

## KONSENTRASI RADON DI UDARA PTNBR-BATAN BANDUNG

Rasito<sup>1</sup>, Soleh Sofyan<sup>1</sup> dan Tri Desita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri BATAN, Jl. Tamansari No.71, Bandung 40132

<sup>2</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Padjajaran, Jl. Bandung-Sumedang KM 21, Jatinangor

### ABSTRAK

**KONSENTRASI RADON DI UDARA PTNBR-BATAN BANDUNG.** Telah dilakukan pengukuran konsentrasi radon di udara PTNBR untuk lokasi dalam ruangan dan luar ruangan menggunakan metode spektrometri sinar- $\gamma$ . Dalam metode ini konsentrasi radon dihitung berdasarkan konsentrasi anak luruh radon pemancar gamma yaitu  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$ . Di udara, kedua anak luruh radon ditangkap menggunakan filter jenis serat kaca GF-8 yang dipasang pada alat pencuplik udara. Jenis dan aktivitas radionuklida dalam cuplikan udara ditentukan menggunakan spektrometer sinar- $\gamma$ . Dari hasil perhitungan dengan rumus kesetimbangan diperoleh konsentrasi radon di dalam ruangan  $0,3 - 47 \text{ Bq/m}^3$  dan di luar ruangan  $0,1 - 0,3 \text{ Bq/m}^3$ . Konsentrasi radon di luar ruangan masih di bawah nilai rata-rata di dunia ( $10 \text{ Bq/m}^3$ ), sementara di dalam ruangan terdapat ruang yang memiliki konsentrasi di atas rata-rata di dunia ( $40 \text{ Bq/m}^3$ ).

**Kata kunci :** radon, anak luruh radon, spektrometri sinar- $\gamma$

### ABSTRACT

**RADON CONCENTRATION IN THE ATMOSPHERE OF PTNBR-BATAN BANDUNG.** Indoors and outdoors radon concentration in PTNBR's atmosphere had been measured using  $\gamma$ -rays spectrometry method. The radon concentrations are determined by measuring concentration of  $\gamma$ -rays emitters of radon progeny i.e.  $^{214}\text{Pb}$  and  $^{214}\text{Bi}$ . The radon progeny in the atmosphere was trapped by fiberglass filter paper GF-8 type set in an air sampler. Radioactivity of filter samples were then measured using  $\gamma$ -ray spectrometry. By this method, it was found that indoor and outdoor radon concentrations in the atmosphere of PTNBR-BATAN, Bandung were  $0,3 - 47 \text{ Bq/m}^3$  and  $0,1 - 0,3 \text{ Bq/m}^3$ . The outdoor radon concentrations are lower than the worldwide average ( $10 \text{ Bq/m}^3$ ), meanwhile the indoor radon concentrations in some building are higher than worldwide average ( $40 \text{ Bq/m}^3$ ).

**Key words :** radon, radon's progeny,  $\gamma$ -ray spectrometry

### 1. PENDAHULUAN

Keberadaan radon di ruangan disebabkan adanya pelepasan radon dari material bangunan yang umumnya terbuat dari bahan tanah dan batuan alam seperti semen, pasir, batu bata, dan kapur. Bahan-bahan tersebut mengandung radionuklida alam, uranium dan thorium. Radon merupakan nuklida anak luruh uranium. Karena wujudnya yang berupa gas maka radon dapat keluar melalui rongga-rongga yang ada di bangunan. Akibatnya gas radon akan

terakumulasi di ruangan dan dapat terhirup manusia.

Radon merupakan unsur radioaktif alam yang berwujud gas. Unsur radioaktif ini menjadi penyumbang dosis radiasi terbesar bagi manusia yaitu 41 % [1]. Radon berpotensi menimbulkan bahaya radiasi interna maupun eksterna. Namun bahaya radiasi interna gas radon jauh lebih besar dari bahaya radiasi eksternanya. Bahaya radiasi interna gas radon adalah ketika terhirup manusia. Radon masuk ke dalam tubuh

melalui sistem pernafasan dan anak luruhnya yang berwujud padat akan mengendap di dalam paru-paru. Radon merupakan unsur radioaktif pemancar alfa sehingga keberadaannya di dalam paru-paru dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan sel. Jaringan yang rusak dapat mati ataupun hidup abnormal (sel kanker). Oleh karena itu udara dengan konsentrasi radon yang tinggi berpotensi besar menimbulkan kanker paru-paru bahkan kematian. Untuk itu konsentrasi radon di udara menjadi penting diketahui untuk mengantisipasi resiko radiologisnya.

Konsentrasi radon di udara dapat diketahui dengan melakukan pengukuran menggunakan metode langsung maupun tidak langsung. Pengukuran dengan metode langsung dapat menggunakan detektor alfa atau sistem deteksi lain yang memanfaatkan karakteristik radiasi alfa yang dipancarkan radon. Adapun dalam metode tidak langsung, konsentrasi radon diperoleh melalui perhitungan konsentrasi anak luruh radon.

Salah satu teknik pengukuran dengan metode tidak langsung adalah spektrometri sinar- $\gamma$ . Konsentrasi radon dihitung dari konsentrasi anak luruh radon terukur, seperti  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$ . Nuklida  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  dapat diukur menggunakan prinsip deteksi sinar- $\gamma$  menggunakan spektrometer sinar- $\gamma$ . Prinsip pendeteksian ini menjadikan metode spektrometri sinar- $\gamma$  lebih praktis dan mudah dikarenakan tidak membutuhkan desain ruang cacah maupun preparasi cuplikan secara khusus.

Di Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri (PTNBR) BATAN, Bandung banyak terdapat bangunan berusia tua yang antara lain dibangun pada tahun 1970an. Dengan usia bangunan yang tua tersebut banyak terjadi perubahan struktur bangunan, terutama jumlah rongga pada dinding maupun lantai. Kondisi tersebut diperkirakan akan meningkatkan konsentrasi gas radon yang keluar dari material bangunan dan masuk ke ruangan. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran konsentrasi gas radon dalam ruangan dan luar ruangan PTNBR agar diketahui apakah peningkatan konsentrasi radon tersebut masih berada pada nilai batas aman atau tidak.

## 2. TATA KERJA

Pengukuran konsentrasi radon di udara dilakukan melalui tiga tahapan yaitu pencuplikan udara, pencacahan dengan

spektrometer sinar- $\gamma$ , dan perhitungan konsentrasi.

### 2.1. Pencuplikan udara

Cuplikan udara di ambil pada 37 lokasi di lingkungan PTNBR menggunakan filter dan alat pencuplik udara. Pencuplik udara yang digunakan adalah *Cartridge air sampler Model AS-2 Technical Associates*. Pencuplik udara ini mampu menghasilkan laju alir udara maksimum 23,7 *cubic feet minute* (cfm) atau 0,671 m<sup>3</sup>/menit. Laju alir udara rata-rata pada alat adalah 20 cfm. Dengan luas permukaan filter 23,7 cm<sup>2</sup> maka laju alir udara yang dilewatkan filter adalah 397 cm/detik. Filter yang digunakan untuk menangkap partikulat anak luruh radon adalah filter kertas jenis serat kaca tipe GF-8 produksi *Schleicher and Schull*. Struktur mikro dari filter jenis serat kaca ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Struktur mikro filter kertas jenis serat kaca.**

Filter dibuat dari bahan serat kaca borosilikat 100 %. Pencuplikan udara dilakukan dengan menempatkan filter pada alat pencuplik udara. Dalam alat pencuplik, udara dialirkan melalui filter dengan laju alir tertentu. Proses penangkapan partikulat anak luruh radon di udara didasarkan pada prinsip gaya tarik listrik statik, karena radon dan juga anak luruhnya umumnya merupakan partikulat bermuatan listrik. Filter serat kaca ini mampu menangkap anak luruh radon dengan efisiensi 99 % pada laju alir udara 0,3 meter per detik, dan efisiensi akan meningkat jika laju alir udaranya diperbesar [2].

Peralatan pencuplik udara selanjutnya ditempatkan di lokasi yang akan di ukur. Posisi alat adalah 1 meter di atas permukaan lantai. Pencuplik udara dihidupkan dengan memberikan tegangan listrik 220 V dan dioperasikan selama 30 menit. Setelah pencuplikan, filter diambil dan siap diukur radioaktivitasnya menggunakan spektrometer sinar- $\gamma$ .

## 2.2. Pengukuran dengan spektrometer sinar- $\gamma$

Cuplikan yang telah diambil dari alat selanjutnya diukur radioaktivitasnya menggunakan spektrometer sinar- $\gamma$ . Pengukuran aktivitas dengan spektrometer sinar- $\gamma$  dilakukan menggunakan detektor *high purity germanium* (HPGe) yang memiliki efisiensi relatif 30 % dan lebar setengah puncak (FWHM) pada energi 1,33 MeV adalah 1,87 eV. Cuplikan yang telah dimasukkan ke dalam kantong plastik ditempatkan di atas permukaan *planset* detektor HPGe. Pembungkusan dengan kantong plastik dimaksudkan untuk menjamin tidak terjadinya kontaminasi pada permukaan detektor. Cuplikan dicacah selama  $\pm 2000$  detik. Perlakuan dan kondisi cuplikan saat pencacahan harus sama dengan kondisi saat kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar. Metode spektrometri sinar- $\gamma$  merupakan metode pengukuran relatif sehingga untuk identifikasi jenis nuklida dan pengukuran radioaktivitasnya diperlukan kalibrasi pada spektrometer, yaitu kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar.

### 2.2.1. Kalibrasi energi

Kalibrasi energi pada *multichannel analyzer* (MCA) dimaksudkan untuk mengubah cacahan sebagai fungsi kanal (*channel*) menjadi cacahan sebagai fungsi energi. Untuk melakukan kalibrasi energi digunakan sumber standar titik multi energi yang berisi nuklida  $^{241}\text{Am}$  (59,5 keV),  $^{137}\text{Cs}$  (661,6 keV), serta  $^{60}\text{Co}$  (1173 keV dan 1332 keV) [3]. Hasil kalibrasi energi selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan nuklida  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  pada cuplikan berdasarkan nilai energinya.

### 2.2.2. Kalibrasi efisiensi

Kalibrasi efisiensi dilakukan untuk mengetahui efisiensi cacahan detektor pada energi gamma yang dipancarkan dari nuklida  $^{214}\text{Pb}$  (352 keV) dan  $^{214}\text{Bi}$  (609 keV). Nilai efisiensi cacahan detektor yang diperoleh untuk masing-masing energi gamma selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi kedua nuklida di dalam cuplikan. Untuk melakukan kalibrasi efisiensi dibutuhkan sumber standar dengan kondisi pencacahan yang sama; wujud, geometri, energi gamma, dan lama pencacahan yang sama dengan cuplikan. Apabila tidak didapatkan sumber standar dengan energi yang sama maka masalah ini diatasi dengan membuat

kurva efisiensi sebagai fungsi energi. Kurva efisiensi dibuat dengan mencacah sumber standar multi energi gamma dengan energi antara puluhan hingga ribuan keV. Sumber standar cuplikan udara yang digunakan adalah filter yang telah ditetesi beberapa radionuklida dengan aktivitas tertentu yang memancarkan sinar- $\gamma$  dengan energi 80 - 1800 keV.

### 2.2.3. Konsentrasi $^{214}\text{Pb}$ dan $^{214}\text{Bi}$

Radionuklida  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  di dalam cuplikan diidentifikasi berdasarkan nilai energi (puncak) yang ditampilkan dalam spektrum sinar- $\gamma$ . Puncak dari nuklida  $^{214}\text{Pb}$  cukup banyak, namun puncak yang paling tinggi adalah pada energi 352 keV karena kelimpahan gammanya yang besar yaitu 37 %. Sementara puncak tertinggi untuk  $^{214}\text{Bi}$  adalah pada energi gamma 609 keV dengan kelimpahan 44,9 % [3]. Kedua puncak energi yang ditampilkan pada spektrum sinar- $\gamma$  selanjutnya digunakan untuk menghitung aktivitas  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$ . Konsentrasi nuklida ( $A_{(i)}$ ) dalam cuplikan dihitung menggunakan persamaan :

$$A_{(i)} = \frac{cps}{\varepsilon \cdot I_{\gamma}} \quad (\text{Bq}), \dots\dots\dots (1)$$

dengan  $i$  adalah nuklida  $^{214}\text{Pb}$  atau  $^{214}\text{Bi}$ ,  $cps$  adalah cacah per detik yang ditampilkan oleh MCA,  $\varepsilon$  adalah nilai efisiensi dari masing-masing energi berdasarkan hasil kalibrasi efisiensi, dan  $I_{\gamma}$  adalah kelimpahan sinar- $\gamma$  dari masing-masing puncak energi kedua nuklida.

Konsentrasi masing-masing anak luruh radon yang diperoleh dari persamaan (1) merupakan konsentrasi anak luruh radon di dalam filter. Untuk menghitung konsentrasi radon di udara perlu diketahui konsentrasi anak luruh radon di udara. Karena kedua nuklida memiliki umur pendek sementara waktu pencuplikan hampir sama dengan waktu paro kedua nuklida maka konsentrasi anak luruh radon di udara (C) dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$C = \frac{A_{(i)} \cdot \lambda}{\varepsilon_f \cdot v \cdot (1 - e^{-\lambda \tau})}, \quad (\text{Bq/m}^3) \dots\dots\dots (2)$$

dengan  $\varepsilon_f$  adalah efisiensi tangkapan filter,  $\lambda$  adalah konstanta peluruhan nuklida,  $v$  adalah laju alir udara yang melewati filter, dan  $\tau$  adalah lama waktu pencuplikan udara.

### 2.3. Perhitungan konsentrasi radon

Konsentrasi radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) dihitung berdasarkan nilai aktivitas anak luruhnya yaitu  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  menggunakan persamaan kesetimbangan radon yang direkomendasikan NCRP [4]:

$$C_{(^{222}\text{Rn})} = \frac{0,105 C_{(^{218}\text{Po})} + 0,516 C_{(^{214}\text{Pb})} + 0,379 C_{(^{214}\text{Bi})}}{F}, \quad (3)$$

dengan F adalah faktor kesetimbangan. Untuk pengukuran dalam ruangan nilai F adalah 0,4 dan untuk luar ruangan 0,8 [4]. Karena nuklida  $^{218}\text{Po}$  bukan pemancar sinar- $\gamma$  maka konsentrasinya tidak diperoleh dari metode ini. Konsentrasi  $^{218}\text{Po}$  di udara didapatkan dari hasil pengukuran rasio konsentrasi  $^{218}\text{Po}$  dengan  $^{214}\text{Pb}$  dengan metode pencacahan cuplikan udara kontinyu menggunakan detektor alfa dan gamma terintegrasi. Dengan metode ini diperoleh rasio konsentrasi  $^{214}\text{Pb}/^{218}\text{Po}$  untuk dalam ruangan 0,5 dan 0,7 untuk luar ruangan [5,6]. Dengan rasio  $^{214}\text{Pb}/^{218}\text{Po}$  tersebut persamaan (3) dapat disederhanakan menjadi:

$$C_{(^{222}\text{Rn})} = 1,421 C_{(^{214}\text{Pb})} + 0,948 C_{(^{214}\text{Bi})}, \quad (4a)$$

untuk konsentrasi radon di dalam ruangan, dan:

$$C_{(^{222}\text{Rn})} = 0,737 C_{(^{214}\text{Pb})} + 0,474 C_{(^{214}\text{Bi})} \quad (4b)$$

untuk diluar ruangan adalah.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrometri sinar- $\gamma$  dapat digunakan sebagai metode tidak langsung untuk identifikasi dan pengukuran konsentrasi radon di udara, karena anak luruh radon merupakan pemancar gamma. Namun demikian metode ini memerlukan beberapa tahapan perhitungan karena konsentrasi radon tidak terukur secara langsung. Konsentrasi radon dihitung berdasarkan konsentrasi anak luruhnya yaitu  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$ .

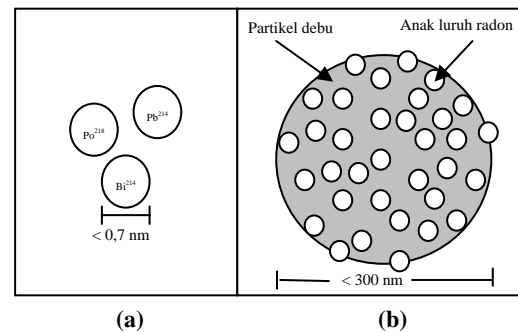
Ukuran partikel anak luruh radon di udara dapat dibedakan menjadi dua, yaitu anak luruh radon bebas dan anak luruh radon terikat. Anak luruh radon bebas adalah partikel tunggal yang belum terikat dengan partikulat udara lainnya. Oleh karena itu anak luruh radon bebas hanya terjadi dalam waktu singkat. Umumnya anak luruh radon bebas berada di ruangan yang

rendah kandungan partikulat udaranya, misalnya ruangan tidak berdebu, kering, dan bebas asap. Anak luruh radon bebas memiliki ukuran partikel yang sangat kecil yaitu 0,7 nm [7].

Anak luruh radon terikat adalah anak luruh radon yang telah terikat pada partikulat lain di udara. Karena terikat dengan partikulat udara maka ukurannya menjadi lebih besar yaitu 150 nm [7]. Dengan ukurannya yang lebih besar menjadikan anak luruh radon terikat lebih mudah ditangkap filter dibandingkan anak luruh radon bebas. Ilustrasi anak luruh radon bebas dan terikat di udara diperlihatkan pada Gambar 2.

Untuk menangkap anak luruh radon bebas yang berukuran sangat kecil dibutuhkan alat pencuplik udara dengan efisiensi filter yang tinggi. Efisiensi filter jenis serat kaca GF-8 dalam menangkap anak luruh radon di udara adalah 99% [8].

Umumnya efisiensi filter dipengaruhi beberapa faktor diantaranya adalah ukuran serat, kerapatan serat, laju alir udara, dan diameter partikulat. Akan tetapi menurut Bunawas (2006), efisiensi filter jenis serat kaca tidak banyak dipengaruhi oleh ukuran partikel karena filter ini menangkap anak luruh radon menggunakan mekanisme listrik statik.



Gambar 2. Anak luruh radon di udara (a) bebas dan (b) terikat.

Filter di dalam pencuplik udara diupayakan tidak sampai jenuh. Kondisi jenuh terjadi ketika pori-pori filter telah tertutupi oleh partikulat udara. Filter yang jenuh akan menghambat aliran udara, sehingga terjadi penurunan debit udara. Kejenuhan filter dapat dipengaruhi oleh dua hal yaitu kondisi udara dan lama waktu pencuplikan udara.

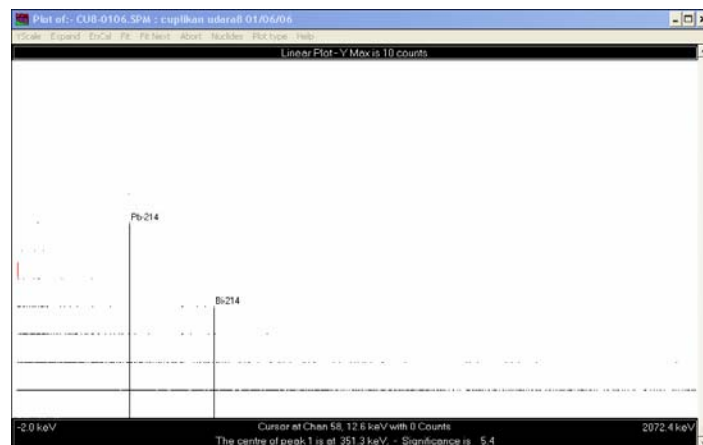
Cuplikan udara diambil pada siang hari dan dengan kondisi tidak hujan. Lama waktu pengambilan cuplikan udara hanya 30 menit

untuk semua kondisi udara. Berdasarkan hasil pengamatan laju alir udara pada alat pencuplik udara terlihat bahwa selama pengambilan udara tidak pernah terjadi perubahan laju alir udara yang signifikan. Hal ini menunjukkan tidak terjadinya kejenuhan pada filter dan pengaruh laju alir udara terhadap efisiensi filter dapat diabaikan.

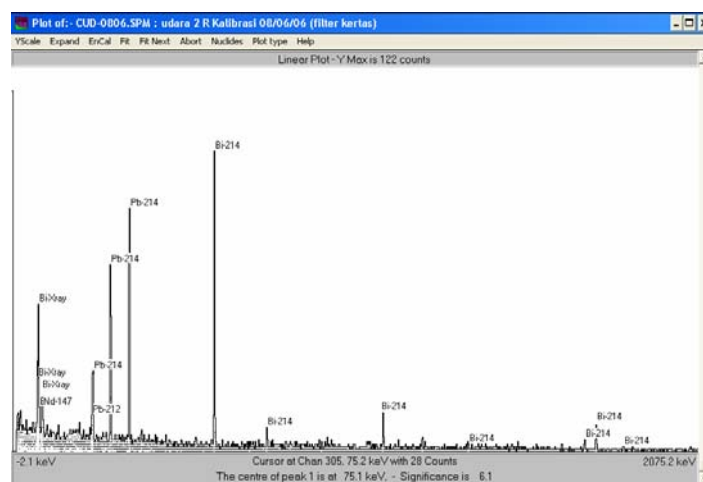
Karena waktu paro kedua anak luruh radon singkat yaitu dalam orde menit maka perubahan nilai konsentrasi akibat peluruhan selama pencuplikan, preparasi cuplikan, dan pencacahan juga diperhitungkan. Interval waktu antara pencuplikan dengan pencacahan cuplikan udara telah diupayakan sesingkat mungkin untuk meminimalkan peluruhan anak luruh radon yang umumnya memiliki waktu paro yang pendek.

Spektrum sinar- $\gamma$  dari cuplikan memperlihatkan puncak-puncak energi yang

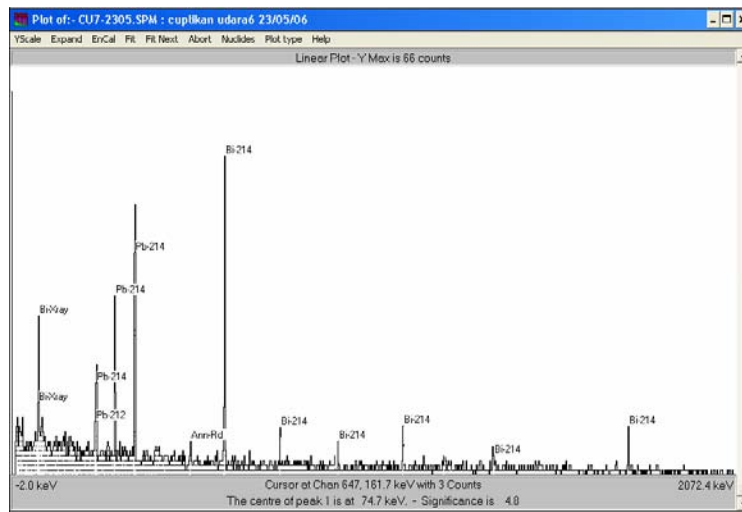
dipancarkan dari nuklida  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$ . Tampilan spektrum sinar- $\gamma$  dari cuplikan udara di beberapa lokasi di PTNBR diperlihatkan pada Gambar 3, 4, dan 5. Perbedaan terlihat pada tampilan spektrum sinar- $\gamma$  di tiga lokasi pengambilan cuplikan udara. Spektrum sinar- $\gamma$  pada cuplikan udara di *hall* reaktor dan ruang kalibrasi lebih banyak menampilkan puncak energi dari anak luruh radon dengan nilai cacahan yang juga lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi anak luruh radon di kedua lokasi lebih besar. Sementara spektrum sinar- $\gamma$  untuk cuplikan udara yang diambil dari lapangan parkir hanya menampilkan dua puncak energi sinar- $\gamma$  masing-masing dari  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$ . Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi anak luruh radon di lapangan parkir lebih kecil.



Gambar 3. Spektrum sinar- $\gamma$  dari cuplikan udara di lapangan parkir.



Gambar 4. Spektrum sinar- $\gamma$  dari cuplikan udara di ruang kalibrasi.



Gambar 5. Spektrum sinar- $\gamma$  dari cuplikan udara di *hall* reaktor.

Konsentrasi anak luruh radon di udara didominasi oleh  $^{214}\text{Pb}$ , sebab waktu paro  $^{214}\text{Pb}$  lebih panjang dibandingkan dengan waktu paro anak luruh radon lainnya. Waktu paro yang panjang memungkinkan  $^{214}\text{Pb}$  berada di udara lebih lama. Oleh karena itu tampilan spektrum sinar- $\gamma$  dari pencacahan cuplikan udara umumnya akan lebih sering memunculkan spektrum  $^{214}\text{Pb}$ .

Sebelum melakukan pencuplikan udara di lokasi tertentu harus diperkirakan tingkat konsentrasi radon di lokasi tersebut. Radon dan anak luruhnya merupakan nuklida berat sehingga konsentrasi yang terukur di daerah permukaan tanah maupun lantai akan lebih besar dibandingkan tempat yang lebih tinggi. Oleh karena itu pencuplikan udara untuk lokasi di luar gedung (*outdoors*) dilakukan di tempat yang rendah, dengan ketinggian sekitar 1 meter di atas permukaan tanah. Pencuplikan udara dalam gedung dilakukan pada ketinggian  $\pm 1$  meter di atas permukaan lantai, karena konsentrasi radon dan anak luruhnya yang ada di dalam gedung (*indoors*) tidak hanya disumbang oleh material lantai tetapi juga oleh material dinding dan langit-langit gedung. Ketinggian titik pengambilan udara juga mempertimbangkan tinggi rata-rata manusia penghirup udara, mengingat pemantauan konsentrasi radon di udara juga ditujukan bagi keselamatan manusia.

Meskipun banyak tahapan yang harus dilakukan, penggunaan metode spektrometri sinar- $\gamma$  untuk mengukur konsentrasi radon di udara memiliki beberapa keunggulan. Keunggulan tersebut antara lain; teknik pengambilan cuplikan yang cukup sederhana

dan tidak membutuhkan preparasi cuplikan rumit. Keuntungan lainnya adalah sinar- $\gamma$  memiliki daya tembus besar sehingga kondisi cuplikan dengan detektor tidak banyak berpengaruh.

### 3.1. Konsentrasi radon di udara

Energi karakteristik sinar- $\gamma$  dalam spektrum hasil cacahan cuplikan digunakan untuk mengidentifikasi nuklida yang ada di cuplikan, sedangkan nilai cacahan perdetiknya digunakan untuk menghitung konsentrasi nuklida dalam cuplikan. Konsentrasi  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  dalam cuplikan (filter) dihitung menggunakan persamaan (1).

Namun demikian konsentrasi dari kedua anak luruh radon yang diperoleh tidak secara langsung dapat dimasukkan ke dalam persamaan (4) untuk mendapatkan konsentrasi radon, karena konsentrasi yang diperoleh adalah konsentrasi  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  yang tertangkap dan meluruh di filter, sementara yang diperlukan untuk menghitung radon adalah konsentrasi  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  di udara. Untuk itu diperlukan persamaan (2) untuk menghitung konsentrasi  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  di udara dengan mempertimbangkan peluruhan pada saat pencuplikan.

Untuk mendapatkan konsentrasi  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  di udara maka efisiensi filter harus diperhitungkan. Efisiensi filter menunjukkan persentase  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  di udara yang tertangkap filter. Dengan memasukkan nilai efisiensi filter ke dalam persamaan (2) diperoleh konsentrasi  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  di udara.

Nilai konsentrasi  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  di udara yang diperoleh selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan (4a) untuk mendapatkan nilai konsentrasi radon di dalam ruangan dan ke dalam persamaan (4b) untuk di luar ruangan.

Dalam pencacahan didapatkan beberapa cuplikan udara pada lokasi tertentu yang hanya menampilkan spektrum gamma nuklida  $^{214}\text{Pb}$  dan  $^{214}\text{Bi}$  dengan sedikit puncak. Hal ini diakibatkan rendahnya konsentrasi radon di

lokasi tersebut sehingga beberapa energi karakteristik dengan kelimpahan gamma kecil tidak terdeteksi. Cuplikan udara yang memberikan hasil demikian umumnya ditemukan di lokasi-lokasi dengan udara terbuka.

Hasil perhitungan konsentrasi radon di udara PTNBR diperlihatkan pada Tabel 1. Data tersebut merupakan hasil pengukuran yang dilakukan pada bulan Maret – Juni 2006.

**Tabel 1. Konsentrasi radon indoor di udara PTNBR hasil pengukuran dengan metode spektrometri sinar- $\gamma$ .**

Gedung	Lokasi		Konsentrasi Radon ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	
		Ruang		
A		Ruang reaktor	18,0	
		Stack reaktor	3,8	
		Deck reaktor	13,0	
		Hall reaktor	47,0	
		Lab. Kimia atas, Lt. II	6,2	
		Koridor lantai I	1,4	
		Lab. Pneumatic	7,6	
		Lab. Teknologi Proses Radioisotop I	8,0	
		Lab. Teknologi Proses Radioisotop II	1,4	
		Lab. Sintesis Senyawa Bertanda I	1,7	
		Lab. Sintesis Senyawa Bertanda II	4,5	
	B		Koridor lantai I	1,0
			Ruang serba guna, Lt. II	0,4
C		Ruang staf SBR 1, Lt. I	0,6	
		Lab. HPLC dan IR, Lt. II	1,6	
		Ruang staf SBR 8, Lt. III	0,8	
D		Tangga lantai I	1,7	
		Ruang operator reaktor lantai II	0,4	
E		Ruang Kalibrasi	16,0	
F		Biologi, koridor lantai I	2,0	
		Biologi, koridor lantai II	1,6	
		SEM, koridor lantai I	2,7	
		SEM, koridor lantai II	1,0	
		Ruang depan Lab. Metalurgi, Lt. I	4,0	
		Metalurgi, koridor Lt. II	2,0	
		Lab. Biologi, lantai I	1,2	
		Ruang Peralatan PRKK	0,8	
G		Lab. Teknologi Reaktor lantai I	1,4	
		Ruang staf Teknologi Reaktor, lantai II	2,2	
H		Bengkel elektromekanik	0,4	
I		Lab. pengolahan limbah cair	7,0	
K		Laundry	1,8	

**Tabel 2. Konsentrasi radon *outdoor* di udara PTNBR hasil pengukuran dengan metode spektrometri sinar- $\gamma$ .**

<b>Lokasi</b>		<b>Konsentrasi Radon (<math>Bq/m^3</math>)</b>
Alam Terbuka	Halaman pos jaga	0,3
	Lapangan tenis	0,3
	Lapangan parkir	0,2
	Lapangan rumput belakang gedung C	0,1
	Parkir kendaraan	0,1

Pada Tabel 1 dan 2 diperlihatkan bahwa konsentrasi radon di dalam gedung jauh lebih tinggi daripada di luar gedung. Konsentrasi radon di dalam gedung terbesar adalah di ruang *hall* reaktor dan terkecil di ruang operator reaktor. Konsentrasi radon di luar gedung terbesar adalah di lapangan tenis dan terkecil di area parkir kendaraan. Tingginya konsentrasi radon di dalam gedung dapat disebabkan oleh konsentrasi radon yang tidak hanya disumbang dari tanah seperti halnya di alam terbuka tetapi juga disumbang oleh dinding, lantai dan langit-langit ruangan. Faktor lain yang dapat menyebabkan tingginya konsentrasi radon di gedung tersebut adalah karena memiliki tekanan negatif. Hal ini menyebabkan sirkulasi udara menjadi kurang baik sehingga mobilitas udara di dalam ruangan lebih rendah dibandingkan di luar ruangan.

Ruangan yang tertutup dengan ventilasi yang kurang baik atau jarang dibuka dapat mengakibatkan gas radon sulit keluar. Hal ini disebabkan karena sirkulasi udara yang terhambat, sehingga berakibat meningkatnya konsentrasi radon. Kondisi tersebut dapat terlihat di *hall* reaktor, ruang reaktor, dan ruang kalibrasi gedung E dengan ventilasi udara ruangan yang dibuat sangat minim sehingga menyebabkan konsentrasi radon jauh lebih besar dibandingkan ruang lainnya.

Konsentrasi radon dalam ruangan terbesar adalah di bagian lantai dasar. Hal ini disebabkan karena radon dan anak luruhnya merupakan nuklida berat sehingga umumnya hanya menempati lapisan udara terendah. Oleh karena itu konsentrasi radon yang terukur di lantai I gedung SEM lebih tinggi daripada konsentrasi radon di lantai II. Sama halnya konsentrasi radon di Gedung B, D, dan F.

Faktor topografis tanah juga berpengaruh terhadap konsentrasi radon di udara. Bangunan yang terletak di daerah cekungan akan memiliki konsentrasi radon yang lebih tinggi dibandingkan bangunan yang berada di daerah datar. Hal ini disebabkan karena daerah

cekungan memiliki mobilitas udara yang kurang dinamis dibandingkan daerah datar sehingga menjadikan radon lebih mudah terakumulasi. Oleh karena itu konsentrasi radon di gedung F, G, dan K lebih tinggi dibandingkan gedung-gedung yang berada di daerah datar seperti gedung B, C, dan D.

Selain beberapa faktor di atas faktor waktu dan musim juga berpengaruh terhadap peningkatan konsentrasi radon di udara. Namun karena pengambilan cuplikan udara dilakukan dalam satu musim (bulan Maret – Juni) dan waktunya adalah pada siang hari maka pengaruh dari kedua faktor tersebut tidak teramati.

Dari hasil perhitungan diperoleh konsentrasi radon dalam udara di lingkungan PTNBR yaitu untuk *indoor* 0,3 – 47  $Bq/m^3$  dan untuk *outdoor* 0,1 – 0,3  $Bq/m^3$ . Hasil ini sedikit lebih rendah dari yang diperoleh Bunawas, dkk (2004) pada pengukuran konsentrasi radon untuk 1.060 rumah di pulau Jawa, Madura, Sumatra, dan Bangka yaitu 12 – 155  $Bq/m^3$  dengan rata-rata 38  $Bq/m^3$  [9].

Menurut UNSCEAR konsentrasi radon rata-rata di dunia untuk luar ruangan adalah 10  $Bq/m^3$  dan untuk dalam ruangan adalah 40  $Bq/m^3$  [10]. Oleh karena itu konsentrasi radon di luar ruang gedung PTNBR lebih rendah dari konsentrasi rata-rata radon di dunia, sementara untuk di dalam ruangan terdapat beberapa ruangan yang memiliki konsentrasi radon lebih tinggi dari konsentrasi rata-rata.

Karena adanya potensi bahaya untuk beberapa lokasi yang memiliki kadar radon tinggi maka perlu dilakukan proteksi radiasi interna untuk mengurangi dampak radiologis pada manusia. Selain itu perlu juga dilakukan upaya mengurangi konsentrasi radon. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan cat tembok minyak yang memiliki daya hambat radon cukup besar pada dinding ruangan. Upaya lain yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan ventilasi atau sirkulasi udara di ruang tersebut.



#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan metode spektrometri sinar- $\gamma$  diperoleh konsentrasi radon di PTNBR-BATAN Bandung untuk dalam ruangan adalah 0,3 – 47 Bq/m<sup>3</sup> dan luar ruangan adalah 0,1 – 0,3 Bq/m<sup>3</sup>. Konsentrasi radon rata-rata luar ruangan termasuk rendah dibandingkan konsentrasi rata-rata radon luar ruangan di dunia menurut UNSCEAR yaitu 10 Bq/m<sup>3</sup>, dan konsentrasi rata-rata dalam ruangan juga termasuk rendah dibandingkan konsentrasi rata-rata radon dalam ruangan di dunia menurut UNSCEAR yaitu 40 Bq/m<sup>3</sup>. Namun demikian terdapat ruangan yang memiliki konsentrasi radon tinggi yaitu gedung reaktor (47 Bq/m<sup>3</sup>) sehingga perlu dilakukan upaya untuk mengurangnya misalnya dengan melakukan pengecatan.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Widodo dan juga pihak Pusdiklat BATAN atas bantuannya dalam meminjam sumber standar cuplikan udara. Terima kasih disampaikan juga kepada Bapak Sudradjat dan Ade Suherman atas bantuannya dalam pencacahan dan pembuatan tampilan spektrum menggunakan spektrometer sinar- $\gamma$  di lab cacah bidang K2. Juga kepada Ibu Rini Heroe Oetami dan Ibu Mutiah atas bantuannya dalam diskusi serta meminjam buku koleksi pribadinya.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. UNSCEAR, United Nations, New York (1993).
2. WINKLER, R., dan K. AEHLIG, Temporal Variation of Thoron Decay Product Concentration in the Atmosphere

#### 7. DISKUSI

##### Azmairit Aziz – PTNBR BATAN :

Konsentrasi radon di dalam beberapa ruangan PTNBR – BATAN adalah di atas rata-rata di dunia (40 Bq/m<sup>3</sup>). Kira-kira ini disebabkan oleh apa? Apakah sistem ventilasi di ruangan tersebut yang kurang baik? Dari literatur yang pernah kami ketahui bahwa konsentrasi radon di ruangan dapat diminimalisasi dengan membuat sistem ventilasi yang bagus pada setiap ruangan. Mohon penjelasannya.

##### Rasito :

Konsentrasi radon *indoor* yang terukur di atas rata-rata hanyalah di *hall* reaktor (47 Bq/m<sup>3</sup>), hal tersebut disebabkan karena desain ruang reaktor yang tidak terbuka untuk proteksi kontaminasi udara. Untuk itu pengurangan konsentrasi radon bisa dilakukan dengan mengalirkan udara melalui *blower* yang terhubung ke cerobong.

- and Comparison with Radon Decay Product Concentration, Radiation Environ Biophys, 37 (1) (1998) 35-39.
3. BLAAUW, M., The  $k_0$ -consistent IRI Gamma-ray Catalogue for INAA, Den Haag: Interfacultair Reactor Instituut van de Technische Universiteit Delft (1996).
  4. NCRP, Measurement of Radon and Radon Daughters in Air, Recommendation of The NCRP, (NCRP Report No.97), Bethesda (1988)
  5. SINGH KULWANT, S. MANMOHAN, S. SURINDER, SAHOTA, H.S. DAN PAPP, Z., Variation of Radon (<sup>222</sup>Rn) progeny concentrations in Outdoor, Air as a Function of Time, Temperature, and Relative Humidity, Elsevier.Ltd. (2004)
  6. SINGH KULWANT, Departement of Physics, Guru Nanak Dev University, India. (Komunikasi Pribadi) (2006)
  7. FUKUTSU, K., YAMADA, Y., TOKONAMI, S., IIDA, T., A New Graded Screen Array for Radon Progeny Size Measurements and Its Numerical Verification, J. Atmospheric Electricity (2003)
  8. HÖTZL H., R. WINKLER., Rapid determination of radon daughter and of artificial radionuclides in air by online gamma-ray spectrometry, J. Radiation and Environmental Biophysics, 32 (2) (1992) 129 – 135.
  9. BUNAWAS, “Status Mutakhir Paparan Radon dan Resiko Kanker Serta Upaya Proteksi Radiasi ke Depan”, BATAN, Jakarta (2004)
  10. DANIEL J. STECK, R. WILLIAM FIELD, CHARLES, F. LYNCH, Exposure to atmospheric radon, Environmental Health Perspective, 107 (2) (1999) 123 – 127.

**Toga S. – PTNBR BATAN**

1. Apakah penelitian ini menggunakan standar yang tersertifikasi?
2. Menurut saya, RGU dan RGTh untuk tanah, apa bisa digunakan untuk semen?
3. Waktu cacah 40.000, bukan 80.000 detik?

**Rasito :**

1. Material standar ini bersertifikasi dan digunakan untuk interkomparasi IAEA dengan BATAN.
2. RGU dan RGTh adalah material standar untuk batuan (IAEA). Untuk semen juga dapat digunakan karena memiliki kesamaan matriks yaitu silika.
3. Untuk sampel lingkungan biasanya memang dibutuhkan pencacahan yang lama, namun dengan waktu 40.000 detik sudah diperoleh cacahan anak luruh dengan persentase kesalahan lebih dari 10%, sehingga sudah cukup layak untuk digunakan sebagai data cacahan.

**Endang Kurnia PTNBR BATAN**

1. Apakah dari penelitian ini ada saran untuk tidak membeli semen dengan merk tertentu dengan pertimbangan tingginya aktivitas radium ekivalen yang dikandungnya?
2. Apa tujuan atau manfaat dari pengukuran ini ?

**Rasito :**

1. Saran akan diberikan kepada produsen semen yang memiliki konsentrasi radionuklida alam tinggi agar memindahkan lokasi penambangan material semen yang memiliki konsentrasi radionuklida alam yang lebih rendah. Namun demikian seluruh produk semen yang dipasarkan di Indonesia berdasarkan hasil pengukuran masih termasuk di bawah nilai maksimum untuk material bangunan.
2. Tujuan pengukuran ini adalah untuk mengetahui konsentrasi radionuklida alam di dalam semen. Manfaatnya adalah dapat digunakan untuk menghitung dosis radiasi yang dipancarkan dari material bangunan (semen).