

ISSN : 2540-8062
PROSIDING



SEMINAR NASIONAL PENDAYAGUNAAN TEKNOLOGI NUKLIR
National Seminar on Nuclear Technology Utilization in conjunction
with FNCA Workshop on Research Reactor Utilization

PUSPIPTEK - Serpong, 21 - 23 November 2017

Nuclear Technology Utilization
in the fields of Food, Health, Industry and Environment
through strengthening regional collaboration



FNCA
Forum for Nuclear Cooperation in Asia



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas petunjuk dan karunia-Nya **Prosiding Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir (SENPATEN) 2017** dapat diterbitkan. Prosiding ini merupakan dokumentasi yang memuat karya tulis ilmiah para peserta SENPATEN 2017 yang diselenggarakan bersamaan dengan *FY2017 FNCA Workshop on Research Reactor Utilization Project*. Kegiatan tersebut diselenggarakan di Gedung 720 Auditorium Pusat Inovasi dan Bisnis Teknologi, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, pada tanggal 21-23 November 2017, dengan mengambil tema "*Pendayagunaan teknologi nuklir di bidang pangan, kesehatan, industri dan lingkungan melalui penguatan kerjasama regional*".

Pada Seminar Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2017 panitia menerima sebanyak 81 makalah dari BAPETEN, BATAN, BPFK-Jakarta, ITB, STIKES Guna Bangsa Yogyakarta, Universitas Indonesia, Universitas Nasional, Universitas Pamulang, dan setelah dilakukan seleksi serta evaluasi, diputuskan 30 makalah dipresentasikan secara *oral*, dan sisanya disajikan dalam bentuk poster.

Setelah melalui proses penyuntingan, dalam Prosiding Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2017 ini, sebanyak 77 makalah dicantumkan sebagai makalah lengkap yang diklasifikasikan kedalam beberapa bidang yaitu pangan, kesehatan, industri, lingkungan, energi, keselamatan dan keamanan, metrologi serta bidang lainnya yang terkait dengan pedayagunaan teknologi nuklir. Semoga prosiding ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi untuk memacu kegiatan penelitian, pengembangan serta pendayagunaan teknologi nuklir di Indonesia. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penerbitan Prosiding ini.

Serpong, Maret 2018

Dewan Editor



Seminar Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2017
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Tangerang Selatan 21-23 November 2017



DAFTAR ISI

Kata Pengantar	.....	i
Sambutan Deputi Pendayagunaan Teknologi Nuklir	.....	ii
SK Kepala BATAN No. 232/KA/X/2017		
Tentang Penyelenggaraan Seminar Nasional		
Pendayagunaan Teknologi Nuklir – Workshop FNCA, dan		
Pembentukan Panitia	.....	iii
Daftar Isi	.....	ix
Daftar Pemakalah	.....	x
Bidang Pangan	.....	1 – 13
Bidang Kesehatan	.....	15 – 181
Bidang Industri	.....	183 – 301
Bidang Lingkungan	.....	303 – 336
Bidang Energi	.....	337 – 434
Bidang Keselamatan dan Keamanan	.....	435 – 497
Bidang Metrologi	.....	499 – 514
Bidang Lainnya	.....	515 – 519

PENGUKURAN ISOTOP RADON (^{222}Rn) DALAM AIR TANAH

Neneng Laksmiingpuri dan Rasi Prasetyo

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi

laksmi@batan.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran isotop radon (^{222}Rn) dalam air tanah menggunakan alat Durrigde Rad7. Tujuan pengukuran ini adalah untuk mengetahui kandungan isotop radon dalam air tanah. Pengukuran isotop ^{222}Rn dalam air tanah dilakukan dengan metode pengukuran langsung menggunakan alat pendeteksi radon Durrigde Rad7. Sampel yang berasal dari sumur-sumur di sekitar PPTN Pasar Jum'at diambil dengan menggunakan alat water sampler dan kemudian diukur konsentasi radonnya menggunakan alat Durrigde Rad7. Selain itu juga dilakukan pengukuran parameter fisik sebagai data penunjang. Hasil analisis menunjukkan bahwa lokasi sumur belakang gedung 45A mempunyai konsentrasi ^{222}Rn terendah sebesar 482 Bq/m^3 , sedangkan yang tertinggi berasal dari sumur bor di dekat masjid yaitu sebesar 23600 Bq/m^3 . Perbedaan kadar radon disebabkan karena kondisi bangunan dari sumur dan lingkungan di sekitar sumur. Sumur bor di dekat masjid memiliki kadar radon paling tinggi karena jika dilihat dari bangunannya, sumur berada dalam material bangunan sehingga radon yang terdapat di dalamnya lebih terkekang dan tidak mudah lepas. Kadar radon di sumur 45A paling rendah karena jika dilihat dari lingkungan sekitarnya, tidak terdapat timbunan material dan kondisi sumur yang dibiarkan terbuka. Kadar radon yang tinggi juga bisa dilihat dari pengukuran temperaturnya. sumur dalam masjid memiliki temperatur yang rendah sehingga radon yang berada dalam air tidak mudah lepas. Berdasarkan ambang batas dari IAEA (International Atomic Energy Agency), maka sumur belakang gedung 45A dan sumur Kapuk-2 yang masih memenuhi ambang batas daerah kerja, sedangkan dari ke delapan sampel sumur air tanah tidak ada yang berada dalam ambang batas untuk daerah rumah.

Kata kunci: isotop, radon, air tanah

ABSTRACT

Measurement of isotope radon (^{222}Rn) has been done in groundwater using Durrigde Rad7. The purpose of this measurement is to determine the content of radon isotope in ground water. Measurement of ^{222}Rn isotope in groundwater was performed by direct measurement method using the radon Durrigde Rad7 detector. Samples derived from the wells around Pasar Jum'at Nuclear Area were taken by using water sampler and then measured the radon concentration using Durrigde Rad7 tool. In addition, the physical parameters were measured as supporting data. The results of the analysis show that the location of the 45A wells has the lowest ^{222}Rn concentration of 482 Bq/m^3 , while the highest comes from the well near the mosque at 23600 Bq/m^3 . The difference in radon levels is due to the condition of the building of the well and the environment around the well. Drill wells near the mosque have the highest radon levels because if viewed from the building,

wells are in the building so that radon contained in it more restrained and not easily separated. The lowest radon levels were in the 45A well because when viewed from the surrounding of environment, there is no material pile and the wells are in open condition. High levels of radon can also be seen from the temperature measurement. Wells within the mosque have low temperatures so that radon in the water is not easily separated. Based on the IAEA threshold value of radon, the wells behind the 45A building and Kapuk-2 wells are still in the threshold value of working area, while from the eight samples of groundwater wells no one is in the threshold value for the housing area.

Key words : isotope, radon, groundwater

PENDAHULUAN

Air tanah merupakan sumber daya alam terbarukan (*renewal natural resources*) saat ini telah memainkan peran penting di dalam penyediaan pasokan kebutuhan air bagi berbagai keperluan, sehingga menyebabkan terjadinya pergeseran nilai terhadap air tanah itu sendiri. Air tanah pada masa lalu merupakan barang bebas (*free goods*) yang dapat dipakai secara bebas tanpa batas dan belum memerlukan pengawasan pemanfaatan, tetapi pada era pembangunan saat ini yang disertai dengan peningkatan kebutuhan air tanah yang sangat pesat telah merubah nilai air tanah menjadi barang ekonomis (*economic goods*), artinya air tanah diperdagangkan seperti komoditi yang lain, bahkan di beberapa tempat air tanah mempunyai peran yang cukup strategis. Mengingat peran air tanah semakin penting, maka pemanfaatan air tanah harus didasarkan pada keseimbangan dan kelestarian air tanah itu sendiri, dengan istilah lain pemanfaatan air tanah harus berwawasan lingkungan.

Air tanah dapat melarutkan salah satu unsur radioaktivitas terbesar di alam yaitu radon. Radon berbahaya bagi kesehatan karena radon dapat bergabung dengan udara yang terhirup dalam kehidupan sehari-hari. Radon merupakan peluruhan dari uranium alam dan merupakan turunan dari radium yang ada di tanah dan di air [1]. Sumber radon dalam air tanah yaitu radon yang terlepas dari tanah. Selain tanah yang mengandung granit, sumber radon lainnya yaitu batuan yang berumur tua, *shale* (batuan karang lunak yang mudah pecah, fosfat, dan pitch-blende [2]. Sumber radon yang lain dapat berasal dari material bangunan, misalnya semen, batu bata, batako, batu alam, dan gipsum [3].

Radon merupakan sumber radiasi alam yang paling banyak mendapatkan perhatian sehubungan dengan efek merugikan yang dapat ditimbulkannya. Efek merugikan tersebut berkaitan dengan kesehatan manusia, yaitu gas Radon sebagai salah satu penyebab timbulnya kanker paru-paru. Radon merupakan salah satu radionuklida alam yang terdapat dalam konsentrasi yang relatif tinggi. Diperkirakan 47% radioaktivitas lingkungan berasal dari gas Radon. Radon berasal dari tanah, batuan, air tanah, bahan-bahan bangunan, dan lain-lain sebagai hasil dari peluruhan ^{222}Ra di dalam deret peluruhan ^{238}U . Radon terdapat dalam bentuk gas mulia yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mudah bersenyawa secara kimia dengan nuklida alam lainnya). Di alam terdapat tiga isotop radon yaitu ^{219}Rn (Actinon) dengan umur paro 4 detik yang berasal dari deret peluruhan Actinium, ^{220}Rn (Thoron) dengan umur paro 55,6 detik yang berasal dari deret peluruhan ^{232}Th dan ^{222}Ra dengan umur paro 3,824 hari yang berasal dari deret peluruhan ^{238}U [4]. Dari ketiga isotop radon tersebut, yang paling penting adalah ^{222}Rn karena disamping waktu paronya relatif paling panjang juga isotop ^{238}U selaku induknya terdapat lebih dari 99% dalam mineral Uranium. Oleh karena itu isotop aktinon dan thoron sudah akan mengalami peluruhan sebelum mencapai ke permukaan tanah sehingga dapat dikatakan pengukuran konsentrasi radon di udara hanya terkhususkan pada gas ^{222}Rn saja. Di udara ^{222}Rn meluruh dengan melepaskan partikel alfa. Hasil peluruhan radon berupa partikel-partikel padat, dua diantaranya yaitu ^{218}Po dan ^{214}Po yang dalam peluruhannya juga melepaskan

partikel alfa seperti halnya radon. Keberadaan partikel alfa di udara dapat menimbulkan dampak pada kesehatan manusia yaitu menyebabkan penyakit paru-paru juga bisa masuk melalui air minum. Bahaya radon yang ditimbulkan melalui pernafasan sekitar 89 %, sedangkan bahaya yang ditimbulkan karena air minum sebesar 11 % [5]. Mengingat efek negatif yang ditimbulkan gas radon pada manusia, dan informasi berkenaan dengan keberadaan gas radon di alam masih minim sekali, maka diperlukan penelitian yang cukup akurat untuk memperoleh gambaran yang tepat, terutama yang berhubungan dengan konsentrasi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya [6].

METODOLOGI

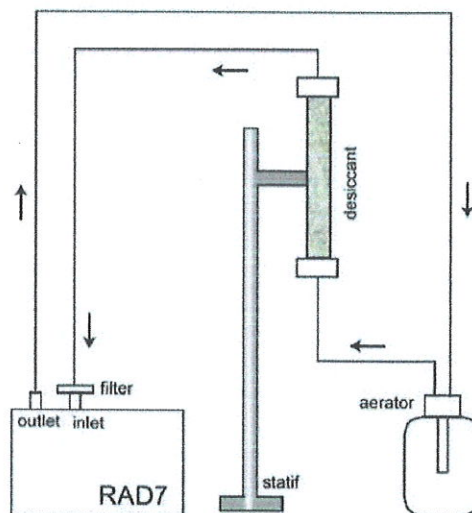
Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan adalah sampel beberapa sumur di sekitar Kawasan Nuklir Pasar Jum'at, aquades, label, termometer, water checker, water sampler, botol sampel, GPS dan alat DurrIDGE RAD7.

Metode

Pengambilan Sampel Air dan Pengukuran Sampel

Sampel air tanah dalam sumur-sumur diambil menggunakan alat water sampler sebanyak 250 mL, diberi kode lalu sampel tersebut disambungkan dengan alat DurrIDGE RAD7 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil analisis ditampilkan dalam satuan Bq/m³.



Gambar 1. Skema susunan peralatan sampling ²²²Rn dalam air. *Desiccant* berisi *drierite* (CaSO₄)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan Sampel

Sampel air tanah yang berasal dari sumur-sumur bor di Kawasan Nuklir Pasar Jum'at dan sekitarnya diambil menggunakan alat *water sampler*. *Water sampler* berupa pipa paralon yang dimasukkan ke dalam sumur dengan cara menekan terlebih dahulu kenop yang terdapat di ujung pipa, setelah pipa terisi air, angkat pipa tersebut perlahan dan tuangkan isinya ke dalam botol sampel, sampel siap diukur.

Lokasi Sampling

Lokasi sampling berada di sekitar Kawasan Nuklir Pasar Jumat, Lebak Bulus, Jakarta Selatan dengan koordinat antara 695817 – 696468 mE dan 9303651 – 9304152 mS. Pengukuran koordinat dilakukan menggunakan alat GPS (*Global Position System*) merek Garmin. Titik koordinat lokasi adalah sebagai berikut :

Tabel-1. Koordinat lokasi sampling air tanah Kawasan Pasar Jum'at

No.	Lokasi	Koordinat	
		Selatan (X)	Timur (Y)
1	SB belakang gd 45A	696243	9304152
2	SB dangkal masjid	696070	9304157
3	SB dangkal lap. tenis	696262	9303967
4	Bidang Pertanian	696363	9303856
5	SB dalam lap. tenis	696256	9303956
6	SB dalam masjid	696092	9304164
7	Kp. Kapuk-1	695848	9303680
8	Kp. Kapuk-2	6958825	9303967

Titik pengambilan sampel pada daerah penelitian kemudian dibuat peta selengkapnya dapat dilihat pada Gambar-2.



Gambar-2. Lokasi sampling air tanah di sekitar Kawasan Nuklir Pasar Jum'at

Hasil Analisis

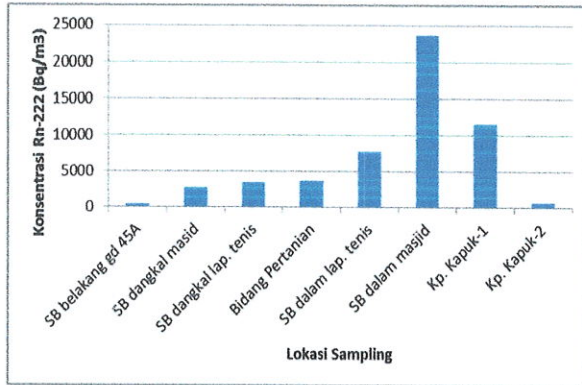
Pencacahan konsentrasi ^{222}Rn dilakukan menggunakan alat Durrige RAD7, dimana radon dideteksi secara terus menerus dan dianalisis spektralnya. Pada awal pengukuran pompa akan bekerja selama 5 menit untuk melepaskan radon dalam sampel terlepas dan ditampung dalam ruang pengukuran, Setelah itu pompa berhenti selama 1 menit untuk memulai hitungan yang pertama. Proses pengukuran berlangsung selama 4 siklus untuk mendapatkan nilai konsentrasi radon [7].

Hasil analisis isotop radon terhadap beberapa sumur bor di Kawasan Nuklir Pasar Jum'at tercantum pada Tabel-2 sebagai berikut :

Tabel-2. Hasil analisis isotop ^{222}Rn di beberapa sumur bor Kawasan Nuklir Pasar Jum'at

No.	Lokasi sumur	Konsentrasi ^{222}Rn (Bq/m ³)	Rerata (Bq/m ³)
1	SB belakang gd 45A	444	482
		593	
		444	
		444	
2	SB dangkal masjid	2650	2700
		2210	
		3110	
		2820	
3	SB dangkal lap. tenis	3390	3400
		3560	
		3260	
		3410	
4	Bidang Pertanian	4300	3710
		3850	
		2680	
		4020	
5	SB dalam lap. tenis	7450	7720
		7750	
		6850	
		8840	
6	SB dalam masjid	23100	23600
		25300	
		24000	
		22000	
7	Kp. Kapuk-1	11400	11600
		8880	
		13500	
		12800	
8	Kp. Kapuk-2	894	633
		745	
		894	
		0	

Berdasarkan data hasil analisis radon yang tertera pada Tabel-2 kemudian dibuat grafik seperti yang terdapat pada Gambar-3.



Gambar-3. Grafik konsentrasi isotop ²²²Rn dalam air tanah Kawasan Nuklir Pasar Jum'at dan sekitarnya.

Berdasarkan data yang tertera pada Tabel-2, terlihat bahwa nilai rerata kandungan isotop ²²²Rn terendah didapatkan dari sumur bor (SB) belakang gedung 45A sebesar 482 Bq/m³ dan kadar isotop radon tertinggi terdapat pada sumur bor dalam masjid sebesar 23600 Bq/m³. Perbedaan kadar radon dalam sumur-sumur bor dapat disebabkan oleh lingkungan sekeliling sumur yang tertutup, seperti sumur bor yang terletak dalam bangunan dekat masjid yang tertutup oleh bangunan, sehingga radon yang terdapat dalam sumur sukar untuk lepas ke udara, begitu juga dengan pengaruh temperatur dari air sumur yang lebih rendah dibanding sumur lainnya, sehingga radon lebih terkekang. Secara umum besarnya konsentrasi gas radon di lingkungan dipengaruhi oleh situasi, kondisi dan jenis batuan yang terdapat pada lapisan tanah tersebut. Menurut Yufita konsentrasi radon pada lapisan tanah bagian atas adalah 10000-170000 Bq/m³, sedangkan lapisan tanah bagian bawah adalah 15000-3560000 Bq/m³. Pada lapisan tersebut terdapat batuan-batuan yang berumur sangat tua lebih dari 600 juta tahun yang mengandung uranium dengan konsentrasi yang relatif tinggi, batuan tersebut misalnya batuan granit dan basal masing-masing sebesar 59260 Bq/m³ dan 111110 Bq/m³. Sedangkan konsentrasi rata-rata gas radon secara keseluruhan masing-masing sebesar 37040 Bq/m³ dan 25930 Bq/m³. Konsentrasi gas radon yang terlepas di udara bebas (lingkungan) dapat berasal dari tanah sebesar 200000 Bq/m³, air tanah sebesar 500000 Bq/m³, batubara

sebesar 20 Bq/m³, dan gas alam sebesar 10 Bq/m³ [3].

Hasil pengukuran 4 kali ulangan dengan sekali ulangan selama 5 menit seperti yang terdapat pada Tabel-2. Berdasarkan ketentuan dari IAEA (*International Atomic Energy Agency*), diketahui bahwa konsentrasi radon dalam air yang diperbolehkan sebesar 1000 Bq/m³ untuk daerah kerja dan 200 Bq/m³ bagi perumahan [8]. Mengacu kepada ketentuan IAEA, konsentrasi radon dalam air tanah dari sumur bor belakang gedung 45A serta Kampung Kapuk-2 masih dapat diperkenankan untuk digunakan pada daerah kerja. Konsentrasi radon yang melebihi ambang batas akan berbahaya bagi kesehatan karena peluruhan radon yang singkat sehingga dapat menyebabkan pembusukan dalam paru-paru [8]. Akan tetapi menurut ambang batas yang ditetapkan oleh WHO (*World Health Organisation*) kandungan radon dalam air tanah di sekitar Kawasan Nuklir Pasar Jum'at masih berada di bawah ambang batas yang ditentukan yaitu sebesar 100 Bq/L atau setara dengan 100000 Bq/m³ [9].

Hasil pengukuran konsentrasi radon dalam air tanah Kawasan Nuklir Pasar Jum'at kemudian dicoba untuk dibandingkan dengan hasil studi pengukuran isotop radon dalam air tanah di daerah Semarang menggunakan metode yang sama (Tabel-3). Konsentrasi ²²²Rn di daerah Kawasan Nuklir Pasar Jum'at berkisar antara 482 sampai 23600 Bq/m³, sedangkan konsentrasi ²²²Rn air tanah di daerah Semarang berkisar antara 2830,48 sampai dengan 17013,96 Bq/m³. Variasi pola ²²²Rn dalam air tanah di berbagai tempat telah dijelaskan oleh berbagai ahli. Pola ²²²Rn dalam air tanah merupakan rata-rata dari konsentrasi uranium pada batuan induk, variabel geologi dan hidrologi, keluarnya gas ²²²Rn dari batuan ke air, serta migrasi gas dari sumber ke air tanah yang diukur. Selain itu konsentrasi level radon disebut juga cerminan dari kondisi geologi dan hidrologi. Konsentrasi radon yang terukur di sumur-sumur bor Kawasan Nuklir Pasar Jum'at memiliki pola level radon rendah dan tinggi, pola level radon yang rendah mempunyai konsentrasi kurang dari 2600 Bq/m³, sedangkan pola level radon tinggi mempunyai nilai konsentrasi lebih dari 16000 Bq/m³ [10].

Tabel-3. Data konsentrasi ^{222}Rn dalam air tanah Semarang dan sekitarnya

No.	Lokasi	Konsentrasi ^{222}Rn (Bq/m ³)
1	Sumur bor	17013,96
2	Sumur Gali 1	3897,45
3	Sumur Gali 2	2830,48
4	Sumur Gali 3	5030,211
5	Sumur Gali 4	-
6	Sumur Gali 5	4327,47
7	Sumur Gali 6	5450,21
8	Sumur Gali 7	6011,17

Pengukuran parameter fisik air tanah

Hasil pengukuran parameter fisik air tanah sumur bor Kawasan Nuklir Pasar Jum'at tertera pada Tabel-4.

Berdasarkan data hasil analisis parameter fisik yang tercantum pada Tabel-4, didapatkan bahwa pengukuran temperatur dari air tanah di sekitar Kawasan Nuklir Pasar Jum'at berkisar antara 28,40 sampai dengan 29,50 °C. Besarnya konsentrasi ^{222}Rn yang terukur berbanding terbalik dengan temperatur air tanah yang terukur, semakin tinggi temperatur maka konsentrasi radon yang terukur semakin kecil. Hal ini erat kaitannya dengan sifat mudah terlepasnya gas radon pada temperatur tinggi. Sedangkan nilai pH yang terukur berkisar antara 5,81 hingga 7,74. Rentang pH yang terukur masih berada dalam rentang yang diizinkan yaitu antar 5,0 hingga 9,0, akan tetapi kurang baik jika digunakan sebagai air minum. Menurut peraturan PERMENKES ambang batas air tanah yang baik untuk air minum mempunyai pH 6,5 sampai 8,5 [11].

Tabel-4. Hasil pengukuran parameter fisik air tanah Kawasan Nuklir Pasar Jum'at

No.	Lokasi Sampling	Temperatur (°C)	pH
1	SB belakang gd 45A	29,50	5,81
2	SB dangkal masjid	29,10	6,20
3	SB dangkal lap. tenis	29,40	7,06
4	Bidang Pertanian	29,30	6,61
5	SB dalam lap. tenis	29,00	6,90
6	SB dalam masjid	28,90	7,74
7	Kp. Kapuk-1	29,50	6,40
8	Kp. Kapuk-2	29,10	6,08

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi ^{222}Rn tertinggi terdapat pada sumur bor dalam masjid, sedangkan yang terendah sumur bor belakang gedung 45A. Berdasarkan ambang batas dari IAEA, maka sumur bor belakang gedung 45A dan sumur bor Kapuk-2 yang masih memenuhi ambang batas daerah kerja, sedangkan dari ke delapan sampel sumur air tanah tidak ada yang berada dalam ambang batas untuk daerah rumah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih diucapkan kepada Sahara yang telah membantu dalam pengambilan sampel dan pekerjaan di Laboratorium serta bapak Drs. Satrio, M.T., atas ide dan sumbang sarannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. MITTAL, S., ASHA, R., ROHIT, M., (2016), "Estimation of Radon Concentration in Soil and Groundwater Samples of Northern Rajasthan, India", J. of Radiation Research and Applied Sciences, Vol. 9, No.2, 125-130.
2. SAMDARA, R., ASHAR, M.L., (2008), "Difusi Gas Radon Dari Dalam Tanah di Daerah Bengkulu", J Fisika, Tahun 37, No.1, 25-30.
3. YUFITA, E., RINI, S., (2013), "Identifikasi Kandungan Radon (Rn-222) Pada Bahan Bangunan Batu Bata di Kawasan Aceh Besar, J Teori dan Aplikasi Fisika, Vol. 01, No. 02, 207-214.
4. MICHEL, R.L., KRAEMER, T. dan CECIL, L.D., (2009), "Surface Water, Unsaturated Zone, and Glacial Systems. In: Chapter 5 Radionuclides as Tracers and Timers in Surface and Groundwater. Radioactivity in the Environment., 16, 139-230.
5. ONER, F., YALIM, H., AKKURT, A., ORBAY, M., (2009), " The Measurements of Radon Concentration in Drinking Water and The Yesilirmark River Water in The Area of Amasya in Tukey, J Radiation Protection Dosimetry, Vol. 133, Issue 4, 223-226.
6. ZAENAL, H.S., dan MUNIR, M., (2009), "Kalibrasi Pemantauan Radon Pasif Menggunakan Arang Aktif dan Faktor-faktor yang Mempengaruhinya, unpublished.
7. Durrige Company, (2015), DURRIDGE RAD7 Radon Detector, United State, 2 Boston Rd.
8. KARYONO, SU., (2009), "Keberadaan Gas Radioaktif Radon, Toron dan Aktinon di Bumi yang Harus Diwaspadai. Yogyakarta (ID): Universitas Gajah Mada.
9. WHO, (2011), World Health Organization Publication, Fourth ed, 214-218.
10. BAKTI, H., WILDA, N., RACHMAT, FAJAR, L., ROBERT, MD., SUDARYANTO, (2014), "Penjejak Keluaran Airtanah Lepas Pantai (KALP) di Pantai Utara Semarang dan Sekitarnya dengan ^{222}Rn , J Riset Geologi dan Pertambangan, Vol. 2, No. 1, 43-51.
11. PERMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010.