentration of radon gas (^{222}Rn) and thoron gas (^{220}Rn) has been measured using the passive method CR-39 in people's houses in Nagari Alam Pauh Duo, South Solok Regency. The measurement aims to determine the effective dose received by the population in the area. Measurements of radon gas and thoron gas were carried out using 50 CR-39 detectors installed at 3 locations for 3 months. The results of the measurement of the smallest radon gas concentration were $7 \pm 0.50 \text{ Bq/m}^3$ to the largest $37 \pm 2.65 \text{ Bq/m}^3$ with an average of $14 \pm 0.99 \text{ Bq/m}^3$, while the smallest thoron gas concentration was $3 \pm 0.18 \text{ Bq/m}^3$ and the largest is $25 \pm 1.78 \text{ Bq/m}^3$ with an average of $6 \pm 0.45 \text{ Bq/m}^3$. The results of the concentration of radon gas and thoron gas obtained are still below the limit recommended by UNSCEAR in 2008 which is 300 Bq/m^3 . The estimated effective doses received by the population due to exposure to radon gas and thoron gas are 0.94 mSv/year and 0.63 mSv/year . The effective dose value obtained does not exceed the threshold recommended by PERKA BAPETEN No. 4 article 23 paragraph 1 of 2013 which is 1 mSv/year .

Penulis Korespondensi:

Pahrudin

Email: pahrudinputra150498@gmail.com

Copyright © 2022 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan potensi energi panas bumi terbesar di dunia. Panas bumi merupakan energi terbarukan dan ramah lingkungan, memiliki potensi yang besar dan perlu ditingkatkan kontribusinya untuk mencukupi kebutuhan energi domestik yang dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap sumber energi fosil yang semakin menipis. Indonesia memiliki potensi energi panas bumi sebesar 23.765,5 MWe tersebar di 357 lokasi mengikuti jalur pembentukan gunung api yang membentang dari Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi sampai Maluku (ESDM, 2021).

Solok Selatan merupakan salah satu daerah dengan potensi panas bumi terbesar di Sumatera Barat dengan kapasitas listrik sekitar 85 MW (EBTKE, 2020). Panas bumi dapat dijadikan sebagai Pembangkit Listrik menggunakan uap sebagai penggerak turbin. Industri yang mengolah sumber daya alam sebagai bahan baku dapat menyebabkan radioaktif alam yang terkandung di dalam kulit bumi terakumulasi pada limbah dan produk utama dari industri tersebut sehingga terjadi peningkatan paparan radiasi dari keadaan sebelumnya yang disebut dengan *Tecnologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials* (TENORM). Radionuklida yang terkandung di dalam TENORM diantaranya ^{226}Ra akan meluruh menghasilkan gas radon (^{222}Rn) yang berbahaya bagi kesehatan.

Gas radon (^{222}Rn) merupakan radionuklida berumur pendek yang melepaskan partikel alfa di udara sehingga mudah terhirup oleh saluran pernapasan. Proses peluruhan gas radon berlangsung di dalam paru-paru dengan memancarkan radiasi pengion yang dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan paru-paru (Wahyudi dkk., 2019). Kerusakan pada paru-paru akibat paparan gas radon (^{222}Rn) juga dapat disebabkan oleh inhalasi dari partikel ^{218}Po , ^{214}Bi dan ^{214}Po yang merupakan anak luruhan dari ^{226}Ra dan ^{232}Th .

Pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) dan gas thoron (^{220}Rn) dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode pasif dan metode aktif. Metode pasif merupakan pengukuran yang membutuhkan waktu jangka panjang menggunakan CR-39, sedangkan metode aktif membutuhkan waktu jangka pendek menggunakan RAD7. Penelitian menggunakan metode pasif untuk pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) telah dilakukan oleh Ciolini and Mazed (2010) pada bangunan sekolah yang berada di daerah panas bumi di negara Italia bagian tengah. Pengukuran dilakukan pada tempat yang berbeda yaitu daerah Larderello dan Monte Pisano. Hasil pengukuran didapatkan bahwa konsentrasi gas radon (^{222}Rn) di daerah Larderello yaitu 98 Bq/m^3 dan 43 Bq/m^3 di daerah Monte Pisano, konsentrasi gas radon (^{222}Rn) yang diukur jauh di bawah ambang batas yang di rekomendasikan oleh ICRP publikasi 65 tahun 1993 yaitu sebesar 1500 Bq/m^3 . Kondisi dan bentuk bangunan menjadi faktor yang mempengaruhi rendahnya konsentrasi gas radon (^{222}Rn) di kedua daerah tersebut, bukan karena keberadaan pembangkit listrik tenaga panas bumi.

Penelitian menggunakan metode aktif dengan detektor RAD7 juga dilakukan oleh Prasetio dkk. (2020) di daerah panas bumi Tampomas, Jawa Barat. Hasil penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa konsentrasi gas radon (^{222}Rn) yang berada di sekitar Gunung Tampomas berkisar $825\text{-}7688 \text{ Bq/m}^3$ lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ciolini and Mazed (2010) dengan metode pasif. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Rahman dkk. (2012) menyatakan bahwa konsentrasi gas radon (^{222}Rn) lebih tinggi di dalam ruangan yang tertutup tanpa ventilasi udara yang cukup. Penelitian terkait pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) di dalam rumah pada daerah panas bumi merupakan suatu hal yang perlu diperhatikan mengingat daerah panas bumi memiliki konsentrasi gas radon yang tinggi yang terdapat pada tanah, batuan, dan manifestasi air panas yang keluar akibat terjadinya peningkatan temperatur dari kerak bumi.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai konsentrasi dan dosis efektif gas radon (^{222}Rn) dan gas thoron (^{220}Rn) yang diterima oleh penduduk di Nagari Alam Pauh Duo, Solok Selatan. Adapun analisis dalam penelitian ini menggunakan rekomendasi dari UNSCEAR tahun 2008 untuk menentukan batas ambang dalam mengukur konsentrasi gas radon dan gas thoron, sedangkan dosis efektif yang diterima oleh penduduk dianalisis menggunakan (PERKA Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2013).

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dosimeter radon-thoron pasif, mikroskop optik, disikator elektrik, *ultrasonic vibration*, *oven* dan spektrometer gamma. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan NaOH 6,25 N, aquades, tali, paku, kaca preparat, sampel tanah, klep, lem *araldhite*, dan sumber standar gamma campuran.

2.2 Teknik Penelitian

2.2.1 Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini tahap utama yang dipersiapkan adalah mengurus perizinan penelitian dan persiapan alat yang akan digunakan. Pada tahap perizinan dilakukan dengan mendapatkan izin dari Wali Nagari dan Kepala Kampung yang ada di Nagari Alam Pauh Duo, Solok Selatan. Setelah mendapatkan perizinan penelitian, maka langkah selanjutnya adalah mempersiapkan alat yang akan digunakan dalam penelitian. Salah satu alat yang digunakan, yaitu dosimeter radon-thoron pasif yang dipinjam dari Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional sebanyak 50 buah.

2.2.2 Tahap Pengambilan Sampel

Pemasangan dosimeter radon-thoron pasif dilakukan dengan cara digantung selama 3 bulan di dalam rumah penduduk. Sebelum digantung dosimeter radon-thoron pasif diberi tanda/kode untuk memudahkan dalam proses pengolahan data. Setelah dosimeter digantung selama 3 bulan, selanjutnya dosimeter diambil dan dimasukkan ke dalam plastik agar tidak terkena paparan radiasi dari lokasi lainnya. Kemudian dosimeter radon-thoron pasif dikirim ke Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTKMR-ORTN BRIN) untuk dilakukan tahap pengetsaan dan pembacaan jejak partikel alfa.

2.2.3 Tahap Pengetsaan dan Pembacaan Jejak

Pada tahap ini detektor CR-39 yang terdapat di dalam dosimeter radon-thoron pasif dipisahkan kemudian dilakukan proses pengetsaan dan pembacaan jejak. Pada tahap pengetsaan dilakukan proses kimia dengan cara memasukkan larutan NaOH 6,25 N ke dalam *staining jar* yang sudah berisi detektor CR-39, kemudian *staining jar* dipanaskan dengan menggunakan *oven* selama 7 jam pada temperatur 70°C. Detektor CR-39 dibersihkan dari larutan NaOH menggunakan *aquadest* dan dicuci kembali menggunakan *ultrasonic vibration*. Setelah dibersihkan, selanjutnya detektor CR-39 dikeringkan dengan menggunakan *disikator elektrik*. Selanjutnya dilakukan proses pembacaan jejak partikel alfa menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 400 kali.

2.2.4 Tahap Pengolahan Data

Jumlah jejak partikel alfa pada detektor CR-39 digunakan untuk menghitung konsentrasi gas radon dan gas thoron menggunakan Persamaan (1) dan (2).

$$C_{Rn} = \frac{N_T - N_B}{E_{Rn} \times t} \quad (1)$$

$$C_{Th} = \frac{N_T - N_B}{E_{Rn} \times t} \quad (2)$$

dengan keterangan C_{Rn} adalah konsentrasi gas radon (Bq/m^3), C_{Th} adalah konsentrasi gas thoron (Bq/m^3), N_T adalah jumlah jejak total (jejak/ mm^2), N_B adalah jumlah jejak latar (jejak/ mm^2), E_{Rn} adalah efisiensi detektor untuk gas radon [(jejak/5,0625 mm^2)/ Bq/m^3 hari], E_{Th} adalah efisiensi untuk gas thoron [(jejak/5,0625 mm^2)/ Bq/m^3 hari], dan t adalah waktu paparan (hari). Hasil pengukuran konsentrasi gas radon dan gas thoron dianalisis kemudian dibandingkan dengan nilai yang sudah ditetapkan oleh UNSCEAR tahun 2008 yaitu 300 Bq/m^3 . Selanjutnya dilakukan pengukuran dosis efektif gas radon dan gas thoron yang diterima oleh penduduk dengan menggunakan Persamaan (3) dan (4).

$$DE_{Rn} = FKD_{Rn} \times F \times T \times C_{Rn} \quad (3)$$

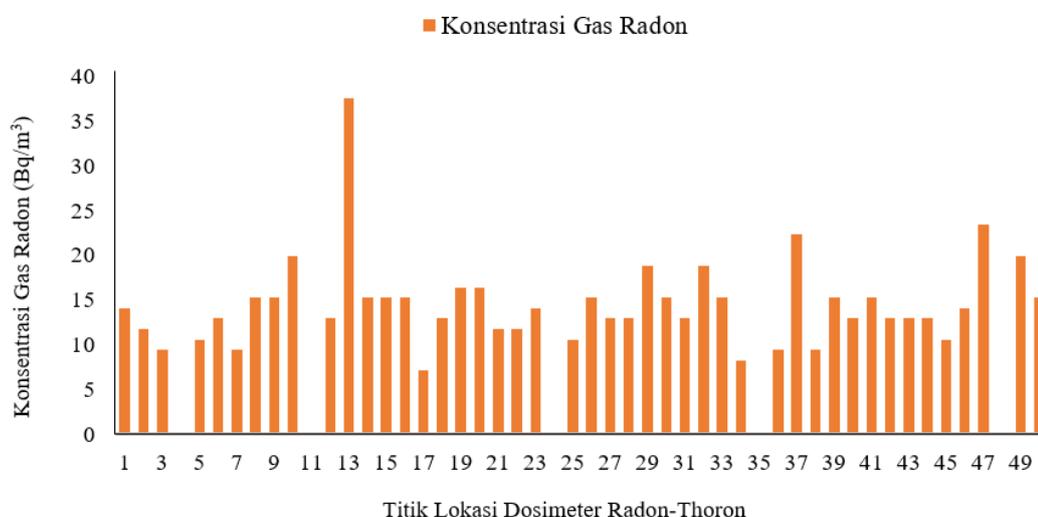
$$DE_{Th} = FKD_{Th} \times F \times T \times C_{Th} \quad (4)$$

dengan keterangan DE_{Rn} adalah dosis efektif gas radon (mSv/tahun), DE_{Th} adalah dosis efektif gas thoron (mSv/tahun), FKD_{Rn} adalah faktor konversi dosis radon (9 nSv/Bqm-3 jam), FKD_{Th} adalah konsentrasi faktor konversi dosis thoron (4 nSv/Bqm-3 jam), F adalah faktor kesetimbangan gas radon (0,4) dan thoron (0,1), T adalah lama waktu pemaparan (jam/tahun), C_{Rn} adalah konsentrasi gas radon (Bq/m^3) dan C_{Th} adalah konsentrasi gas thoron (Bq/m^3). Hasil pengukuran dosis efektif gas radon dan gas thoron dianalisis kemudian dibandingkan dengan nilai yang sudah ditetapkan oleh PERKA BAPETEN No. 4 tahun 2013 yaitu 1 mSv/tahun.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Konsentrasi Gas Radon (^{222}Rn)

Konsentrasi gas radon dalam rumah penduduk di Nagari Alam Pauh Duo, Solok Selatan dapat diketahui setelah menghitung jumlah jejak partikel alfa yang terdapat pada detektor CR-39. Jumlah jejak partikel alfa yang terdapat pada detektor CR-39 kemudain dimasukkan ke dalam Persamaan (1) dan diplot ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 1.

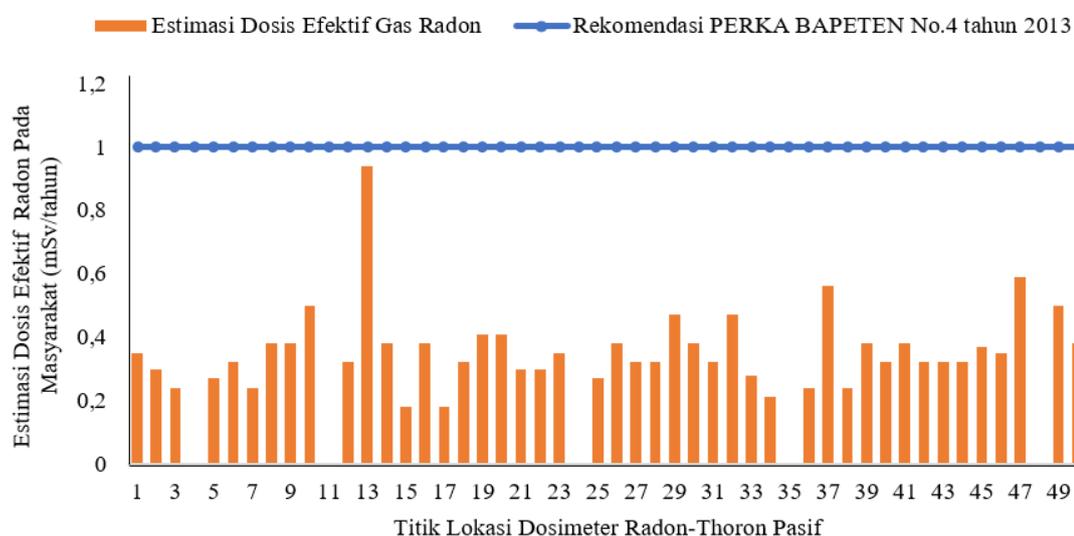


Gambar 1 Grafik Konsentrasi Gas radon (^{222}Rn) pada rumah penduduk di Nagari Alam Pauh Duo

Berdasarkan Gambar 1 didapatkan grafik hasil pengukuran konsentrasi gas radon dalam rumah penduduk di Nagari Alam Pauh Duo, Solok Selatan dengan rentang nilai $7 \pm 0,50 Bq/m^3$ sampai $37 \pm 2,62 Bq/m^3$. Konsentrasi gas radon terendah berada pada lokasi No. 15 yaitu $7 \pm 0,50 Bq/m^3$ sedangkan untuk konsentrasi tertinggi berada pada lokasi No. 13 yaitu $37 \pm 2,62 Bq/m^3$. Secara keseluruhan rata-rata nilai konsentrasi gas radon, yaitu $14 \pm 0,99 Bq/m^3$. Hasil pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) yang didapatkan masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh UNSCEAR tahun 2008 yaitu sebesar $300 Bq/m^3$. Hasil ini juga sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Ciolini and Mazed (2010). Besarnya konsentrasi gas radon yang berada dalam ruangan pada umumnya dipengaruhi oleh kondisi geologi tempat pengukuran, tipe rumah, sistem pertukaran udara dalam ruangan dan jenis bahan bangunan yang digunakan (Yufita, 2013). Bentuk rumah yang berada di lokasi penelitian pada umumnya terbuat dari batu bata merah yang sudah dilapisi dengan semen dan cat, pemberian plester dan cat pada permukaan dinding mampu menurunkan laju lepasan radon pada ruangan yaitu sebesar 38% - 72% karena porositas permukaan pada dinding mengecil (Bunawas dkk., 1996). Selain itu, ventilasi udara yang cukup juga memungkinkan terjadinya pertukaran udara yang cepat di dalam ruangan. Hal ini kemungkinan yang menyebabkan konsentrasi gas radon yang terperangkap dalam ruangan menurun.

3.2 Estimasi Dosis Efektif Gas Radon

Estimasi dosis efektif yang diterima oleh penduduk dapat dihitung menggunakan Persamaan (3). Dalam persamaan tersebut terdapat waktu yang digunakan oleh penduduk untuk beraktivitas dalam rumah selama satu tahun. Adapun waktu yang dibutuhkan oleh penduduk untuk beraktivitas di dalam rumah selama satu tahun yaitu sekitar 7000 jam/tahun. Nilai estimasi dosis efektif gas radon yang diterima oleh penduduk dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik estimasi dosis efektif pada penduduk

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa dosis efektif yang diterima oleh penduduk berkisar antara 0,18 - 0,94 mSv/tahun. Dosis efektif tertinggi berada pada titik lokasi nomor 13 dengan nilai 0,94 mSv/tahun, hal ini disebabkan karena titik tersebut memiliki nilai konsentrasi gas radon yang tinggi. Secara keseluruhan nilai dosis efektif gas radon (^{222}Rn) di dalam ruangan lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ciolini dan Mazed (2010). Nilai dosis efektif yang didapatkan dipengaruhi juga oleh tinggi-rendahnya konsentrasi gas radon dan lamanya penduduk beraktivitas di dalam rumah. Rata-rata penduduk di lokasi penelitian lebih banyak menghabiskan waktu di dalam rumah dikarenakan daerahnya berada pada dataran tinggi yang sering terjadi hujan. Hasil pengukuran yang didapatkan masih di bawah ambang batas yang direkomendasikan oleh PERKA BAPETEN No. 4 tahun 2013 yaitu sebesar 1 mSv/tahun.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi gas radon (^{222}Rn) pada rumah penduduk di Nagari Alam Pauh Duo, Solok Selatan berada dalam rentang nilai $7 \pm 0,50 \text{ Bq/m}^3$ sampai dengan $37 \pm 2,65 \text{ Bq/m}^3$. Nilai konsentrasi gas radon (^{222}Rn) yang didapatkan tidak melebihi ambang batas yang direkomendasikan oleh UNSCEAR tahun 2008. Estimasi dosis efektif gas radon (^{222}Rn) yang diterima penduduk berada dalam rentang nilai 0,18 mSv/tahun sampai dengan 0,94 mSv/tahun, nilai ini masih di bawah batas yang diperbolehkan oleh PERKA BAPETEN No. 4 tahun 2013.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Sub Bidang Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian bisa berjalan dengan lancar. Terima kasih juga untuk semua pihak yang terlibat selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (2013) 'Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir', Republik Indonesia.
- Bunawas, Emlinarti and Afandi, M. (1996) 'Penentuan Laju Lepas Radon dari Bahan bangunan Menggunakan Metode Pasip dengan Detektor Jejak Nuklir', Presiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, pp. 16–21.
- Ciolini, R. and Mazed, D. (2010) 'Indoor radon concentration in geothermal areas of central Italy', *Journal of Environmental Radioactivity*, 101(9), pp. 712–716. doi: 10.1016/j.jenvrad.2010.04.012.
- Prasetyo, R., Laksmiandipuri, N. and Pujiandiyati, E. R. (2020) 'Konsentrasi Radon-222 dalam Gas Tanah untuk Deteksi Distribusi Permeabilitas di Daerah Panas Bumi Tampomas, Jawa Barat', *Eksplorium*, 41(1), p. 53. doi: 10.17146/eksplorium.2020.41.1.5642.
- Rahman, S. U. et al. (2012) 'Monitoring of indoor radon levels around an oil refinery using CR-39-based radon detectors', *Indoor and Built Environment*, 21(3), pp. 452–457. doi: 10.1177/1420326X11410583.
- Wahyudi, W. et al. (2019) 'Analisis Dosis Radiasi Alam Dari Paparan Radon Dan Radiasi Gamma Di Rumah Penduduk Di Kalimantan Barat', *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*, 22(2), p. 63. doi: 10.17146/gnd.2019.22.2.5094.
- Yufita, E. (2013) 'Identifikasi Kandungan Radon (Rn-222) pada Bahan Bangunan Batu Bata di Kawasan Aceh Besar', *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 01(02), pp. 207–214.
- EBTKE (2020) Upaya Gigih Pengembangan Panas Bumi, PLTP Muara Laboh Kini Beroperasi, Humas EBTKE. Available at: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/02/20/2481/upaya.gigih.pengembangan.panas.bumi.pltp.muara.laboh.kini.beroperasi> (Accessed: 21 September 2021).
- ESDM (2021) Badan Geologi Kementerian ESDM dan PT Geo Dipa Energi (Persero) Tandatangani Nota Kesepahaman Terkait Panas Bumi, Humas EBTKE. Available at: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/08/31/2948/badan.geologi.kementerian.esdm.dan.pt.geo.di.pa.energi.persero.tandatangani.nota.kesepahaman.terkait.panas.bumi> (Accessed: 21 September 2021).