

## Rancang Bangun Monitor Gas Radon untuk Bahan Bangunan

### *Design of Radon Gas Monitor for Building Materials*

Rasito<sup>1,2\*</sup>, F P. Krisna<sup>1</sup>, Nur F. Syarif<sup>1</sup>, dan Hendro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganेशha No. 10 Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan, Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Jl. Tamansari No. 71 Bandung, Indonesia

\* E-mail : rasito20@gmail.com

#### ABSTRAK

Pemantauan konsentrasi gas radon di udara dalam rumah (*indoor*) dan laju lepasannya dari berbagai jenis bahan bangunan penting dilakukan dalam rangka proteksi radiasi dan keselamatan. Telah dilakukan rancang bangun monitor gas radon menggunakan sistem deteksi partikel alfa dengan bahan detektor jenis sintilator ZnS (Ag). Prinsip pengukuran adalah dengan mengalirkan gas radon lepasan dari bahan bangunan ke dalam ruang detektor. Di dalam ruang detektor, gas radon dideteksi berdasarkan pulsa kelipatan cahaya hasil interaksi partikel alfa dengan bahan detektor. Detektor yang dilengkapi tabung fotomultiplier mengubah kelipatan cahaya menjadi muatan listrik dan selanjutnya dikonversi menjadi pulsa tegangan sekaligus diperkuat oleh penguat awal tipe peka muatan. Jumlah pulsa tegangan yang dihasilkan dihitung menggunakan rangkaian elektronik arduino dan ditampilkan secara grafis dengan LabView yang telah diinstal dalam sebuah komputer. Konsentrasi gas radon sebanding dengan pulsa tegangan yang dihasilkan dikalikan dengan efisiensi ruang detektor. Hasil uji respon pada sampel pasir zirkon menunjukkan bahwa monitor ini dapat digunakan dengan baik untuk mengukur gas radon lepasan dari bahan bangunan.

**Kata kunci** : gas radon, bahan bangunan, detektor sintilasi, arduino

#### ABSTRACT

Monitoring the concentration of radon gas in the air of the house (*indoor*) and its release rate from various types of building materials is important to be carried out in the framework of radiation protection and safety. Radon gas monitor has been designed based on detection of alpha particle with the ZnS(Ag) scintillator type of detector material. The principle of measurement is to drain released radon gas from building materials into the detector chamber. Inside the detector chamber, radon gas is detected based on the pulse of the light resulting from the interaction of the alpha particles with the detector material. Detectors which equipped with photomultiplier tubes converts light into electrical charges and are then converted into voltage pulses while being reinforced by a charge sensitive type of pre amplifier. The number of voltage pulses generated is calculated using Arduino electronic circuit and displayed graphically by pre-installed LabView software in a computer. The concentration of radon gas is proportional to the voltage pulse multiplied by the efficiency of the detector chamber. Test on zirconium samples showed that the monitor worked properly, and it therefore can be used to measure released radon gas from building materials.

**Keywords** : radon gas, building material, scintillation detector, arduino

#### PENDAHULUAN

Radon (Rn-222) adalah salah satu jenis gas mulia, tidak berwarna, tidak berbau, tidak dapat dilihat, dan tidak dapat dirasakan, sehingga tidak dapat dideteksi dengan panca indera, dan bersifat radioaktif [1], [2]. Radon merupakan hasil peristiwa peluruhan alamiah dari unsur radium yang terdapat di dalam air, tanah, dan batuan.

Karena wujudnya yang berupa gas maka radon dapat keluar dari air, tanah, maupun batuan ke udara. Gas radon merupakan unsur radioaktif dengan memancarkan partikel alfa dan meluruh menjadi anak-anak luruh yang juga masih radioaktif. Peluruhan gas radon merupakan bagian dari deret peluruhan uranium U-238 hingga menjadi unsur stabil Pb-206.

Karena sifatnya yang radioaktif maka keberadaan radon di udara dapat mengakibatkan paparan radiasi internal terutama organ paru-paru, jika terhisap. Jika sejumlah besar gas radon terhirup maka partikel alfa yang dihasilkan radon maupun anak luruhnya akan berinteraksi dengan sel mengakibatkan kerusakan. Fenomena inilah yang menjadikan gas radon sebagai salah satu faktor munculnya kanker paru selain akibat asap rokok, polusi udara dan sebab-sebab lainnya. Di USA pada tahun 2010 diperkirakan bahwa gas radon menjadi penyebab kematian sekitar 21.000 orang akibat kanker paru. Oleh karena itu, pemantauan konsentrasi gas radon di udara menjadi sangat penting dalam rangka mengurangi potensi bahaya yang ditimbulkannya.

Konsentrasi gas radon di udara terbuka (outdoor) berkisar  $10 \text{ Bq/m}^3$ , sementara konsentrasi gas radon di dalam rumah (indoor) sangat beragam, bergantung pada desain rumah, ventilasi udara, dan jenis bahan bangunan yang digunakan. Banyak negara sudah menerapkan aturan nilai ambang konsentrasi gas radon di dalam rumah, misalnya di uni Eropa  $400 \text{ Bq/m}^3$  untuk rumah lama dan  $200 \text{ Bq/m}^3$  untuk rumah baru, sedangkan di USA  $150 \text{ Bq/m}^3$ . Bahkan USA telah memiliki batasan laju lepasan gas radon dari jenis-jenis dan merk produk bahan bangunan. Untuk Indonesia belum ada penetapan batasan, sementara ini masih menjadi program Kementerian Kesehatan Republik Indonesia dengan WHO untuk menetapkan kriteria rumah sehat, termasuk di dalamnya adalah batasan konsentrasi gas radon dalam rumah.

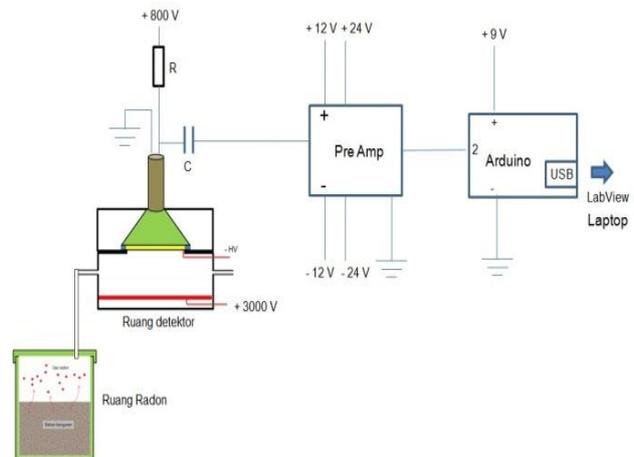
Konsentrasi gas radon lepasan dari bahan bangunan juga beragam, bergantung pada konsentrasi uranium di dalamnya dan sifat fisis bahan seperti porositas. Untuk jenis bahan yang sama namun diambil dari tempat berbeda juga bisa berbeda konsentrasi lepasan gas radonnya. Di Italia, pengukuran bahan bangunan seperti pasir memiliki laju lepasan gas radon antara  $1,9 - 43,1 \text{ mBq/m}^2/\text{j}$  [3]. Di Spanyol untuk pasir  $0,017 \text{ Bq/kg.j}$ , granit  $0,066 \text{ Bq/kg.j}$ , episenit  $0,395 \text{ Bq/kg.j}$  [4]. Di Polandia beton  $0,136 \text{ Bq/L}$  dan batu bata  $0,134 \text{ Bq/L}$  [5], sementara di Brazil batu bata  $0,2 \text{ Bq/L}$  [6]. Granit di Jepang  $0,94 \text{ Bq/m}^2.\text{s}$  [7], sementara di Serbia rata-rata bahan granit melepas radon  $845,43 \text{ Bq/m}^3$  dan semen  $68,42 \text{ Bq/m}^3$  [8]. Di India pasir  $0,05 \text{ Bq/kg.j}$ , marbel  $0,06 \text{ Bq/kg.j}$ , granit  $0,08 \text{ Bq/kg.j}$ , dan semen  $5,27 \text{ mBq/kg/j}$  [9], [10]. Oleh karena lepasan gas radon dari bahan bangunan dapat berbeda satu

tempat dengan tempat lain bergantung kandungan uranium dan sifat bahan maka perlu dilakukan pemantauan konsentrasi gas radon dari jenis-jenis bahan bangunan yang digunakan atau dipasarkan di Indonesia.

Hingga saat ini, produk alat monitor gas radon yang secara khusus untuk memantau lepasan gas radon dari bahan bangunan masih sedikit jenisnya di pasaran dengan harga cukup mahal. Pengukuran lepasan gas radon dari bahan bangunan biasanya dilakukan dengan menempatkan monitor gas radon pada ruang yang berisi gas radon hasil lepasan bahan bangunan, ataupun menempatkannya di tanah seperti model RAD7 [11]. Oleh karena itu perlu dikembangkan monitor gas radon yang dirancang kompak dengan ruang gas radon dari bahan bangunan.

## BAHAN DAN METODE

Dalam penelitian ini, digunakan detektor tipe sintilasi bahan ZnS (Ag) dengan luas permukaan  $100 \text{ cm}^2$  dengan kemampuan menghasilkan  $95.000$  foton per MeV partikel alfa sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2. Foton yang dihasilkan dari ZnS (Ag) diarahkan oleh kaca pemandu dengan efisiensi sekitar 60% ke fotokatoda. Oleh fotokatoda 60% jumlah foton ( $57.000$ ) yang sampai tersebut diubah menjadi elektron, dengan efisiensi fotokatoda sekitar 20% dihasilkan  $11.000$  elektron. Dengan penguatan PMT hingga  $10^6$  kali maka dihasilkan  $1,1 \times 10^{10}$  elektron atau senilai muatan  $1,8 \text{ nC}$ . Detektor dilengkapi PMT yang dioperasikan pada tegangan  $800$  volt. Pulsa muatan yang dihasilkan PMT memiliki waktu  $100 \text{ ps} - 10 \text{ }\mu\text{s}$ . Artinya jika panjang waktu pulsa adalah  $10 \text{ }\mu\text{s}$  maka akan dihasilkan arus  $1800 \text{ }\mu\text{A}$ .



Gambar 1. Bagan monitor gas radon

Bagan monitor gas radon sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1 terdiri dari ruang radon, ruang detektor, penguat awal, dan perangkat elektronik arduino. Gas radon yang dikeluarkan dari bahan bangunan terakumulasi dalam ruang radon dan mengalir ke dalam ruang detektor. Partikel alfa yang dipancarkan dari gas radon di dalam ruang detektor mengenai detektor dan menghasilkan pulsa muatan sekitar 1,8 nC per MeV energi partikel alfa.

Jangkauan partikel alfa di udara sekitar 2-3 cm, sehingga perlu desain ruang sedemikian rupa sehingga radon dapat berinteraksi sedekat mungkin dengan detektor. Cara lain adalah dengan menggunakan medan elektrostatik dengan menempatkan elektroda yang dihubungkan dengan tegangan tinggi. Karena anak luruh radon umumnya menempel pada debu-debu dan bermuatan positif, maka dia dapat ditarik ke elektroda negatif. Dengan pemasangan elektroda negatif dekat dengan detektor maka anak luruh radon cukup dekat dengan detektor. Detektor bekerja dilengkapi dengan PMT yang diberi tegangan tinggi 800 volt dan arus listrik kecil orde mikro amper. Untuk menurunkan arus listrik ke PMT ditambahkan tahanan R sekitar 10 M $\Omega$ . Karena pulsa muatan yang dihasilkan detektor bercampur dengan tegangan tinggi maka dipasang kapasitor C dengan nilai 10 nF untuk melewatkan pulsa muatan ke penguat awal dan memblokir tegangan tinggi dari detektor.

Untuk mengubah pulsa muatan menjadi pulsa tegangan diperlukan pre amplifier tipe peka muatan, karena pulsa tegangan akan dibaca oleh arduino dan arduino hanya bisa membaca pulsa tegangan 5 V maka dibutuhkan penguat awal yang memiliki kemampuan atau sensitivitas di atas 2,8 V/nC. Dalam monitor gas radon ini dipasang penguat awal tipe peka muatan model 2005 produk Canberra dengan sensitivitas 4,5 – 22,7 V/nC. Dengan penguat awal ini maka pulsa muatan 1,8 nC per MeV keluaran detektor dapat diubah menjadi pulsa tegangan 5 V dan siap dibaca arduino. Untuk dapat bekerja penguat awal ini membutuhkan tegangan +24 V, -24 V, +12 V, -12 V sehingga dalam monitor gas radon ini dipasang regulator tegangan *step-up* yang mengkonversi tegangan baterai +9 V menjadi +24 V, -24 V, +12 V, -12 V.

Pulsa tegangan 5 V yang dihasilkan dari penguat awal dihubungkan dengan pin digital no.2 dan *ground*. Untuk dapat bekerja arduino diberi tegangan +9 V. Pembacaan pulsa tegangan

dilakukan dengan menghubungkan kanal USB arduino ke laptop yang sebelumnya telah dipasang program arduino. Program kecil dibuat untuk dapat membaca pulsa tegangan yang masuk di pin 2. Selain program arduino juga dibuat program labview untuk menampilkan grafik jumlah pulsa tegangan sebagai fungsi waktu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

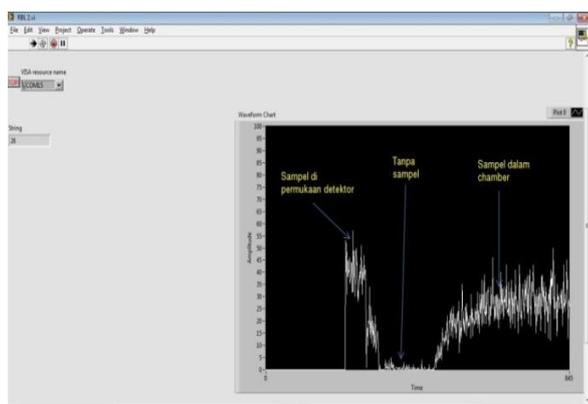
Telah dibuat monitor gas radon dengan detektor sintilasi dan perangkat elektronik sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2. Detektor sintilasi menggunakan bahan ZnS (Ag) model PAS-9 produk *Technical Associate* dilengkapi tabung PMT dengan tegangan operasi 800 volt. Sebuah ruang berupa wadah terbuat dari bahan polietilen diameter 14 cm dan tinggi 5 cm (volume 750 cm<sup>3</sup>) yang berfungsi melewatkan udara ke detektor dilengkapi dengan elektroda positif pada dasar ruang dan elektroda negatif pada permukaan detektor. Perangkat elektronik dalam wadah polietilen transparan adalah terdiri dari rangkaian tegangan tinggi untuk detektor, penguat awal, regulator tegangan, arduino dan baterai. Sumber tegangan tinggi detektor berupa rangkaian dioda pelipat tegangan dari sumber listrik DC 3 volt menjadi tegangan tinggi DC 800 volt. Penguat awal yang digunakan tipe peka muatan model 2005 produk Canberra dengan sensitivitas 4,5-22,7 volt per nano Coulomb. Regulator tegangan DC-DC dengan input 9 volt (baterai) dan output +24 V, +12 V, -24 V, -12 V dipasang sebagai power suplai penguat awal. Arduino Uno digunakan untuk membaca jumlah pulsa yang dihasilkan dari penguat awal.



**Gambar 2.** Komponen dan perangkat elektronik monitor gas radon

Monitor gas radon dioperasikan menggunakan sumber tegangan dari 3 buah

baterai 9 Volt sehingga dapat digunakan untuk melakukan pengukuran di laboratorium maupun di lapangan (secara insitu). Gas radon dialirkan ke dalam ruang detektor menggunakan pompa udara dengan laju alir rendah dan dideteksi oleh detektor sintilasi. Efisiensi deteksi dapat ditingkatkan dengan menaikkan tegangan tinggi (HV) yang dihubungkan dengan dua elektroda di dalam ruang detektor. Anak luruh radon yang bermuatan positif dapat ditarik hingga mendekati permukaan detektor menggunakan medan elektrostatis dari tegangan tinggi tersebut. Setiap interaksi partikel alfa yang dipancarkan dari gas radon dan anak luruh radon akan menghasilkan pulsa tegangan 5 volt per MeV yang terbaca di arduino dan ditampilkan LabView dalam komputer. Pembacaan pulsa dan tampilan grafik fungsi waktu dalam LabView diperlihatkan pada Gambar 3. Tampilan tersebut menunjukkan respon uji detektor terhadap sampel yang menghasilkan gas radon. Pada tampilan tersebut respon terhadap gas radon ditandai dengan munculnya pulsa pada kondisi ada sampel.



**Gambar 3.** Pembacaan cacahan Radon dalam LabView

Uji respon monitor gas radon selanjutnya dilakukan dengan menempatkan bangunan yang memiliki laju lepasan gas radon cukup tinggi. Pada penelitian ini digunakan pasir zirkonium. Bahan pasir zirkonium ini ditempatkan dalam “ruang radon” yang terbuat dari bahan plastik dengan diberi selang yang terhubung dengan ruang detektor. Jumlah pulsa tegangan (cacahan) yang dihasilkan monitor gas radon ini dibaca untuk kondisi sebelum dan sesudah terhubung dengan ruang radon. Data cacahan sebelum ruang detektor dihubungkan dengan ruang radon adalah untuk menentukan kondisi udara (cacah latar).

Jumlah cacahan yang dihasilkan dari gas radon adalah jumlah cacahan total dikurangi cacahan latar.

Pengukuran cacahan monitor gas radon untuk dua kondisi yaitu ruang detektor terbuka dan ruang detektor terhubung dengan ruang radon, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4. Jumlah cacahan per detik (cps) ketika ruang detektor terhubung dengan ruang radon lebih tinggi (0,089 cps) daripada cacahan dalam kondisi ruang detektor terbuka (0,076 cps). Artinya terdapat 0,013 cps dari gas radon lepasan ruang radon yang diisi bahan pasir zirkon. Nilai cacahan 0,013 cps atau 13 cacahan per 1000 detik artinya terdeteksi 13 partikel alfa berinteraksi dengan detektor dalam waktu 1000 detik. Karena 1 gas radon memancarkan 1 partikel alfa maka berarti 13 gas radon yang meluruh dan memancarkan partikel alfa yang mengenai detektor dalam waktu 1000 detik. Karena satuan untuk konsentrasi gas radon adalah Becquerel per liter (Bq/L) atau jumlah peluruhan gas radon per detik per satuan volume liter maka 13 gas radon yang meluruh dalam 1000 detik dalam 750 mL volume ruang detektor, dapat dikatakan konsentrasi gas radon adalah 0,017 Bq/L.



**Gambar 4.** Pencacahan radon lepasan dari bahan bangunan

Nilai 0,017 Bq/L ini adalah konsentrasi gas radon dalam ruang detektor yang memancarkan partikel alfa dan berinteraksi dengan bahan detektor. Pada kenyataannya pancaran partikel alfa dari gas radon yang terdistribusi di dalam ruang tidak seluruhnya (100%) mengenai detektor. Partikel alfa yang dihasilkan gas radon terpancar ke segala arah secara acak dan sebagian besar juga tertumbuk oleh partikel udara dan kehilangan

energi sebelum sampai ke detektor. Oleh karena itu, perlu diketahui efisiensi ruang detektor yang menunjukkan berapa persen gas radon yang meluruh di dalam ruang detektor yang mengenai detektor. Untuk menentukan efisiensi pengukuran gas radon dalam ruang detektor dapat dilakukan melalui dua cara; pertama kalibrasi dengan sumber gas radon standar, dan kedua dengan simulasi menggunakan program komputer. Menyediakan sumber standar berupa gas radon yang sudah diketahui konsentrasinya tidak mudah, oleh karena itu penggunaan program komputer untuk menentukan nilai efisiensi pengukuran gas radon dalam ruang detektor secara simulasi lebih mudah dilakukan.

Beberapa program komputer untuk mensimulasi perjalanan partikel yang berbasis metode Monte Carlo maupun analitik dapat digunakan. Dalam penelitian ini digunakan program komputer *Monte Carlo N-Particle* (MCNP). Program MCNP mensimulasikan partikel alfa yang dihasilkan gas radon terdistribusi homogen di dalam ruang detektor dan terpancar ke segala arah secara acak. Probabilitas partikel alfa di dalam ruang yang mengenai detektor dihitung oleh MCNP yang selanjutnya nilai tersebut merupakan efisiensi ruang. Dari simulasi menggunakan program komputer MCNP ini diperoleh efisiensi ruang 20%. Dengan menggunakan nilai 20% ini sebagai nilai efisiensi ruang maka konsentrasi gas radon di dalam ruang dapat diketahui yaitu 0,085 Bq/L. Jika dibandingkan dengan nilai konsentrasi gas radon yang dihasilkan dari pasir zirkon 0,02-0,252 Bq/L [15] maka hasil pengukuran monitor gas radon tersebut masuk dalam rentang nilai.

## KESIMPULAN

Telah dibuat monitor gas radon untuk pemantauan gas radon di udara dan lepasan dari bahan bangunan menggunakan detektor partikel alfa jenis sintilator ZnS (Ag). Perangkat monitor gas radon terdiri dari ruang gas radon, ruang detektor, penguat awal, arduino, dan komputer. Berdasarkan uji respon memperlihatkan bahwa monitor gas radon mampu mendeteksi adanya gas radon yang dihasilkan dari suatu sampel sumber gas radon. Uji respon terhadap gas radon lepasan bahan bangunan memperlihatkan bahwa monitor untuk konsentrasi gas radon 0,02-0,252 Bq/L dihasilkan 13 pulsa per 1000 detik dan dengan simulasi efisiensi ruang nilai pulsa tersebut

dikonversi menjadi konsentrasi 0,085 Bq/L gas radon.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada ITB atas segala bantuan dan dukungannya, khususnya kepada staf dan operator di laboratorium elektronika dan instrumentasi serta laboratorium fisika dasar. Juga kepada staf dan operator di laboratorium radiologi lingkungan PSTNT BATAN yang telah membantu kegiatan ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Ginting, B. Hari, "Konsentrasi Gas Radon di Permukaan Tanah di Daerah PPTN Serpong dan Puspiptek", *Buletin LIMBAH*, 8, 2004.
- [2] Sutarman, Wahyudi, Luhantara, "Konsentrasi Gas Radon di Udara dan Dalam Rumah Sekitar Nyala Api Kawasan Tambang Minyak", *Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan pada Industri Non-Nuklir*, Jakarta, 2003.
- [3] D. Morelli, R. Catalano, R. Filincieri, dkk., "Radon Exhalation Rate in South-East Sicily Building Materials", *The European Physical Journal Special Topics*, Volume 224, Issue 4, pp. 605-610, May 2015.
- [4] Pereira, D. Pereira, L. Neves, dkk., "Radiological Data on Building Stones from A Spanish Region: Castilla y León", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, pp. 3493-3501, 2013.
- [5] M. Karpinska, Z. Mnich, J. Kapała, dkk., "Indoor Radon Concentrations in Concrete Slab Buildings Situated in Green Hills Housing Estate in Białystok, Poland", *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 17, No. 1, pp. 33-38, 2008.
- [6] L. Fior, J.N. Correa, S.A. Paschuk, V.V. Denyak, H.R. Schelin, B.R.S. Pecequilo, and J. Kappke, "Activity Measurements of Radon from Construction Materials", *Applied Radiation and Isotopes* 70, pp. 1407-1410, 2012.

- 
- [7] N.M. Hassan, M. Hosoda, K. Iwaoka, A. Sorimachi, M. Janik, C. Kranrod, S.K. Sahoo, T. Ishikawa, H. Yonehara, M. Fukushi, and S. Tokonami, "Simultaneous Measurement of Radon and Thoron Released from Building Materials Used in Japan", *Progress in Nuclear Science and Technology*, Vol. 1, pp.404-407, 2011.
- [8] H. Yousef, A. El-Farrash, A. Ela, and Merza, Q., "Measurement of Radon Exhalation Rate in Some Building Materials Using Nuclear Track Detectors". *World Journal of Nuclear Science and Technology*, 5, pp. 141-148, 2015.
- [9] P. Bala, V. Kumar and R. Mehra, "Measurement of Radon Exhalation Rate in Various Building Materials and Soil Samples", *J. Earth Syst. Sci.*, 126: pp.31, 2017.
- [10] N. Sharma, J. Singh, S.C. Esakki, dkk., "A Study of The Natural Radioactivity And Radon Exhalation Rate in Some Cements Used in India and Its Radiological Significance", *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, Volume 9, Issue 1, pp. 47-56, 2016.
- [11] H. Xiaofeng, W. Guosheng, "Surface Radon Exhalation Rates of Building Material And Soil Affect on Indoor Air Radon Concentration", *Procedia Engineering*, Volume 18, pp.122-127, 2011.
- [12] P. Kotrappa dan F. Stieff, "Radon Exhalation Rates from Building Materials Using Electret Ion Chamber Radon Monitors In Accumulators", *Health Phys.*, 97(2), pp.163-6, 2009.
- [13] R.M. Amin, "A Study of Radon Emitted From Building Materials Using Solid State Nuclear Track Detectors", *Journal Of Radiation Research And Applied Sciences*, Volume 8, Issue 4, pp. 516-522, 2015.
- [14] H.A. Yousef, G.M. Saleh, A.H. El-Farrash, and A. Hamza, "Radon Exhalation Rate for Phosphate Rocks Samples Using Alpha Track Detectors", *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, Volume 9, Issue 1, pp. 41-46, 2016.
- [15] <http://calitrix.biz/norm/zirconium>, diakses pada 7 Mei 2018.