

DOSIS RATA-RATA HARIAN DAN EFEKTIF TAHUNAN RADON AIRTANAH PADA DAERAH GUNUNG MASIGIT KECAMATAN CIPATAT KABUPATEN BANDUNG BARAT INDONESIA

LIFE AVERAGE DAILY DOSE AND ANNUAL EFFECTIVE DOSE OF GROUNDWATER RADON IN GUNUNG MASIGIT, CIPATAT DISTRICT, WEST BANDUNG REGENCY, INDONESIA

Azhari¹, Ivhatry Rizky Octavia Putri Susilo^{3*}, Bintarsih², Rachmat Fajar Lubis⁴, Suhardjo Sitam¹

¹Departemen Oral Maxillofacial Radiology, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Padjadjaran

²Departement Fakultas Sosiopolitik, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Padjadjaran

³Magister Ilmu Kedokteran Dasar, Fakultas Kedokteran, Universitas Padjadjaran

⁴Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

ABSTRAK Konsentrasi radon dapat mempengaruhi kondisi air yang biasa dikonsumsi masyarakat untuk kebutuhan sehari-hari. Hal ini berpotensi terhadap risiko kesehatan termasuk risiko kanker. Pengamatan potensi ini dilakukan pada sumber-sumber air yang biasa digunakan masyarakat. Sampel didapatkan dari sumber air di berbagai kampung yang biasa digunakan oleh masyarakat sekitar untuk keperluan sehari-hari. Pada penelitian ini sampel di tes menggunakan RAD 7 *Electronic Radon detector* yang telah disahkan oleh BATAN. Instrument ini digunakan untuk pengukuran radon dalam air, tanah, batuan maupun udara secara komprehensif. Konsentrasi radon pada air bervariasi di setiap sumber air. Konsentrasi radon telah diketahui yaitu 2030 ± 509 Bq/m³ yang berasal dari sumber mata air kampung Cislada dan 1140 ± 393 Bq/m³ yang berasal dari air sumur Kampung Giri Mulya dan 705 ± 393 Bq/m³ pada mata air daerah Kampung Pamucatan. Konsentrasi ini digunakan untuk

menghitung konsentrasi rerata harian pada penduduk sekitar yang terpapar radon. Dosis rerata harian individu yang terpapar akibat konsumsi air mengandung radon adalah $5,0 \times 10^{-3}$ kg/ug/hari dan dosis efektif tahunan lebih rendah dari 0,1 mSv/tahun. Penelitian ini direkomendasikan sebagai acuan komprehensif yang dapat ditarik untuk kajian radiobiologi kesehatan dan toksisitas yang berhubungan dengan penyakit dan kualitas hidup masyarakat.

Kata kunci: Airtanah, Dosis Rara-Rata Harian, *Annual effective dose*, Radon.

ABSTRACT Radon concentration can affect our health. Based on condition of the water, it's commonly consumed by daily's people. It is potential of health problems, including cancer risk. Samples are obtained from water sources in various villages which are commonly used by surrounding communities for daily needs. In this study the sample was tested using RAD 7 *Electronic Radon detector* and was approved by BATAN. This instrument is used to measure radon in water, soil, rock and air comprehensively. Radon concentrations in water vary in each water source. Radon concentrations were known, namely 2030 ± 509 Bq / m³ originating from springs from Cislada village and 1140 ± 393 Bq / m³ originating from Giri mulya village water wells and 705 ± 393 Bq / m³ in pamucatan village springs. This concentration is used to calculate daily average concentrations in the population around those exposed to radon. The daily average dose of individuals exposed to consumption of

Naskah masuk : 13 Februari 2019
Naskah direvisi : 20 Mei 2019
Naskah diterima : 12 November 2019

Ivhatry rizky octavia putri susilo
Magister Ilmu Kedokteran Dasar, Fakultas Kedokteran,
Universitas Padjadjaran
Email : ivhatryrizky@gmail.com

water containing radon is $5.0 \times 10^{-3} \text{ kg / ug / day}$ and the annually effective dose is lower than 0.1 mSv / year . This research is recommended as a comprehensive reference that can be drawn for radiobiology studies of health and disease-related toxicity and the quality of life of surrounding communities.

Keywords: Groundwater, Life Average Daily Dose, Annual Effective Dose, Radon.

PENDAHULUAN

Radon dan peluruhannya merupakan produk utama dari total radiasi alami yang merupakan produk akhir reaksi uranium 238 dan dipancarkan dari berbagai sumber lingkungan seperti air, tanah, batuan (granit) dan sedimennya. Radon dapat bersifat Natural Occuring Radiactive Material (NORM) dimana apabila dalam bentuk gas mempunyai waktu paruh 3,82146 hari, tidak berwarna dan tidak berbau dengan kemampuan emisi sinar alfa yang dapat menimbulkan risiko kanker paru-paru, darah, dan lambung dalam jangka waktu lama (Sam et al., 2012; Field et al., 2000; IAEA, 2014a; National Research Council of The National Academies, 2006).

Toksistas radon terhadap ginjal manusia dengan konsumsi kronis uranium melalui air minum berkisar dari 0.004 untuk $9\mu\text{g L}^{-1}$ per berat badan per hari dan dapat menghasilkan gangguan fungsi ginjal (Kurtio et al., 2006, 2005). Dalam penelitian tersebut terdapat komplikasi nefrotoksik dapat disebabkan oleh adanya uranium dalam air minum tanpa batas yang jelas (Kurtio et al., 2006). Penelitian sebelumnya juga mengungkapkan bahwa paparan radon dapat meningkatkan insidensi leukemia (Tong et al., 2012). Penelitian lainnya pada di Inggris menunjukkan adanya asosiasi yang cukup kuat antara konsentrasi Radon dengan risiko Osteosarkoma (Wright and Pheby, 2004). Penelitian diberbagai daerah lainnya juga menunjukan faktor risiko pada rongga mulut (Azhari et al., 2018; Sam et al., 2012; National Research Council of The National Academies (NRCNA), 2006; Permatasari et al., 2017). Mengingat radiotoksistasnya, kehadiran radon di dalam air dapat menjadi faktor risiko kesehatan sehingga memerlukan perhatian khusus. Konsentrasi radon dapat dilihat dari kondisi geologi dan hidrologi. Daerah Gunung Masigit



Gambar 1. Gambar kondisi lapangan dan kondisi air di mata air (a) Cisalada (b) Pamucatan (c) Giri mulya setelah ditabulasi kedalam tabung falcon.

mempunyai keadaan fisik batuan kapur sehingga dapat menguap dan mencemari radioaktivitas air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi radon di air tanah lebih besar dibandingkan konsentrasi air di permukaan laut (Bakti et al, 2014). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan risiko toksisitas radon dalam sumber mata air yang biasa digunakan sebagai konsumsi rata-rata penduduk masyarakat Kecamatan Cipatat.

LOKASI PENELITIAN

Daerah yang diteliti adalah daerah Gunung Masigit dengan luasan 1,053 ha (Gambar 1). Konsentrasi pengukuran dilakukan pada Kampung Pamucatan dengan koordinat geografis S.06 ° -49,807° dan E 107°-27,014°. Sumber mata air kampung Cisalada (S.06° -49,622° dan E 107°-

26,320°). dan air sumur Kampung Giri mulya (S.06° -50,034° dan E 107°-26,092°).

Berdasarkan ciri litologi dan kesamaan fisik di daerah penelitian, dijumpai batugamping yang merupakan ciri dari Formasi Rajamandala, batupasir selang-seling batulempung ciri dari Formasi Citarum dan breksi vulkanik yang merupakan ciri dari Vulkanik Kuartar (Gambar 2).

Kondisi sistem airtanah mataair dan sumur tersebut merupakan model kontak antara satuan batuan gamping Formasi Rajamandala dan satuan batupasir perselingan lempung Formasi Citarum. Satuan Batuan Batugamping (Formasi Rajamandala), penamaan satuan ini berdasarkan kehadiran batugamping. Satuan ini menempati 23% dari luas daerah penelitian, tersebar dari barat ke timur dan dapat diamati dengan jelas di Desa

UMUR		FORMASI		CIRI-CIRI LITOLOGI	LINGKUNGAN PENGENDAPAN	
HOLOSEN		ALUVIAL		Terdiri dari material bersifat lepas berukuran lempung hingga bongkah	DARAT	
PLISTOSEN		VULKANIK KUARTER		Terdiri dari breksi, lahar, lava dan tuf	DARAT	
PLIOSEN						
MIOSEN	AKHIR	N18	FORMASI CANTAYAN	Dicirikan oleh batulempung gampingan bernodul, perselingan batupasir dan serpih, batulempung sisipan batupasir tipis, batupasir greywacke, batugamping (melensa), breksi vulkanik struktur hancuran	LAUT DALAM	
		N17				
		N16				
		N15				
	TENGAH	N14	FORMASI BANTARGADUNG	Dicirikan oleh perselingan batulempung dengan batupasir greywacke yang kaya akan kuarsa	LAUT DALAM	
		N13	FORMASI SAGULING	Dicirikan oleh breksi yang berselang-seling dengan pasir greywacke, di bagian bawahnya ditandai oleh munculnya lapisan breksi konglomerat	LAUT DALAM	
		N12				
		N11				
	N10					
	AWAL	N9	FORMASI CITARUM	Dicirikan oleh batupasir berlapis sempurna berselingan dengan batulanau, batulempung, greywacke dan breksi. Menunjukkan sifat khas turbidit. Struktur sedimen seperti perlapisan bersusun, gelembur gelombang	LAUT DALAM	
		N8				
		N7				
N6						
OLIGOSEN	AKHIR	N5	FORMASI RAJAMANDALA	Dicirikan oleh batugamping	LAUT DANGKAL	
		N4				
		N3				
		N2				
EOSEN	AKHIR	FORMASI BATUASIH		Dicirikan oleh batulempung dan batupasir kuarsa	TRANSISI	
		TENGAH	FORMASI BAYAH		Dicirikan oleh pasir konglomeratan dengan selingan batulempung sisipan batubara. struktur silang siur cekung dan planar	FLUVIATIL
			AWAL	FORMASI CILETUH		Dicirikan oleh batupasir kuarsa sisipan lempung, konglomerat, struktur lapisan bersusun
PALEOSEN		MELANGE				

Gambar 2. Kolom Stratigrafi Regional Cekungan Bogor Jawa Barat (Martodjojo, 2003).

Gunung Masigit. Ketebalan Satuan Batuan Batugamping dihitung dari penampang geologi diperoleh ketebalan berkisar antara 60-100 meter (Sudjatmiko, 1972).

Satuan Batuan Batupasir Perselingan Batulempung (Formasi Citarum), penamaan satuan ini berdasarkan perselingan batupasir dengan batulempung. Ketebalan satuan batuan Batupasir Perselingan Batulempung ini dihitung dari penampang geologi diperoleh ketebalan lebih kurang 1372 meter (Martodjojo, 2003). Batupasir memiliki warna abu-abu dengan ukuran butir halus-kasar, menyudut tanggung hingga membundar tanggung, kemas terbuka, terpilah buruk, porositas baik, sementasi karbonat tersusun oleh mineral kuarsa, orthoklas, plagioklas dan lithik. Batulempung memiliki warna abu-abu, ukuran butir lempung, bersifat karbonatan.

Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa lapisan akuifer sumber air ini memiliki komposisi batuan non granitik. Populasi di daerah tersebut sekitar 15,694 jiwa dengan 4,867 kepala keluarga. Kebanyakan tingkat pendidikan terakhir penduduk adalah sekolah menengah pertama. Pekerjaan utama penduduknya adalah sebagai penambang pasir dan batu kapur berdasarkan keadaan geologi dari daerah tersebut. Hampir semua penggunaan air didaerah ini berasal dari mata air dan sumur galian.

Sumber-sumber air ini, setelah di lakukan pengujian oleh BATAN dengan alat pengukuran RAD 7 *Electronic Radon Detector*, memiliki kandungan radon yang bervariasi dengan tingkat konsentrasi di mata air cukup tinggi. Hal ini dikarenakan kondisi bebatuannya (Sekarningrum, 2017; Sekarningrum dan Sitam, 2018). Kondisi inipun dijumpai pada beberapa negara lain, dimana dengan mengkonsumsi air yang mengandung radon tinggi dapat berdampak pada kesehatan terutama pada paru-paru dan saluran pencernaan (Baskaran, 2016; et al., Sam, 2012; IAEA, 2014b; Mirhosseini, 2016; (National Research Council of The National Academies) NRCNA, 2006; Roba et al., 2010).

METODE

Estimasi kadar radon dilakukan per tahun pada tiga lokasi sumber air yaitu Kampung Pamucatan, Kampung Girimulya dan Kampung Cisolada. Penelitian ini melakukan gabungan antara pemahaman kondisi geologi yang menjelaskan

kandungan Radon pada air khususnya air tanah dan perhitungan estimasi berdasarkan standar kesehatan yang berlaku.

Estimasi Konsentrasi Dosis Efektif Setiap Tahun

Apabila seseorang telah meminum air yang mengandung radon, maka partikel alfa akan menyebar keseluruh tubuh dan menyebabkan kerusakan DNA terutama pada sel sel lambung. Partikel dapat menembus selaput lambung dan mengalir di pembuluh darah dan teregulasi ke seluruh tubuh (Course and Strategy, 2012; Fakhri et al., 2015; Rasouli and Khosravi, 2018). Hal ini dibuktikan penelitian di Iran bahwa konsmsi air mengandung radon dapat meningkatkan dosis efektif pada tubuh yang dapat meningkatkan prevalensi kanker (Fakhri et al., 2015).

WHO dan Komite Internasional Eropa menentukan dosis efektif radon yang diterima setiap tahun adalah 0,1 mSv/tahun. Nilai ini menjadi acuan untuk memperkirakan dosis efektif radon yang dapat diterima setiap tahun pada penduduk yang mengkonsumsi air mengandung radon. Nipali inipun perlu mengacu kepada nilai yang telah disepakati oleh Badan Internasional PBB yaitu United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (Sam et al., 2012; Gorchev and Ozolins, 2011; Somlai et al., 2007; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2017). Pengetahuan tentang dosis efektif tidak hanya digunakan sebagai biodosimetri akan tetapi sebagai dampak lingkungan terhadap tubuh dan sebagai natural tracer. Dosis efektif telah diformulasikan dan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$E = K \times G \times C \times t \dots\dots\dots (1)$$

Dimana E adalah dosis efektif yang bersirkulasi dari konsumsi dengan satuan Sievert (Sv), K adalah faktor konversi dosis konsumsi radon (Sv /Bq), G adalah konsumsi air (/hari), C adalah konsentrasi radon (Bq/L) dan t adalah durasi konsumsi (365 hari).

Berdasarkan UNSCEAR(2000), dosis efektif per unit konsumsi radon dalam air pada orang dewasa adalah 10^{-8} Sv /Bq, dan untuk anak-anak itu 2×10^{-8} Sv/Bq sedangkan faktor konversi pada dewasa, anak-anak dan balita (< 2 tahun) sebesar 18×10^{-9} Sv /Bq, 26×10^{-9} Sv/Bq and 35×10^{-9} Sv/Bq

(UNSCEAR, 2000). Terbatasnya informasi jumlah konsumsi air yang dipakai di daerah tersebut dikarenakan faktor sosial, ekonomi, iklim, aktivitas, budaya dan banyak lagi sehingga distandarisasi sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu pada balita 0,327 L, anak-anak 0,431 L dan dewasa 2 L baik laki-laki maupun perempuan (Fakhri et al., 2015).

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari ke 3 grup (dewasa anak balita), dosis efektif dari ketiga grup kurang dari 0,1 msv/tahun (Tabel 2).

Toksisitas Kimia Risiko Dalam Air Mengandung Radon

Toksisitas kimia tercatat untuk mengetahui pengaruh dari risiko karsinogenik terkait dengan toksisitas kimia radon dalam air. Risiko toksisitas kimia dievaluasi menggunakan seumur hidup rata-rata dosis harian radon melalui asupan air minum, yang dibandingkan dengan dosis referensi (RFD) dari 0,6 mg/kg/hari. digunakan sebagai kriteria standar untuk radon dalam beberapa organisasi internasional dan dengan demikian digunakan

Tabel 2. Dosis Efektif Tahunan dari konsentrasi radon tertinggi yang didapat di Kabupaten Bandung Barat.

Posisi pada GPS (Sekarningrum and Sitam, 2018)	Sumber	Kadar konsentrasi radon (Bq/m ³)	Dosis efektif per tahun (E) pada balita satuan Sv	Dosis efektif per tahun (E) pada anak-anak satuan Sv	Dosis efektif per tahun (E) pada dewasa satuan Sv
S.06 ^o -49,622 ^o dan E 107 ^o -26,320	Mata air cislada	2030± 509	8,02- 10,6 x 10 ⁻⁶	7,86- 10,38 x10 ⁻⁶	25-33 x10 ⁻⁶
S.06 ^o -49,807 ^o dan E 107 ^o -27,014 ^o	Mata air pamucatan	705± 393	1,27 - 4,49 x 10 ⁻⁶	1,30- 4,58 x10 ⁻⁶	4,09 -14,42 x 10 ⁻⁶
S.06 ^o -50,034 ^o dan E 107 ^o -26,092	Sumur gali Giri Mulya	1140±393	3,12-6,404 x10 ⁻⁶	3,05-6,27 x10 ⁻⁶	9,8-20,1 x 10 ⁻⁶
S.06 ^o -49,807 ^o dan E 107 ^o -27,014 ^o	Mata air	705± 393	1,27 - 4,49 x 10 ⁻⁶	1,30- 4,58 x10 ⁻⁶	4,09 -14,42 x 10 ⁻⁶
S.06 ^o -50,034 ^o dan E 107 ^o -26,092	Sumur gali	1140±393	3,12-6,404 x10 ⁻⁶	3,05-6,27 x10 ⁻⁶	9,8-20,1 x 10 ⁻⁶

Tabel 3. Hasil konsentrasi aktivitas dan dosis harian rata-rata rentang hidup (LADD) dari daerah penelitian.

Tempat	konsentrasi aktivitas Radon (Bq m ⁻³)	LADD (Kg ug ⁻¹ hari ⁻¹)
Cisaladah	2030± 509 Bq/m ³	4 × 10 ⁻³
Pamucatan	705± 393 Bq/m ³	1 × 10 ⁻³
Giri mulya	1140±393 Bq/m ³	2 × 10 ⁻³
RAD 7 Electron Radon detector berdasarkan BATAN dan EPA	11.000	-
RFD (referensi dosis)	-	6 × 10 ⁻¹

untuk memperoleh dosis harian rata-rata. Formulasi LADD air minum yang diberikan sebagai:

$$LADD = \frac{EPC \times IR \times EF \times ED}{AT \times BW} \dots\dots\dots (2)$$

dimana LADD (Life span Average Daily Rate) adalah dosis harian rata-rata rentang hidup (mg/kg/hari), EPC adalah konsentrasi titik paparan (mg/L), IR adalah tingkat konsumsi air (hari/L), EF adalah frekuensi paparan (hari/tahun), ED adalah durasi paparan Total (tahun), AT adalah rata-rata waktu (hari), dan BW adalah berat badan (kg). Menggunakan IR = 2 L/ hari, EF = 350 hari, ED = 45,5 y, AT = 16,607.5 (diperoleh dari $45,5 \times 65$) dan BW = 70 kg (untuk pria standar). Risiko toksisitas kimia untuk radon lebih konsumsi sumur hidup diperkirakan dan buat pada Tabel 2.

Pada Tabel 2, dosis paparan berkisar dari 1×10^{-3} sampai 5×10^{-3} mg/kg/hari. Nilai-nilai LADD diamati lebih tinggi dalam kampung Cisalahad dibandingkan dengan kampung lainnya dimana nilai yang telah distandarkan oleh EPA yakni 0,6 mg/kg hari⁻¹ (Sam et al. 2012) (Tabel 3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi aktivitas radon di daerah penelitian, rata-rata kurang dari standar EPA dan WHO. Dosis efektif dan LADD menunjukkan nilai yang tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh materi yang dilalui oleh sumber-sumber air tersebut adalah materi non granitik yang mengandung kadar Radon alami yang kecil.

Nilai radon dalam air mungkin tidak berdampak langsung pada kesehatan, namun konsumsi pada jangka panjang memungkinkan untuk terendapkan di dalam struktur tulang dan gigi. Kondisi ini dapat mempengaruhi pada struktur molekul DNA, protein dan ekspresinya dan tidak dapat dipungkiri dapat menjadi komplikasi pada penduduk yang bergantung pada sumber air ini. Hal ini dikarenakan partikel alfa yang terkandung di dalam radon yang mempunyai daya ionisasi yang tinggi yang dapat mempengaruhi dosis efektif pada semua organ untuk memperkecil kemungkinan terkena kanker.

Pada penelitian di daerah yang sama dengan kandungan konsentrasi yang berbeda memperlihatkan perbedaan kondisi kesehatan rongga mulut level antioksidan (Azhari et al.,

2016; Permatasari et al., 2017). Pada kasus kandungan Radon konsentrasi tinggi seperti di Ramsar, Iran terjadi peningkatan dosis photon dan elektron yang mempengaruhi dosis efektif tahunan (Banari Bahnamiri, 2015; Monfared et al., 2013). Oleh karena itu, diperlukan langkah dalam mencegah hal ini untuk mengurangi tingkat risiko hingga mencapai kandungan kadar yang sesuai dengan Undang-undang no 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Berdasarkan EPA, teknik aerasi dan GAC (*Granular Activated Carbon*) dapat memisahkan unsur Radon yang terdapat didalam air karena Radon mempunyai kelarutan yang rendah dan bertekanan uap yang cukup tinggi sehingga berpotensi untuk mengkontaminasi di udara. Selain itu disarankan sebelum dikonsumsi oleh warga, diperlukan perebusan di ruangan ventilasi yang cukup baik untuk mengurangi radon di udara. Paparan pada manusia dalam jangka panjang perlu menjadi perhatian khusus walaupun jumlah konsentrasi dalam air kurang dari nilai yang direkomendasikan. LADD lebih tinggi dapat menimbulkan risiko kesehatan kepada penduduk di wilayah tersebut Penelitian ini menjadi dasar lebih lanjut mengenai senyawa radionuklida pada air yang dapat mempengaruhi efek jangka panjang pada kesehatan manusia khususnya di daerah kabupaten Bandung Barat.

KESIMPULAN

Dosis rerata harian individu yang terpapar akibat konsumsi air mengandung radon dan nilai dosis efektif tahunannya menunjukkan kandungan dibawah standar rujukan EPA, WHO dan ICRP. Nilai yang didapat adalah kurang dari 0,6mg/kg/hr dan lebih rendah dari 0,1 mSv/tahun. Meskipun demikian, risiko radon dalam air akan tetap ada sehingga diperlukan pencegahan dalam meminimalisasi terhadap risiko kesehatan. Penduduk yang mengkonsumsi langsung air mengandung radon dengan kondisi ventilasi pemukiman yang tidak baik berpotensi tinggi terhadap kesehatan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterima kasih kepada Kepala Desa dan jajaran staf Desa Gunung Masigit yang membantu selama proses di lapangan. Penulis juga berterima kasih kepada *Academic Leadership Grand* (ALG) UNPAD yang telah memberikan sumbangsih dana dalam penelitian ini dan Tim Batan yang telah membantu dalam pengambilan data

lapangan. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Dewan Redaksi Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan yang telah menerbitkan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhari, Ivhatry, R. O. P. S., Annisa, M., Irmaleny, S., dan Sitam, S., 2018. Exploring Oral Health Behavior In Residential Gunung Masigit Village with Radon Level 2030 ± 509 Bq / m³ and $1140 + 393$ Bq / m³. *Higiene* 4(3), 151–158.
- Azhari, Sitam, S., Darana, S., dan Titin, Y. E., 2016. Superoxide Dismutase (SOD) Level in Blood of the People Living in High and Lowest Radon Exposure Area: A Study in Padalarang, West Java Indonesia. *Journal of US-China Medical Science* 13(3), 154–158. DOI:10.17265/1548-6648/2016.03.005.
- Banari, B. S., 2015. The Calculation of the Annual Effective Dose Due to Exhalation of Radon Progeny in Iran. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences* 5, 609–613.
- Baskaran, M., 2016. Radon: A Human Health Hazard in the Environment. In *Radon: A Tracer for Geological, Geophysical and Geochemical Studies*, USA: Springer Geochemistry. DOI :10.1007/978-3-319-21329-3 ISBN.
- Course, R. T., dan Strategy, N. R., 2012. Radon in Drinking Water 29. (November).
- Sam, 2012. Draft Toxicological Profile for Radon: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 3rd ed., ATLANTA GEORGIA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Fakhri, Y., Mahvi, A. H., Langarizadeh, G., Zandsalimi, Y., Amirhajloo, L. R., Kargosha, M., Moradi, M., Moradi, B., dan Mirzaei, M., 2015. Effective Dose of Radon 222 Bottled Water in Different Age Groups Humans: Bandar Abbas City, Iran. *Global Journal of Health Science* 8(2), 64–71. DOI :10.5539/gjhs.v8n2p64.
- Field, R., Steck, D., Smith, B., Brus, C., Fisher, E., Neuberger, J., Platz, C., Robinson, R., Woolson, R., dan Lynch, C., 2000. Residential Radon Gas Exposure and Lung Cancer. *American Journal of Epidemiology* 151(11), 1091–1102.
- Gorchev, H. G., dan Ozolins, G., 2011. WHO guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle* 38(3), 104–108. DOI :10.1016/S1462-0758(00)00006-6.
- Bakti, H., Naili, W., Lubis, R. F., Delinom, R. M., dan S., 2014. Penjejak Keluaran Airtanah Lepas Pantai (Kalp) Di Pantai Utara Semarang Dan Sekitarnya Dengan 222radon. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 24(1), 43–51. DOI :10.14203/risetgeotam2014.v24.81.
- IAEA, 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3) 3rd ed., VIENNA: IAEA Safety Glossary. DOI :STI/PUB/1578.
- IAEA, 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3). In *International Atomic Energy Agency*. VIENNA: IAEA Safety Glossary. DOI :STI/PUB/1578.
- Kurtio, P., Komulainen, H., Leino, A., Salonen, L., Auvinen, A., dan Saha, H., 2005. Bone as a possible target of chemical toxicity of natural uranium in drinking water. *Environmental Health Perspectives* 113(1), 68–72. DOI :10.1289/ehp.7475.
- Kurtio, P., Salonen, L., Ilus, T., Pekkanen, J., Pukkala, E., and Auvinen, A., 2006. Well water radioactivity and risk of cancers of the urinary organs. *Environmental Research* 102(3), 333–338. DOI :10.1016/j.envres.2005.12.010.
- Mirhosseini, S. M., 2016. Environmental water chemistry and dissolved radon concentration in a thermal spring. *Polish Journal of Environmental Studies* 25(4), 1649–1654. DOI :10.15244/pjoes/60421.
- Monfared, A., Abediankenari, S., Mostafazadeh, A., Khosravifarsani, M., and Borzoueisileh, S., 2013. The effects of residence duration in high background

- radiation areas on immune surveillance. *Journal of Natural Science, Biology and Medicine* 4(1), 218. DOI :10.4103/0976-9668.107295.
- National Research Council of The National Academies, 2006. *Health Risks From Exposure To Low Levels Of Ionizing Radiation BEIR II 2nd ed.*, wahington DC: The National Academic Press.
- Permatasari, D. F., Sitam, S., dan Rizali, E., 2017. The Acidity Level (pH) of Saliva of People in Living in High Radon Level Areas and Its Correlation with the Prevalence of Caries. *4(Idsm)*, 65–70.
- Rasouli, J., dan Khosravi, S. M., 2018. The Role of Radon in Drinking Water Pollution in Bukan. *MOJ Mining and Metallurgy* 1(1), 1–5. DOI :10.15406/mojmm.2018.01.00005.
- Roba, C. A., Codrea, V., Moldovan, M., Baciu, C., dan Cosma, C., 2010. Radon and radium content of some cold and thermal aquifers from Bihor County (northwestern Romania). *Geofluids* 10(4), 571–585. DOI :10.1111/j.1468-8123.2010.00316.x.
- Sekarningrum, B., 2017. The Social Economic Situation of Community Exposed to Radon Radiation in West Java Province. *Review of Integrative Business and Economics Research* 6(1), 340–348.
- Sekarningrum, B., and Sitam, dan S., 2018. Environmental Health Condition and Community Healthy Behavior in the Radon Radiation Exposure Area. *Review of Integrative Business and Economics Research* 7(4), 253–265.
- Somlai, K., Tokonami, S., Ishikawa, T., Vancsura, P., Gáspár, M., Jobbágy, V., Somlai, J., dan Kovács, T., 2007. 222Rn concentrations of water in the Balaton Highland and in the southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose. *Radiation Measurements* 42(3), 491–495. DOI :10.1016/j.radmeas.2006.11.005.
- Tong, J., Qin, L., Cao, Y., Li, J., Zhang, J., Nie, J., dan An, Y., 2012. Environmental radon exposure and childhood leukemia. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews* 15(5), 332–347. DOI :10.1080/10937404.2012.689555.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2017. *UNSCEAR 2016 report*,
- UNSCEAR, 2000. *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*, DOI :10.1097/00004032-199907000-00007.
- Wright, M., dan Pheby, D., 2004. Risk Factors for Osteosarcoma in Young People in Cornwall: A Case-Control Study. *Journal of Environmental Health Research* 5(2), 61–69.