



Pemetaan Metode Pengukuran Radon (^{222}Rn) di Indonesia: Tinjauan Literatur dan Prospek Masa Depan

Bagus Sidik Waskito Hadi^{a*}, Mustafid Amna Rambeya

^aProgram Studi Teknik Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

* Korespondensi penulis: bagusidik@polmed.ac.id (B.S.W. Hadi) Tel.: +628979461267

Sorotan

- Gas radon (^{222}Rn) berbahaya bagi kesehatan
- Konsentrasi gas tinggi menyebabkan kanker paru-paru
- Metode pengukuran gas radon menggunakan International Commission on Radiological Protection

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 26 Maret 2025
Direvisi pada 11 April 2025
Disetujui pada 08 Mei 2025
Tersedia daring pada 31 Mei 2025

Kata kunci:

Gas radon (^{222}Rn), konsentrasi gas, metode pengukuran gas radon

Keywords:

Radon gas (^{222}Rn), gas measurement, methods of gas radon concentration measurements.

ABSTRAK

Gas radon (^{222}Rn) adalah unsur kimia radioaktif yang tidak memiliki warna, bau, dan rasa sehingga sulit dideteksi tanpa menggunakan alat deteksi radiasi pada temperatur ruangan. Gas radon adalah penyebab kedua setelah rokok yang berkontribusi terhadap 3-14% kasus kanker paru-paru yang ada di dunia. Gas radon yang memiliki dampak berbahaya bagi Kesehatan ini, jika digunakan dengan baik dalam dunia penelitian memiliki beberapa manfaat; antara lain sebagai data sumber endapan uranium yang ada di dalam tanah, sebagai alat bantu acak massa air dan udara di dalam tanah yang mengalami pergerakan akibat adanya dinamika patahan geologi dan sistem panas bumi, sebagai alat bantu acak dinamika interaksi air tanah dan air di permukaan dalam bidang geologi, sebagai salah satu sumber gejala-gejala awal untuk memprediksi gempa tektonik. Di Indonesia telah dilakukan penelitian-penelitian mengenai radiasi gas radon, manfaat serta dampak bahaya dalam kehidupan masyarakat. Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya alam yang cukup terkait bahan bakar nuklir dalam bentuk Uranium dan Thorium. Untuk Uranium terdapat sekitar 90 ribu ton dan Thorium sekitar 140 ribu ton. Unsur-unsur ini akan meluruh menjadi gas radon yang memiliki dampak besar bagi kehidupan manusia. Tinjauan literatur ini bertujuan sebagai pemetaan metode pengukuran radiasi gas radon yang telah dilakukan dan tersebar di seluruh Indonesia serta prospek penelitian radon di masa depan sesuai dengan standar rekomendasi International Commission on Radiological Protection (ICRP).

ABSTRACT

Radon gas (^{222}Rn) is a chemical radioactive element that is difficult to detect at ambient temperature without a radiation detector since it is colorless, odorless, and tasteless. After cigarettes, which cause 3-14% of cases worldwide, radon gas is the second most common cause of lung cancer. In the field of geology, radon gas, which is harmful to human

health, can also be used to gather data on uranium deposits in the soil, as a random aid for water and air masses in the soil that move as a result of geological fault and geothermal system dynamics, as a random aid for the dynamics of groundwater and surface water interactions, and as one source of early symptoms to predict tectonic earthquakes. Studies on radon have been carried out in Indonesia to determine its effects and advantages. The natural resources of uranium and thorium, which are used as nuclear fuel, are abundant in Indonesia. There are roughly 90 thousand tons of uranium and 140 thousand tons of thorium. These substances will decompose into radon gas, which is extremely harmful to human health. Research and techniques for measuring radon gas radiation have been conducted all over Indonesia, according to this journal review. The purpose of this publication is to examine the state of radon gas measurement development and its effects on health in relation to the International Commission on Radiological Protection's (ICRP) suggested criteria.

1. Pendahuluan

Gas radon (^{222}Rn) adalah unsur kimia radioaktif yang tidak memiliki warna, bau, dan rasa sehingga sulit dideteksi tanpa menggunakan alat deteksi radiasi pada temperatur ruangan. tetapi jika didinginkan hingga membeku maka radon akan memiliki warna kuning dan radon cair berwarna jingga. Pada tabel periodik, gas radon memiliki nomor atom 86, nomor massa 222, dan masuk dalam golongan gas mulia VIIIA. Radon memiliki titik beku 202 K, titik didih 211.3 K, energi panas 3.24 kJ/mol, energi penguapan 18.10 kJ/mol, jari-jari atom 120 pm dan jari-jari kovalen 145 pm. Gas Radon (^{222}Rn) merupakan sumber radiasi utama di dalam ruangan yang berasal dari peluruhan Uranium yang memiliki waktu paro 8.82 hari [1], [2]. Radon dihasilkan dari proses emanasi, difusi, adveksi, absorpsi dan ekshalasi dari batuan dan tanah yang ada di bumi [3]. Berdasarkan World Health Organization (WHO), Gas radon adalah penyebab kedua setelah rokok yang berkontribusi terhadap 3-14% kasus kanker paru-paru yang ada di dunia. [4]. Untuk menghindari dampak Kesehatan yang ditimbulkan akibat paparan radiasi gas radon, *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) merekomendasikan standar paparan radiasi radon yaitu 300 Bq/m³ [5].

Gas radon yang memiliki dampak berbahaya bagi kesehatan, jika dimanfaatkan dengan baik memiliki beberapa manfaat; antara lain sebagai data sumber endapan uranium yang ada di dalam tanah, sebagai alat bantu acak massa air dan udara di dalam tanah yang mengalami pergerakan akibat adanya dinamika patahan geologi dan sistem panas bumi, sebagai alat bantu acak dinamika interaksi air tanah dan air di permukaan dalam bidang geologi, sebagai salah satu sumber gejala-gejala awal untuk memprediksi gempa tektonik, sebagai indikator adanya suatu patahan dalam sistem panas bumi maupun untuk mempelajari dinamika interaksi air tanah dengan air permukaan [6-10].

Di Indonesia telah dilakukan penelitian-penelitian mengenai radiasi gas radon, manfaat serta dampak bahaya dalam kehidupan masyarakat. Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya alam yang cukup terkait bahan bakar nuklir dalam bentuk Uranium dan Thorium. Untuk Uranium terdapat sekitar 90 ribu ton dan Thorium sekitar 140 ribu ton. Unsur-unsur ini akan meluruh menjadi gas radon yang memiliki dampak besar bagi kehidupan manusia. Tinjauan literatur ini bertujuan sebagai pemetaan metode pengukuran radiasi gas radon yang telah dilakukan dan tersebar di seluruh Indonesia serta prospek penelitian radon di masa depan sesuai dengan standar rekomendasi *International Commission on Radiological Protection* (ICRP).

2. Metode

2.1 Metode Pengukuran Radon (^{222}Rn) di Indonesia dan Prospek Masa Depan

Pengukuran konsentrasi radon (^{222}Rn) telah dilakukan oleh Sutarman menggunakan metode dwi-tapis pada 23 lokasi Kawasan tambang minyak Cepu, Cirebon, dan Prabumulih menggunakan alat instrumentasi detektor (CR-39) dalam kurun waktu 3 bulan. Hasil pengukuran mengidentifikasi konsentrasi radon berkisar dari 11 Bq/m³ sampai sampai 3525 Bq/m³. Data konsentrasi gas radon tertinggi dalam udara di luar rumah lebih tinggi dari pada tingkat tindakan yang direkomendasikan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) untuk daerah kerja[11].

Pengukuran konsentrasi radon (^{222}Rn) telah dilakukan oleh Syarbaini menggunakan alat ukur radon, Continuous Radon Monitor Model 1027, Sun Nuclear Corp. USA dari bahan bangunan beton ringan dan beton konvensional seperti bata merah, batako semen, beton lempeng yang diperoleh di pasaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi radon yang ada dari bahan bangunan berkisar mulai dari 5 Bq/m³ sampai dengan 91 Bq/m³. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan bangunan beton tidak berdampak buruk bagi Kesehatan masyarakat sesuai dengan batasan rekomendasi yang ditentukan oleh ICRP [12].

Pengukuran konsentrasi radon (^{222}Rn) juga dilakukan oleh Yufita di 6 desa yang berada di Aceh. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur konsentrasi radon pada batu bata yang digunakan sebagai bahan dasar dalam pembangunan rumah masyarakat. Pengukuran ini menggunakan alat detektor radon model 1027 Profesional Continuous Radon Monitor dengan metode sampling jangka pendek selama 12 jam. Hasil penelitian menunjukkan nilai konsentrasi radon beragam mulai dari 0,14 pCi/l Hingga 1,80 pCi/l. Nilai konsentrasi radon pada batu bata yang diuji di Aceh masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh komite internasional untuk proteksi radiasi sebesar 200 Bq/m³ (5,4 pCi/l) sehingga aman digunakan untuk bahan bangunan [13].

Pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) untuk melihat sesar dalam bidang geologi dengan menggunakan RDA 200 telah dilakukan oleh Sukadana di Desa Lebeng Barat, Jawa Timur. Dari hasil penelitian diperoleh nilai intensitas gas radon berkisar antara 5 – 55 cpm, dan dari hasil olah program Surfer 8 terdapat adanya anomali intensitas gas radon yang menunjukkan keterdapatan zona sesar di Desa Lebeng Barat, Jawa Timur. Nilai anomali intensitas gas radon memiliki orientasi arah barat daya menuju timur laut. Bagian timur daerah kerja terdapat anomaly yang berarah utara menuju arah selatan [14].

Pengukuran gas radon (^{222}Rn) dilakukan oleh Laksminingpuri di Kawasan Nuklir Pasar Jumat (KNPJ) menggunakan RAD7 DurrIDGE dan GPS merek Garmin dengan tujuan mengetahui distribusi konsentrasi gas radon serta keterkaitan dengan kegiatan penelitian berbasis nuklir di dalam dan di luar kawasan. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi gas radon di KNPJ berkisar antara 845 Bq/m³ hingga 85600 Bq/m³. Konsentrasi gas radon tertinggi berada dekat penampungan limbah PTBGN namun tetap di bawah ambang batas sehingga tetap aman bagi kesehatan berdasarkan aturan ICRP [15].

Pengukuran konsentrasi Gas Radon (^{222}Rn) telah dilakukan oleh Prasetyo di Daerah uplow lintasan naiknya fluida panas bumi ke permukaan. Gunung Tampomas Jawa Barat. Pengukuran konsentrasi gas radon ini menggunakan metode statistic dengan alat pencacah RAD7 dalam eksplorasi geokimia adalag menggunakan diagram frekuensi kumulatif dengan tujuan melihat anomali kandungan gas radon terhadap keterkaitannya dengan struktur geologi dan geotermal. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi radon berkisar dari 70 Bq/m³ hingga 15775 Bq/m³. Dengan menggunakan metode statistic diagram frekuensi ini didapatkan hasil anomaly konsentrasi radon tersebar dengan baik di Kawasan Gunung Tampomas, Jawa Barat [16].

Pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) telah dilakukan di terowongan eksplorasi dan kamp pekerja di Kalan, Kalimantan Barat oleh Noor menggunakan *Radon-Thoron Discriminative Detector* (RADUET) merk Radosys yang merupakan detektor pasif untu mendeteksi konsentrasi radon dan toron. Detektor RADUET terdiri dari dua ruang difusi, yaitu ruang difusi rendah dan tinggi. CR-39 detektor juga digunakan untuk mendeteksi jejak partikel alfa hasil peluruhan gas radon. Penelitian ini menunjukkan hasil pengukuran konsentrasi gas radon berkisar antara 188,84 Bq/m³ sampai 495,86 Bq/m³ dengan rata-rata konsentrasi radon di dalam terowongan adalah 375,80 Bq/m³, dengan rata-rata konsentrasi gas radon di dalam terowongan cukup tinggi, di atas reference level sebesar 300 Bq/m³ yang direkomendasikan oleh ICRP [17].

Pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) telah dilakukan dengan menggunakan metode pasif pengukuran 50 detektor jejak nuklir CR-39 oleh Putri di objek wisata Lobang Jepang Bukittinggi. Pengukuran ini dilakukan selama 14 hari dengan melihat dampak dosis efektif yang diterima pengunjung dan pemandu agar terhindar dari resiko kanker paru-paru. Hasil

pengukuran konsentrasi gas radon berkisar dari $2469,87 \pm 174,65$ Bq/3 sampai sampai $80641,18 \pm 5702,19$ Bq/3. Nilai estimasi dosis gas radon yang diterima pemandu yang didapatkan melebihi dari batas rekomendasi UNSCEAR tahun 2000 dan berdampak pada munculnya resiko penyakit kanker [18].

Pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) juga dilakukan di Kota Lubuk Basung oleh Wulandarisman. Penelitian ini menggunakan data dari 50 detektor CR-39. Hasil dari pengukuran konsentrasi gas radon di penelitian ini menunjukkan data yang berkisar dalam rentang nilai 49 Bq/ m^3 sampai 107 Bq/ m^3 untuk tipe bangunan berupa lantai keramik dan plafon berbahan triplek maupun gipsu. nilai yang didapatkan rata-rata relatif lebih rendah dan tidak melebihi batas ambang yang diizinkan ICRP yaitu 200 Bq/ m^3 [19].

Yuliandri telah melakukan penelitian tentang sumber radionuklida alam radon (^{222}Rn) pada tiga sumber air panas di Nagari Pariangan Sumatera Barat. Penelitian ini menggunakan alat ukur Durrige Rad7 Radon Detector untuk mendeteksi radionuklida radon dengan protokol WAT250. Hasil penelitian yang menunjukkan aktivitas radionuklida radon berada pada rentang $1,76$ sampai $8,42$ Bq/L. berdasarkan aturan Environmental Protection Agency (EPA) ambang batas radionuklida alam Rn-222 pada sumber air panas bernilai 11 Bq/L maka konsentrasi radon pada Nagari Pariangan Sumatera Barat berada di bawah ambang batas yang direkomendasikan [20].

Pahrudin telah melakukan penelitian tentang pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) pada 50 rumah penduduk di Nagari Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. Pengukuran ini menggunakan alat ukur detektor CR-39 guna mengetahui dosis efektif yang diterima oleh penduduk akibat paparan radiasi gas radon. Hasil pengukuran memperlihatkan paparan konsentrasi gas radon di rumah penduduk bervariasi yaitu $7 \pm 0,50$ Bq/ m^3 sampai dengan $37 \pm 2,65$ Bq/ m^3 . Berdasarkan nilai ambang bawah batas yang direkomendasikan oleh UNSCEAR tahun 2008 yaitu 300 Bq/ m^3 . Oleh karena itu, data hasil konsentrasi gas radon yang berada di rumah penduduk di Nagari Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan yang didapatkan masih dapat diterima tidak melebihi ambang batas yang ditetapkan [21].

Widisaputra telah melakukan penelitian pengukuran konsentrasi paparan radiasi dari gas radon (^{222}Rn) menggunakan detektor CR-39 di 30 rumah masyarakat Nagari Solok Bio-Bio, Kabupaten 50 Kota, Sumatera Barat. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi gas radon erada pada rentang laju dosis $0,18$ sampai $4,01$ mSv/tahun. Berdasarkan PERKA BAPETEN NO.16 Tahun 2013 yaitu nilai ambang batas yang direkomendasikan pada 1 mSv/tahun maka terdapat laju konsentrasi melebihi ambang batas yaitu $4,01$ mSv/tahun. Akibat tingginya konsentrasi gas radon di daerah tersebut, masyarakat diimbau untuk sering membuka jendela rumah untuk sirkulasi udara [22].

Ramadhani telah melakukan penelitian tentang pengukuran konsentrasi gas radon (^{222}Rn) Cilandak, Jakarta Selatan dan Pondok Aren, Tangerang Selatan. Penelitian ini membandingkan 2 metode pengukuran aktivitas radon RAD7 yaitu metode sniff dan metode grab. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi gas radon di daerah Cilandak dengan metode grab sebesar $6426,79 \text{ Bq/m}^3$ dan untuk metode sniff sebesar $4839,64 \text{ Bq/m}^3$. Di lokasi Pondok Aren konsentrasi gas radon untuk metode grab sebesar $1887,14 \text{ Bq/m}^3$ dan untuk metode sniff sebesar $855,12 \text{ Bq/m}^3$. Perbandingan aktivitas radon antara dua lokasi memperlihatkan perbedaan tingkat aktivitas radon yang dihasilkan oleh kedua metode. Metode Grab menunjukkan hasil pengukuran yang lebih tinggi lebih dibanding dengan metode sniff. Dari penelitian ini didapatkan untuk mendapatkan hasil pengukuran konsentrasi gas radon secara cepat metode sniff lebih baik dibandingkan metode grab. Namun, untuk pengukuran dalam waktu lebih lama metode grab memberikan keakuratan yang lebih baik dibanding sniff [23].

3. Kesimpulan

Review metode pengukuran konsentrasi radon di Indonesia menunjukkan hasil bahwa penelitian radon di Indonesia mulai menjadi topik hangat dan menarik diteliti karena dampak dan manfaat radon sangat banyak bagi masyarakat Indonesia. Penelitian dan data yang di dapat tidak hanya menunjukkan bahaya dari radon sebagai penyebab kedua setelah rokok tetapi juga manfaatnya di bidang geologi dan panas bumi. Dapat dilihat dari review metode pengukuran radon, radon digunakan sebagai alat bantu acak dinamika patahan geologi dan sistem panas bumi, indikator gejala-gejala awal untuk memprediksi gempa tektonik, serta mempelajari dinamika interaksi air tanah dengan air permukaan.

Peneliti di Indonesia menggunakan beberapa alat detector dan metode pengukuran yang berbeda tergantung dari tujuan pengukuran radon dilakukan. Beberapa alat detector yang dipakai diantaranya adalah alat instrumentasi detektor (CR-39), detector Continuous Radon Monitor (CRM), alat detector RDA 200, alat detector pencacah DurrIDGE RAD7, dan *Radon-Thoron Discriminative Detector* (RADUET). Penelitian mengenai perbandingan metode pengukuran radon juga telah didapatkan dengan hasil hasil pengukuran konsentrasi gas radon secara cepat metode sniff lebih baik dibandingkan metode grab. Namun, untuk pengukuran dalam waktu lebih lama metode grab memberikan keakuratan yang lebih baik dibanding sniff.

Kontribusi Penulis

B. S. W. Hadi : konseptualisasi, metodologi, kurasi data, dan persiapan draf awal, **M. A. Rambey**: visualisasi, validasi, penulisan tinjauan dan pengeditan.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan yang relevan untuk diungkapkan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Afifah dan Murniati, "Studi Radon (Rn-222) dalam Lingkungan: Pembentukan, Paparan, dan Dampaknya Bagi Manusia," *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika*, vol. 4, pp. 131–42, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.30872/jlpf.v4i2.2775>.
- [2] N. United, *Sources and effects of ionizing radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2008 report to the General Assembly, with scientific annexes*. New York: United Nations, 2011. doi: V.16-02682.
- [3] N. United, *Sources and effects of ionizing radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes*. vol. 1, New York: United Nations, 2016. doi: V.16-02680.
- [4] H. A. Bulut and R. Şahin, "Radon, Concrete, Buildings and Human Health – A Review Study," *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, vol. 4, no. 2, pp. 510, 2024, doi: 10.3390/buildings14020510.
- [5] J. F. Lecomte *et al.*, "ICRP Publication 126: Radiological Protection against Radon Exposure," *Annals of the ICRP*, vol. 43, no. 3, pp. 5-73, 2014, doi: 10.1177/0146645314542212.
- [6] B. Sunardi, "Variasi Gas Radon dan Aktivitas Kegempaan di sekitar Patahan Opak," *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, vol. 9, no. 1, 2018, doi: 10.34126/jlbg.v9i1.166.
- [7] C. Dueñas and M. C. Fernandez, "Temporal Variations in Soil Gas Radon: Any Possible Relation to Earthquakes?," *Tectonophysics*, vol. 152, no. 1-2, 1988, doi: 10.1016/0040-1951(88)90033-9.
- [8] S. de la Cruz *et al.*, "Radon Emanation Related to Geothermal Faults," *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation*, vol. 12, no. 1-6, 1986, doi: 10.1016/1359-0189(86)90724-7.
- [9] N. T. Dimova *et al.*, "Application of Radon-222 to Investigate Groundwater Discharge into Small Shallow Lakes," *J Hydrol (Amst)*, vol. 486, 2013, doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.01.043.
- [10] M. Sadat-Noori *et al.*, "Groundwater Discharge into an Estuary using Spatially Distributed Radon Time Series and Radium Isotopes," *J Hydrol (Amst)*, vol. 528, 2015, doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.06.056.
- [11] Sutarman dan Wahyudi, "Konsentrasi Gas Radon di Udara di Luar dan dalam Rumah Sekitar Nyala-Api Kawasan Tambang Minyak," *Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan pada Industri Non-Nuklir*, vol. 1, no. 1, 2003.
- [12] Syarbaini dan Bunawas, "Studi Penurunan Konsentrasi Gas Radon dalam Ruangan," *Jurnal Permukiman*, vol.5, no.1, pp. 1-6, 2010.

- [13] E. Yufita and R. Safitri, "Identifikasi Kandungan Radon (Rn-222) pada Bahan Bangunan Batu Bata di Kawasan Aceh Besar Diterima," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 1, no. 2, 2013.
- [14] I. G. Sukadana, "Pengukuran Geolistrik dan Intensitas Gas Radon pada Penentuan Daerah Potensial untuk Pemboran Air Tanah dalam Desa Lebeng Barat Pasongsongan, Sumenep, Jawa Timur," *Eksplorium*, vol. 34, no. 1, pp. 63–74, 2013, doi: <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2013.34.1.715>.
- [15] N. Laksminingpuri *et al.*, "Distribusi Radioisotop Radon-222 dalam Gas Tanah di Kawasan Nuklir Pasar Jumat," in *Seminar Nasional Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Prosiding Seminar Nasional APISORA - Jakarta Selatan, 2018, pp. 126-131.
- [16] R. Prasetyo *et al.*, "Konsentrasi Radon-222 dalam Gas Tanah untuk Deteksi Distribusi Permeabilitas di daerah Panas Bumi Tampomas, Jawa Barat," *EKSPLORIUM*, vol. 41, no. 1, 2020, doi: 10.17146/eksplorium.2020.41.1.5642.
- [17] T. Noor *et al.*, "Kajian Risiko Paparan Sinar Gamma dan Radon pada Pekerja di Area Terowongan Eksplorasi Uranium Remaja, Kalimantan Barat," *EKSPLORIUM*, vol. 41, no. 2, 2020, doi: 10.17146/eksplorium.2020.41.2.5882.
- [18] S. Putri *et al.*, "Analisis Konsentrasi Gas Radon (Rn-222) menggunakan Detektor Jejak Nuklir CR-39 Di Objek Wisata Lobang Jepang Bukittinggi," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 9, no. 2, 2020, doi: 10.25077/jfu.9.2.250-256.2020.
- [19] M. Wulandarisman *et al.*, "Pengukuran Konsentrasi Gas Radon (Rn-222) dan Gas Thoron (Rn-220) menggunakan Detektor CR-39 pada Ruangan Kelas di Kota Lubuk Basung," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 1, pp. 113–118, 2022, doi: 10.25077/jfu.11.1.113-118.2022.
- [20] A. Yulindari dan D. Milvita, "Penentuan Aktivitas Spesifik Radionuklida Alam pada Sumber Air Panas di Nagari Pariangan Sumatera Barat," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 10, no. 3, pp. 371–376, 2021, doi: 10.25077/jfu.10.3.371-376.2021.
- [21] P. Pahrudin *et al.*, "Pengukuran Konsentrasi Gas Radon (^{222}Rn) dan Thoron (^{220}Rn) menggunakan Detektor CR-39 pada Rumah Penduduk di Nagari Alam Pauh Duo, Solok Selatan," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 3, pp. 354–359, 2022, doi: 10.25077/jfu.11.3.354-359.2022.
- [22] M. R. Widisaputra *et al.*, "Penentuan Laju Dosis Efektif Gas Radon (^{222}Rn) dan Gas Thoron (^{220}Rn) menggunakan CR-39 di Nagari Solok Bio-Bio, Kabupaten 50 Kota, Sumatera Barat," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 12, no. 1, pp. 1–7, 2022, doi: 10.25077/jfu.12.1.1-7.2023.
- [23] Moch. Faizal Ramadhani *et al.*, "Pengukuran Radon dengan Teknik Grab dan Sniff menggunakan RAD7: Studi Perbandingan Metode," in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Isotop dan Radiasi 2021: Peran Isotop dan Radiasi untuk Indonesia yang Berdaya Saing*, BRIN, 2023, doi: 10.55981/brin.690.c663.