

## PENENTUAN KONSENTRASI GAS RADON DAN THORON MENGGUNAKAN DETEKTOR FILM LR-115 DI DKI DAN SEKITARNYA

Sutarman, Leli Nirwani, Emlinarti dan Asep Warsona

P3KRBiN – BATAN

### ABSTRAK

**PENENTUAN KONSENTRASI GAS RADON DAN THORON MENGGUNAKAN DETEKTOR FILM LR-115 DI DKI DAN SEKITARNYA.** Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) dan thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) adalah suatu sumber radiasi yang mempunyai efek negatif terhadap kesehatan manusia karena mereka adalah gas mulia dan bersifat radioaktif. Mereka mudah terhirup dan terendapkan di dalam paru and dalam waktu yang lama dapat menyebabkan kanker paru. Pengukuran konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  indoor dilakukan menggunakan metode detektor jejak alfa (dosimeter radon-thoron pasif dengan film LR-115 tipe II sebagai detektornya). Dosimeter tersebut dipasang di ruang keluarga dan kamar tidur 36 rumah di DKI dan sekitarnya selama tiga bulan. Hasil pengukuran memperlihatkan bahwa konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  dan  $^{220}\text{Rn}$  bervariasi yang berkisar dari tak terdeteksi sampai  $(66 \pm 40) \text{ Bq/m}^3$  untuk  $^{222}\text{Rn}$  dan tak terdeteksi sampai  $(20 \pm 3) \text{ Bq/m}^3$  untuk  $^{220}\text{Rn}$ , yang bergantung pada kondisi rumah (bahan bangunan, ventilasi, dan struktur geologi). Konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  dan  $^{220}\text{Rn}$  rata-rata paling tinggi ditemukan di sebuah rumah yang terletak di daerah Klapa Gading, Jakarta Utara (No. 26), yaitu  $(66 \pm 40) \text{ Bq/m}^3$  untuk  $^{222}\text{Rn}$  dan  $(20 \pm 3) \text{ Bq/m}^3$  untuk  $^{220}\text{Rn}$ . Apabila data tersebut dibandingkan dengan konsentrasi tertinggi dan dosis efektif tahunan yang diijinkan di lingkungan, seluruh hasil pengukuran yang diperoleh masih di bawah nilai batas yang telah ditetapkan. oleh ICRP. Tujuan dari penelitian ini untuk mengumpulkan data dan mendapatkan data dasar untuk konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  di dalam rumah-rumah di Indonesia.

**Kata kunci :** Konsentrasi, detektor jejak alfa,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$

### ABSTRACT

**DETERMINATION OF RADON AND THORON CONCENTRATIONS USING THE LR-115 FILM DETECTOR IN DKI AND ITS SURROUNDINGS.** Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) and thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) are a natural radiation resource that have a negative effect on human healthy since they are the noble gas and radioactively. They are easily inhaled and deposited in the lungs and over long periods of time can to cause the risk lung cancer. The measurement of indoor  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  concentrations were carried out using the alpha track detector method (the passive radon-thoron dosimeter with LR-115 film of type II as its detector). The dosimeters were placed in the living rooms and bed rooms at 36 houses in DKI and its surrounding for three months. The result of measurement showed that the  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  concentrations were various the ranging from undetectable to  $(66 \pm 40) \text{ Bq/m}^3$  for  $^{222}\text{Rn}$  and undetectable to  $(20 \pm 3) \text{ Bq/m}^3$  for  $^{220}\text{Rn}$ , depending on house conditions (building material, ventilation, and geological structure). The highest of average  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  concentrations were found a house that located at Kelurahan Gading region, North Jakarta (No.26). When the data are compared to the maximum permissible concentration and doses limit in the environment, the measurement values are all below those limits. The aim of this study was the data collecting and to obtain the baseline data for the indoor  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  concentrations in Indonesia.

**Key word :** concentration, alpha track detector,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$

### PENDAHULUAN

Disadari atau tidak penduduk dunia selalu mendapat radiasi yang berasal dari radiasi alam (*natural radiation*) dan buatan manusia

(*artificial atau man-made radiation*). Sumber radiasi alam berasal dari ruang angkasa, seperti radiasi matahari dan bintang-bintang, serta radiasi kosmik. Beberapa radionuklida kosmik,

seperti  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ , dan  $^7\text{Be}$  yang disebut sebagai radionuklida kosmogenik. Sumber radiasi yang berasal dari dalam bumi (kerak bumi) berasal dari deret uranium ( $^{238}\text{U}$ ), deret thorium ( $^{232}\text{Th}$ ), deret aktinium ( $^{235}\text{U}$ ) dan kalium-40 ( $^{40}\text{K}$ ). Radionuklida tersebut disebut radionuklida primordial [1]. Sumber radiasi buatan manusia, seperti yang berasal dari kegiatan medik, percobaan-percobaan senjata nuklir, dan industri-industri yang menggunakan bahan nuklir atau zat radioaktif.

Gas radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) dan thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) paling dominan dan sangat potensial yang berasal dari radionuklida primordial. Radiasi yang diterima penduduk dunia paling besar berasal dari radiasi radon sekitar 53 % dan thoron sekitar 4 %. Kedua radionuklida tersebut merupakan gas mulia yang bersifat radioaktif yang mudah terlepas ke lingkungan melalui patahan lapisan tanah atau batu-batuan, melalui aliran air tanah, dan berbagai bahan bangunan. Oleh karena itu kedua radionuklida tersebut dapat memberikan dampak radiologik kepada manusia, terutama pada saluran pernafasan.

Efek biologik yang mungkin terjadi adalah gangguan kesehatan terhadap alat pernafasan, seperti tenggorokan dan paru-paru. Jika kedua radionuklida tersebut terakumulasi di dalam organ kritik (*bronchi*), maka dapat menyebabkan gangguan saluran pernafasan atas (ISPA) dan kemungkinan dapat menyebabkan penyakit paru-paru (kanker paru-paru) [2]. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan penelitian terhadap gas radon dan thoron di dalam rumah-rumah penduduk (*indoor*), yaitu mengukur konsentrasi gas radon dan thoron.

Dalam makalah ini telah dilakukan penentuan konsentrasi gas radon dan thoron di dalam rumah penduduk di DKI dan sekitarnya. Pengukuran konsentrasi gas radon dan thoron, sementara hanya dilakukan di dalam ruangan untuk keluarga dan ruangan untuk tidur, karena di dalam ruangan tersebut orang biasanya akan tinggal relatif lama (sekitar 60 % kegiatan orang dilakukan di dalam rumah).

Tujuan penelitian ini adalah aplikasi alat dosimeter pasif dan pengumpulan data konsentrasi gas radon dan thoron di dalam rumah penduduk DKI dan sekitarnya. Dengan demikian dapat juga dapat diperkirakan dosis efektif tahunan rata-rata yang diterima oleh penduduk DKI dan sekitarnya yang tinggal di dalam rumah.

## TEORI

### Sumber Gas Radon dan Thoron di dalam Rumah

Gas radon adalah radionuklida alam dari dalam kerak bumi, berasal dari anak luruh radium ( $^{226}\text{Ra}$ ) dari deret uranium ( $^{238}\text{U}$ ), waktu paruh 3,82 hari dan energinya 5,5 MeV, sementara gas thoron berasal dari anak luruh radium ( $^{224}\text{Ra}$ ) dari deret thorium ( $^{232}\text{Th}$ ) waktu paruh 51,5 detik dan energinya 6,3 MeV. Kedua radionuklida tersebut memancarkan partikel alfa dengan anak luruhnya cukup banyak yang mempunyai waktu paruh dalam orde detik sampai tahun. Kedua radionuklida merupakan gas mulia yang tidak dapat dideteksi dengan panca indera, ada di mana-mana di dalam udara, air, dan tanah, sehingga sangat potensial keberadaannya di dalam rumah.

Gas radon dan thoron di dalam rumah umumnya berasal dari dalam tanah melalui lantai dan dinding yang retak, jenis bahan bangunan yang dipakai untuk konstruksi, tandon air, dan beberapa kegiatan yang dilakukan orang di dalam rumah, seperti memasak menggunakan minyak tanah dan gas minyak (*liquefied petroleum gas* yang disingkat LPG), penggunaan air di dalam kamar mandi, dan sebagainya. Bahan bangunan yang diperkirakan memberi kontribusi konsentrasi gas radon dan thoron cukup besar di dalam rumah, adalah gipsur dan batuan granit, karena bahan bangunan tersebut banyak terkandung radionuklida  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{224}\text{Ra}$  dan masing-masing berturut-turut menghasilkan anak luruh, yaitu  $^{222}\text{Rn}$  dan  $^{220}\text{Rn}$ . Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  di dalam gipsur berkisar 500 – 2.000 Bq/kg. Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{224}\text{Ra}$  di dalam batuan granit dapat mencapai 110 Bq/m<sup>3</sup> untuk  $^{226}\text{Ra}$  dan 80 Bq/m<sup>3</sup> untuk  $^{224}\text{Ra}$ . Bahan bangunan dan tanah di bawah bangunan akan memberikan kontribusi konsentrasi gas radon di dalam rumah rata-rata sekitar 60.000 Bq per hari [3].

Konsentrasi gas radon dan thoron di dalam rumah sangat bergantung pada faktor ventilasi. Di dalam ruangan tertutup dan ruangan bawah tanah konsentrasi gas radon dan thoron relatif tinggi dibandingkan dengan ruangan-ruangan yang di bangun di atas permukaan tanah. Berkaitan dengan faktor ventilasi tersebut, konsentrasi gas radon dan thoron di dalam rumah bervariasi, bergantung dari membuka dan menutup pintu dan jendela ruangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi gas radon di dalam rumah sebagai fungsi dari laju



sirkulasi udara luar yang masuk ke dalam rumah melalui beberapa ventilasi [3].

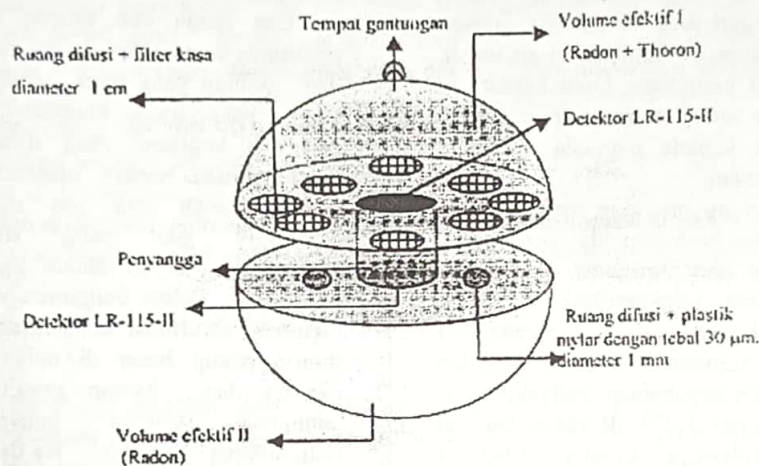
#### Dosimeter Radon-thoron Pasif

Dosimeter radon-thoron pasif dibuat dari bahan plastik polikarbonat yang dicampur dengan karbon hitam tipe FD-9054 F yang merupakan bahan plastik anti statik. Desain dosimeter radon-thoron pasif berbentuk setengah bola berwarna merah dan putih yang masing-masing berdiameter 50 mm yang dihubungkan dengan pipa berwarna putih sebagai penjangga dengan panjang 15 mm dan diameter 20 mm (Gambar 1) [4].

Bagian bawah setengah bola merah diberi 8 lubang berdiameter 10 mm dan ditutup dengan filter kaca (volume efektif I). Setengah bola berwarna putih diberi 2 lubang dengan diameter

masing-masing 1 mm dan dilapisi dengan milar dengan tebal 30  $\mu\text{m}$  (volume efektif II). Detektor film LR-115 (diameter 14 mm) dipasang pada pipa penyangga bagian atas untuk memantau gas radon dan thoron dan pipa penyangga bagian bawah dipasang detektor film LR-115 (diameter 18 mm) untuk memantau gas radon saja, karena radon mempunyai waktu paroh relatif besar dibandingkan thoron.

Pada desain dosimeter radon-thoron pasif, parameter penting yang harus diperhatikan yaitu pemilihan filter, agar luruhan radon maupun thoron yang berupa partikel padat di udara tidak masuk ke ruang difusi. Namun perlu dipilih jenis filter yang tepat, sehingga gas radon - thoron yang masuk ke ruang difusi (volume efektif) optimal dengan jalan memperbesar laju pertukaran udara.



Gambar 1. Dosimeter radon-thoron pasif yang sudah siap untuk dipasang [4].

Luruhan radon maupun thoron di udara di dalam ruangan dalam dua kondisi yaitu bebas maupun tidak bebas yang menempel pada partikel aerosol. Proses utama pengendapan partikel luruhan radon (bebas maupun tidak bebas) pada filter kaca yang dibuat dari kawat baja yang anti karat (*stainless steel*) berdasarkan mekanisme difusi Brown. Efisiensi penyaringan filter kaca *stainless steel*, dapat diperkirakan secara teoritis.

#### Detektor Jejak Alfa

Detektor jejak alfa (*alpha track detector*) banyak dipakai orang sebagai detektor jejak yang padat, misalnya polikarbonat, *allyldiglicol*, dan sellulosa nitrat. Jika partikel alfa menumbuk detektor maka akan meninggalkan bekas atau jejak (*track*), maka detektor ini disebut detektor

jejak nuklir. Detektor jejak alfa yang dipakai dalam dosimeter radon-thoron pasif berupa film yang dibuat dari bahan sellulosa nitrat yang disebut film LR-115 tipe II. Sifat atau karakteristik film LR-115 tipe II, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data teknis detektor film LR-115 tipe II.

No	Sifat	Nilai
1.	Komposisi kimia	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_9\text{N}_2$
2.	Potensial pengion rata-rata	81,1 eV
3.	Perbandingan massa atom dengan nomor atom	1,939
4.	Kerapatan	$1,4 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
5.	Tebal	0,012 mm

Jika partikel alfa menumbuk detektor maka partikel alfa tersebut akan bertinteraksi dengan bahan penyusun detektor dan terjadi proses pengionan dan eksitasi yang tinggi karena partikel alfa mempunyai daya pengion relatif besar dibandingkan partikel beta dan sinar gamma. Selama menembus bahan tersebut partikel alfa akan memberikan sebgaiannya energinya pada elektron-elektron yang terdapat dalam atom-atom menyusun detektor.

Akibat proses pengionan dan eksitasi yang tinggi tersebut, menyebabkan terjadi kerusakan pada bahan penyusun detektor. Kerusakan pada bahan tersebut bergantung pada jangkauan energi partikel alfa untuk dapat merusak bahan itu. Batas atas jangkauan energi partikel alfa ada kaitannya dengan daya henti. Penurunan daya henti akibat penambahan energi partikel alfa menyebabkan kerapatan pengionan sepanjang lintasan partikel alfa menjadi kecil, karena energi kinetik alfa besar, sehingga tidak tampak adanya jejak (setelah dilakukan pengetsaan), sebagai akibat kecepatan yang begitu besar.

Batas atas energi partikel alfa agar partikel alfa dapat dideteksi oleh detektor film LR-115 tipe II, berkisar 4 – 5 MeV dan batas bawahnya adalah 1,6 MeV. Agar jejak nuklir partikel alfa dapat dilihat dengan mikroskop optik, maka dilakukan pengetsaan dalam waktu sekitar 120 menit menggunakan larutan NaOH 2,5 N 100 gram pada suhu 60° C. Apabila energi partikel alfa kurang dari 1,6 MeV, maka jejak partikel alfa tidak dapat dideteksi oleh detektor film LR-115 tipe II.

Metode pengetsaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah etsa kimia, karena lebih sederhana dibandingkan dengan etsa elektrokimia. Pada saat proses etsa dilakukan daerah yang rusak akibat interaksi dengan partikel alfa akan mudah dikuras menggunakan larutan etsa (100 gram NaOH pada suhu 60° C). Jika dilihat menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100 kali pada 25 kali sudut pandang, hasil dari pengetsaan tampak berupa lubang-lubang pada film LR-115 tipe II. Lubang-lubang tersebut menunjukkan banyaknya jejak alfa pada detektor film LR-115 tipe II [5].

## TATA KERJA

### Bahan dan Peralatan

Dosimeter radon-thoron pasif buatan P3KRBiN-BATAN didesain dengan ergonomi yang bagus, praktis dan ringan, sehingga mudah dipasang di dalam rumah. Dosimeter ini

digantung menggunakan tali di ruang keluarga dan kamar tidur. Detektor jejak alfa yang dipakai adalah film LR-115 tipe II buatan Kodak (Perancis) yang peka terhadap gas radon dan thoron. Dosimeter radon-thoron pasif diambil dan filmnya dikeluarkan untuk diproses lebih lanjut.

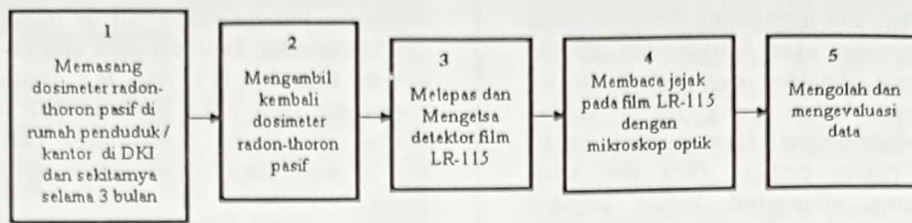
Semua film LR-115 tipe II dietsa menggunakan larutan NaOH 2,5 N 100 gram di dalam inkubator selama 120 menit pada suhu 60° C, kemudian film tersebut dicuci dengan alkohol 15 % dan dibilas dengan air suling. Selanjutnya film dikeringkan menggunakan lampu infra merah. Setelah film tersebut kering benar, kemudian jejak alfa gas radon dan thoron pada film dibaca menggunakan mikroskop optik model optiphot buatan Nikon, Jepang.

### Cara Kerja

Cara kerja penelitian ini diperlihatkan pada diagram balok sebagai berikut (Gambar 2) :

1. Dosimeter digantung menggunakan tali di ruang tamu dan kamar tidur masing-masing satu dan diatur letak dosimeter berada di tengah-tengah, pada ketinggian sekitar 3 m dari lantai, bergantung dari keadaan ruangan.
2. Setelah tiga bulan dosimeter tersebut diambil di bawa ke laboratorium untuk diproses.. Detektor film LR-115 tipe II yang telah kena radiasi partikel alfa selama tiga bulan di keluarkan dari dosimeter dan dilakukan pengetsaan. Sebelum dilakukan pengetsaan detektor diberi kode dan dijepit dengan klep, kemudian dimasukkan ke dalam wadah khusus.
3. Menyiapkan larutan NaOH 2,5 N 100 gram dengan 1 liter air suling pada suhu 60° C, dikocok dan distabilkan beberapa menit. Menuangkan larutan NaOH tersebut ke dalam wadah yang berisi detektor dan didiamkan beberapa sekitar 60 menit agar terjadi interaksi antara detektor dengan larutan NaOH. Detektor diambil dengan pinset dan dicuci menggunakan air suling, kemudian dimasukkan ke dalam *ultrasonic vibrator* selama 15 menit, agar detektor benar-benar bersih dari larutan NaOH. Memasukkan detektor tersebut ke dalam inkubator pada suhu 60 ° C selama 120 menit. Kemudian detektor dicuci dengan alkohol 155 % dan dibilas dengan air suling yang hangat dan dikeringkan.





Gambar 2. Diagram balok cara kerja

4. Detektor film LR-115 tipe II yang sudah kering diambil untuk dibaca jejak partikel alfa menggunakan sebuah mikroskop optik dengan perbesaran 100 kali dengan 25 kali sudut pandang. Gambar jejak partikel alfa berbeda-beda, bergantung pada besar-kecil dan sudut datang energi alfa yang menumbuk detektor. Jika partikel alfa menumbuk tegak lurus pada detektor, maka gambar jejaknya berbentuk lingkaran dan jika membentuk sudut maka gambarnya berbentuk elips. Besar-kecilnya gambar pada detektor bergantung pada besar-kecilnya energi partikel alfa yang menumbuk detektor. Semakin besar energi alfa yang menumbuk detektor, semakin kecil bentuk gambarnya (jejaknya). Jumlah jejak pada detektor menunjukkan besar-kecilnya konsentrasi radon dan thoron di dalam ruangan selama pemasangan detektor (tiga bulan).
5. Hasil bacaan jejak setiap tempat penelitian dihitung konsentrasinya menggunakan persamaan sebagai berikut [6]:

$$C_{Rn} = \frac{N_{B2} - N_T}{0,86 \cdot E_{Rn} \cdot t} \text{ untuk gas radon} \quad (1)$$

$$C_{Tn} = \frac{N_{B1} - N_{B2} - N_T}{0,998 \cdot E_{Tn} \cdot t} \times 3 \text{ untuk gas thoron} \quad (2)$$

dengan pengertian :

- $N_{B1}$  = jumlah jejak radon-thoron (jejak/cm<sup>2</sup>)  
 $N_{B2}$  = jumlah jejak radon (jejak/cm<sup>2</sup>)  
 $N_T$  = Jumlah jejak latar (273,42 jejak/cm<sup>2</sup>),  
 $N_T$  untuk radon dan thoron sama  
 $t$  = waktu atau lama pemasangan detektor di dalam rumah (hari)

Koreksi pengukuran konsentrasi gas radon dan thoron menggunakan dosimeter radon-thoron pasif meliputi koreksi faktor peluruhan dan koreksi tinggi pemasangan detektor.

Efisiensi dosimeter untuk gas radon,

$$E_{Rd} = 3,33 \frac{\text{jejak/cm}^2}{\text{pCi.hari/liter}}$$

$$= 90 \frac{\text{jejak/cm}^2}{\text{pCi.hari/liter}}$$

dan untuk gas thoron

$$E_{Th} = 4,20 \frac{\text{jejak/cm}^2}{\text{pCi.hari/liter}}$$

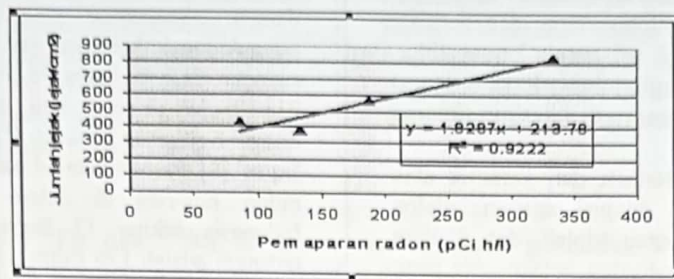
$$= 114 \frac{\text{jejak/cm}^2}{\text{pCi.hari/liter}}$$

1. Koreksi faktor peluruhan adalah koreksi berkaitan dengan waktu tenggang yang digunakan keluar – masuk gas radon melalui lubang dosimeter volume efektif I, yang besarnya adalah 0,998 dan 0,86 untuk volume efektif II
2. Koreksi tinggi pemasangan dosimeter adalah 3,0 Koreksi ini hanya berlaku untuk pengukuran konsentrasi gas thoron saja, (karena waktu paruh thoron pendek). Untuk gas radon koreksi tinggi pemasangan dosimeter tidak berlaku, karena waktu paruhnya panjang, sehingga konsentrasi gas radon tidak berpengaruh terhadap tinggi dosimeter terhadap lantai dalam ruangan.

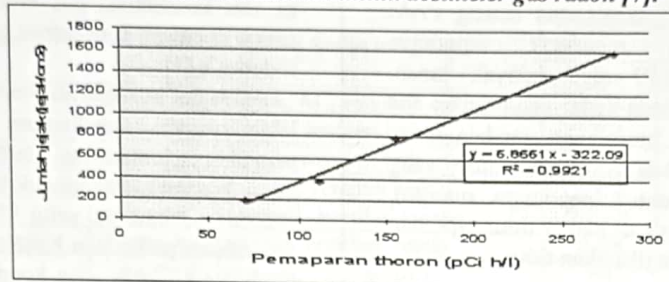
Kalibrasi dosimeter radon-thoron pasif dilakukan dalam 5 tabung tertutup rapat yang dialiri gas radon dan thoron (berasal dari sumber standar radioaktif <sup>226</sup>Ra dan <sup>228</sup>Ra) yang sudah diketahui aktivitasnya. Detektor film LR-115 tipe II yang dipasang di dalam tabung tersebut akan kena radiasi gas radon dan thoron. Kemudian film LR-115 tipe II tersebut dietsa, dibaca jejak partikel alfa pada film dan dievaluasi. Hasil evaluasi berupa data konsentrasi radon dan thoron (pCi.hari/liter) sebagai fungsi dari jejak nuklir (jejak/cm<sup>2</sup>), yang dilukiskan sebagai persamaan regresi linier untuk radon :  $Y = 1,8299X + 213,69$  dengan koefisien korelasi  $r^2 = 0,92$  (Gambar 3), sementara untuk thoron :  $Y = 6,866X - 321,96$  dengan koefisien korelasi  $r^2 = 0,99$  (Gambar 4). Berdasarkan hasil kalibrasi dosimeter radon-

thoron pasif tersebut faktor kalibrasi edfisiensi untuk gas radon,  $E_{Rn} = 3,33$  jejak/cm<sup>2</sup>/pCi

hari/liter dan untuk gas thoron,  $E_{Th} = 4,20$  jejak/cm<sup>2</sup>/pCi hari/liter [7].



Gambar 3. Kurva kalibrasi untuk dosimeter gas radon [7].



Gambar 4. Kurva kalibrasi untuk dosimeter gas thoron [7].

Evaluasi data dilakukan dengan metode statistik untuk selang kepercayaan 68 %. Kesalahan pengukuran atau ralat dilakukan dengan menentukan simpangan baku (standar deviasi), sebagai berikut :

$$Sb = \frac{\sqrt{N_T + N_{B2}}}{E_{Rn} \cdot t} \text{ untuk gas radon} \quad (3)$$

$$Sb = \frac{\sqrt{N_T + N_{B1}}}{E_{Th} \cdot t} \text{ untuk gas thoron} \quad (4)$$

Keterangan simbol persamaan (3) dan (4) sama dengan persamaan (1) dan (2).

Batas konsentrasi terendah yang dapat dideteksi (*Minimum Detectable Concentration* yang disingkat MDC) baik untuk gas radon maupun thoton ditulis sebagai berikut :

$$MDC = \frac{2,33\sqrt{N_T}}{E \cdot t} \quad (5)$$

Berdasarkan rumus tersebut dan beberapa faktor koreksi, maka diperoleh MDC untuk gas radon = 4,76 Bq/m<sup>3</sup> dan 3,77 Bq/m<sup>3</sup> untuk gas thoron dengan selang kepercayaan 68 %.

Jika dianggap bahwa lama kegiatan orang yang tinggal di dalam rumah adalah 7.000 jam/tahun, dan orang tersebut hanya mendapat penyinaran radiasi dari gas radon dan thoron

saja, maka perkiraan dosis efektif tahunan yang diterima orang tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [1]:

$$D_{Rn} = F_{kRn} \cdot F_{Rn} \cdot T \cdot C_{Rn} \quad (6)$$

$$D_{Tn} = F_{kTn} \cdot F_{Tn} \cdot T \cdot C_{Tn} \quad (7)$$

dengan pengertian :

$F_{kRn}$  = faktor kesetimbangan radon dengan anak luruhnya (0,4)

$F_{kTn}$  = faktor kesetimbangan thoron dengan anak luruhnya (0,1)

$F_{Rn}$  = faktor konversi dosis radon (9nSv/Bq.jam/m<sup>3</sup>)

$F_{Tn}$  = faktor konversi dosis thoron (40nSv/Bq.jam/m<sup>3</sup>)

T = lama tinggal di dalam rumah (7.000jam/tahun)

$C_{Rn}$  = konsentrasi gas radon di dalam rumah (Bq/m<sup>3</sup>)

$C_{Rn}$  = konsentrasi gas thoron di dalam rumah (Bq/m<sup>3</sup>)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Rumah Penduduk

Kondisi rumah penduduk yang diamati umumnya sama hanya beberapa perbedaan, seperti ventilasi dan luas ruangan. Umumnya rumah-rumah tersebut dibangun sebelum tahun 2000, namun ada beberapa rumah yang



direnovasi. Ukuran ruangan di dalam (ruang tamu/keluarga, kamar tidur, dapur, dan kamar mandi) berbeda-beda, berkisar dari 20 m<sup>2</sup> sampai 60 m<sup>2</sup> untuk ruang keluarga/tamu dan berkisar dari 5 m<sup>2</sup> sampai 12 m<sup>2</sup> untuk kamar tidur. Ruang dapur (ada yang tertutup ada yang lepas) dan kamar mandi umumnya ventilasinya kurang baik.

Kondisi lantai terbuat dari keramik atau tegel (semen) tanpa dilapisi apapun, plafon terbuat dari enternit atau triplek, dan dinding terbuat dari bata merah atau batako. Air yang digunakan umumnya untuk mandi dan keperluan MCK berasal dari air tanah atau ledeng PAM DKI. Kegiatan memasak umumnya menggunakan gas LPJ atau minyak tanah. Ventilasi udara berbeda-beda bentuknya, ada yang berupa jendela tutup-buka, jendela nako, dan lubang angin. Ada beberapa rumah yang memanfaatkan AC untuk pendingin ruangan, namun umumnya hanya di kamar tidur saja, dan dioperasikan (*on*) pada jika akan tidur.

#### Hasil-hasil Pengukuran

Hasil pengukuran konsentrasi gas radon maupun gas thoron di dalam rumah-rumah penduduk di DKI bervariasi bergantung pada kondisi rumah dan struktur geologi setempat. Hasil pengukuran konsentrasi gas radon dan thoron diperlihatkan pada Tabel 2. Peta lokasi pemasangan dosimeter radon-thoron pasif diperlihatkan pada Gambar 5. Pada umumnya konsentrasi gas radon relatif tinggi dibandingkan gas thoron. Konsentrasi gas radon di ruang keluarga (RK) berkisar dari tak terdeteksi (tt) sampai (66 ± 40) Bq/m<sup>3</sup>, dan di dalam kamar tidur (KT), berkisar dari ttd sampai (63 ± 38) Bq/m<sup>3</sup>. Sementara konsentrasi gas thoron di RK berkisar dari tak terdeteksi (tt) sampai (16 ± 4) Bq/m<sup>3</sup>, dan di dalam KT, berkisar dari ttd sampai (19 ± 4) Bq/m<sup>3</sup>.

Konsentrasi rata-rata gas radon terbesar di dalam rumah (No. 26), daerah Klapa Gading (Jakarta Utara), yaitu (66 ± 40) Bq/m<sup>3</sup>, sementara konsentrasi gas thoronnya juga relatif tinggi, yaitu (20 ± 3) Bq/m<sup>3</sup> (Tabel 1). Hal ini disebabkan kondisi rumah (No.26) baru dibangun (*renovasi*) sehingga kondisinya relatif baru dibandingkan dengan rumah-rumah yang lain. Kamar tidur rumah No. 26 berukuran (2,5 m × 2,5 m) ber-AC, kurang luas dibandingkan dengan kamar tidur di rumah-rumah yang lain. Konsentrasi gas radon tersebut lebih tinggi, jika dibandingkan konsentrasi gas radon tertinggi yang diperoleh dari hasil pengukuran di salah

satu ruangan kuliah di kampus ISTN Jakarta, yaitu (52 ± 22) [8], namun konsentrasi gas radon tersebut masih lebih rendah, jika dibandingkan dengan konsentrasi tertinggi dari hasil pengukuran konsentrasi gas radon di salah satu ruangan BNI-46 lantai 34 Jakarta, yaitu (74 ± 21) [9] dan di salah satu rumah penduduk di daerah Kelurahan Cicadas (Bandung), yaitu 185 Bq/m<sup>3</sup> [8]. Perlu diketahui bahwa konsentrasi gas radon rata-rata di dalam rumah penduduk Indonesia sekitar 12 Bq/m<sup>3</sup> dan konsentrasi tertinggi adalah 120 Bq/m<sup>3</sup>. Jadi konsentrasi gas radon tertinggi di dalam rumah penduduk di DKI di atas konsentrasi gas radon rata-rata, namun masih di bawah konsentrasi gas radon tertinggi di Indonesia [1].

Adapun konsentrasi thoron di rumah No. 26 lebih rendah dibandingkan dengan data hasil pengukuran konsentrasi tertinggi gas thoron di salah satu rumah penduduk di daerah Kelurahan Cicadas (Bandung), yaitu 438 Bq/m<sup>3</sup>. Hal ini disebabkan perbedaan kondisi rumah yang telah disebutkan di atas dan kondisi struktur geologi dalam tanah.

Konsentrasi radon maupun thoron yang tertinggi masih jauh lebih rendah, jika dibandingkan dengan nilai batas konsentrasi maksimum yang diizinkan (MPC), yaitu 200 Bq/m<sup>3</sup> untuk konsentrasi gas radon dan 600 Bq/m<sup>3</sup> untuk konsentrasi gas thoron di dalam rumah (rekomendasi ICRP) [10]. Perkiraan dosis efektif tahunan dapat dihitung dengan rumus (6) untuk gas radon dan rumus (7) untuk gas thoron dengan menganggap bahwa orang yang tinggal di rumah tersebut terus-menerus mendapat penyinaran radiasi gas radon dan thoron selama tinggal di dalam rumah

Tabel 2 memperlihatkan dosis efektif tahunan bervariasi yang berkisar dari ttd sampai 1,83 mSv/tahun untuk gas radon dan 0,56 mSv/tahun untuk gas thoron. Dosis efektif tahunan tertinggi diterima orang yang tinggal di rumah No.26 adalah 1,83 mSv/tahun untuk gas radon, sementara untuk gas thoron adalah 0,56 mSv/tahun. Dosis efektif tahunan ini masih di bawah nilai batas dosis yang diijinkan (NBD), yaitu 5 mSv/tahun untuk publik.

Komponen terbesar baik konsentrasi maupun dosis efektif yang berasal dari penyinaran interna gas radon, pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa nilai batas MPC maupun NBD tidak melampaui, namun untuk mengurangi penerimaan dosis yang diterima penghuni rumah, terutama yang berasal dari gas radon, perlu dilakukan tindakan intervensi.



Tindakan yang perlu diterapkan antara lain menutup dinding/lantai yang retak dengan cat atau pelapis dinding dan membuat ventilasi atau pintu dan jendela sebaiknya sering dibuka.

Walaupun data konsentrasi dan dosis efektif tahunan untuk kedua radionuklida tersebut masih di bawah batas ambang yang diperkenankan, sebaiknya penelitian ini perlu terus

dikembangkan untuk mendapatkan data dasar tingkat radiasi dan konsentrasi radioaktivitas lingkungan, khususnya gas radon dan thoron, karena berkaitan dengan faktor kesehatan manusia. Di samping itu masih kurangnya data tingkat radiasi dan radioaktivitas lingkungan yang dimiliki oleh Indonesia.

Tabel 2. Konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  dan  $^{220}\text{Rn}$  di dalam rumah-rumah penduduk DKI dan sekitarnya menggunakan dosimeter pasif radon-thorfon dengan detektor film LR 115 tipe II.

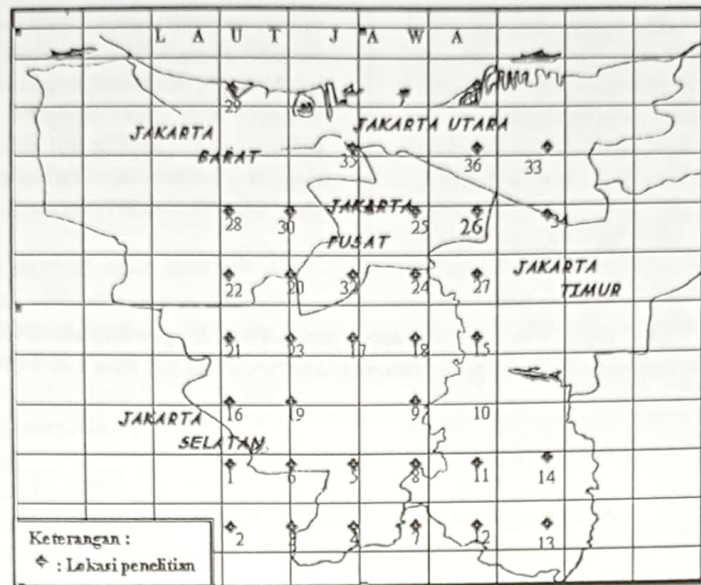
No	Lokasi bangunan	Kondisi rumah /jenus bangunan	Konsentrasi ( $\text{Bq/m}^3$ )		Dosis efektif ( $\text{mSv/tahun}$ )	
			$^{222}\text{Rn}$	$^{220}\text{Rn}$	$^{222}\text{Rn}$	$^{220}\text{Rn}$
1	Pd. Indah (kantor)	bata merah, keramik, AC, ventilasi cukup	$6 \pm 3$	ttd	0,15	ttd
2	Kel. Cilandak Bara	batako, keramik, AC, ventilasi baik	$7 \pm 4$	ttd	0,18	ttd
3	Komp. KKO (Mesjid)	bata merah, keramik, ventilasi baik	$7 \pm 4$	ttd	0,17	ttd
4	Tanjung Barat (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi baik	$6 \pm 4$	ttd	0,16	ttd
5	Komp. POLRI (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi kurang	$13 \pm 8$	$8 \pm 1$	0,33	0,22
6	Jl. Kemang Sel. X (rumah)	batako, keramik, AC, ventilasi cukup	$8 \pm 5$	ttd	0,19	ttd
7	Kramat Jati (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi baik	ttd	ttd	ttd	ttd
8	Kramat jati (RS.POLRI)	batako, keramik, AC, ventilasi baik	$7 \pm 4$	ttd	0,18	ttd
9	Cawang Cililitan (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi kurang	$46 \pm 21$	$18 \pm 3$	1,15	0,49
10	Kalimalang (rumah)	batako, keramik, AC, ventilasi kurang	$11 \pm 7$	$12 \pm 3$	0,28	0,35
11	Jl. Angkasa II (rumah)	batako, keramik, AC, ventilasi kurang	$7 \pm 4$	$11 \pm 2$	0,17	0,32
12	Kel Pinang Ranti (rumah)	batako, keramik/ubin, ventilasi cukup	ttd	$6 \pm 1$	ttd	0,17
13	Jl.Ps.Kecapi (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi kurang	$11 \pm 7$	ttd	0,28	ttd
14	Kel.Pondok Gede (rumah)	batako, keramik, ventilasi kurang	$29 \pm 13$	$10 \pm 3$	0,72	0,29
15	Kel.Klender (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi kurang	$21 \pm 10$	ttd	0,53	ttd
16	Gandaria (rumah)	batako, keramik, AC, ventilasi baik	$6 \pm 3$	ttd	0,14	ttd
17	Menteng Atas (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi cukup	$10 \pm 6$	ttd	0,23	ttd
18	Jatinegara (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi kurang	ttd	$12 \pm 3$	ttd	0,34
19	Mampang (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi kurang	$31 \pm 17$	$7 \pm 1$	0,78	0,18
20	Kel. Grogol (rumah)	Batako, plester/ubin, ventilasi kurang	$17 \pm 10$	$8 \pm 2$	0,43	0,22
21	Kemanggisan (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi kurang	$6 \pm 4$	$17 \pm 4$	0,16	0,47
22	Kel. Keb. Melati (rumah)	batako, keramik, ventilasi baik	ttd	$14 \pm 2$	ttd	0,40
23	Benhil (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi baik	ttd	$8 \pm 2$	ttd	0,22
24	Rawasa (rumah)	batako, keramik, ventilasi baik	ttd	$6 \pm 1$	ttd	0,16
25	Kel. Sumur Batu (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi baik	ttd	ttd	ttd	ttd
26	<b>Klapa Gading (rumah)</b>	<b>batako, keramik, AC, ventilasi kurang</b>	<b><math>66 \pm 40</math></b>	<b><math>20 \pm 3</math></b>	<b>1,83</b>	<b>0,56</b>
27	Kel.Jati (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi baik	$5 \pm 3$	ttd	0,13	ttd
28	Kel.Grogol (rumah sakit)	batako, keramik, ventilasi baik	$7 \pm 5$	ttd	0,19	ttd
29	Kel. Kb. Bawang (rumah)	bata merah, ubin, ventilasi baik	$7 \pm 4$	ttd	0,17	0,12
30	Kel. Petojo Utara (rumah)	batako, keramik, AC, ventilasi baik	$7 \pm 4$	ttd	0,19	ttd
31	Sunter Agung (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi baik	ttd	ttd	ttd	ttd
32	Kel.Kb. Kosong (rumah)	batako, ubin, ventilasi baik	ttd	ttd	ttd	ttd
33	Semper Barat-1 (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi baik	ttd	ttd	ttd	ttd
34	Kel. Sukapura (rumah)	batako, keramik, ventilasi baik	ttd	ttd	ttd	ttd
35	Semper barat -2 (rumah)	bata merah, keramik, ventilasi baik	ttd	ttd	ttd	ttd
36	Kel. Koja (rumah)	batako, keramik/ubin, ventilasi cukup	$7 \pm 4$	$5 \pm 1$	0,18	0,14

Catatan:

ttd = tidak terdeteksi ( $\leq$  MDC)

MDC untuk  $^{222}\text{Rn} = 5 \text{ Bq/m}^3$  dan MDC untuk  $^{220}\text{Rn} = 4 \text{ Bq/m}^3$





Gambar 5. Peta lokasi pemasangan dosimeter radon-thoron pasif di DKI dan sekitarnya.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Konsentrasi indoor  $^{222}\text{Rn}$  dan  $^{220}\text{Rn}$  di dalam rumah-rumah penduduk di DKI dan sekitarnya bervariasi, berkisar dari ttd sampai  $(66 \pm 40) \text{ Bq/m}^3$  untuk  $^{222}\text{Rn}$ , sementara konsentrasi  $^{220}\text{Rn}$  adalah  $(20 \pm 3) \text{ Bq/m}^3$  yang ditemukan di salah satu rumah di daerah Klapa Gading (No.26), Jakarta Utara. Perkiraan tingkat penyinaran interna radiasi gas radon adalah  $1,83 \text{ mSv/tahun}$  dan  $0,56 \text{ mSv/tahun}$  untuk gas thoron. Data tersebut masih di bawah batas konsentrasi maksimum maupun dosis efektif tahunan yang diijinkan.

Walaupun seluruh data yang telah diperoleh belum melebihi batas konsentrasi tertinggi dan dosis efektif yang diijinkan, namun penelitian yang berkaitan dengan gas radon dan thoron perlu dilakukan secara terus-menerus untuk beberapa rumah penduduk di daerah-daerah lain, sehingga diperoleh koleksi data yang akan dipakai sebagai data dasar tingkat radiasi dan radioaktivitas lingkungan di Indonesia. Hal ini perlu difahami bahwa data tersebut masih sangat kurang, jika dibandingkan dengan wilayah Indonesia yang sangat luas.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on Effect of Atomic Radiation, Source and Effects of Ionizing Radiation, Rep. to Gen. Assembly, with Annex, New York, 2000.

2. EPA, A Citizen's Guide to Radon, United States Environmental Protection Agency, US. Dept. of Health and Human Services, August, New York, 1985.
3. MOSTAFA, K.T., Radiation, Doses, Effects, Risks, United Nations Environment Programme, Nairobi, 1985.
4. SUTARMAN, BUNAWAS, DAN HARI W., Pembuatan Prototipe Dosimeter Pasif untuk Pemantauan Lingkungan, Laporan RUT VI, Jakarta, 2000.
5. DOI.M.KOBAYASHI S., AND FUJIMOTO, K., A Passive Measurement Technique for Characterisation of High Risk Houses in Japan due Enhanced Levels of Indoor Radon and Thoron Concentrations Rad. Proc.Dos., 1992, pp. 425-430.
6. UJUNG B. H., Distribusi Vertikal Konsentrasi dan Thoron di dalam Ruang (Rumah Penduduk di Kelurahan Cicadas-Bandung), FMIPA-UNPAD, Bandung, 2003.
7. LUBIS A.M., Kalibrasi Dosimeter Radon-Thoron Pasif untuk Pemantau Radiasi Lingkungan, FMIPA, UNAN, Padang, 2001.
8. SUTARMAN, LUHANTARA, SARI NOVIANA, Penentuan Kadar Gas Radon pada Beberapa Tempat Berpendingin di ISTN Jakarta Menggunakan Detektor Jejak Nuklir CR-39, Prosidings Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Pen. Dasar Ilmu Peng. dan Tek. Nuklir, P3TM-BATAN, 8 Juli 2003, Yogyakarta, 2003.

9. LUHANTARA, BUNAWAS, DAN MULYONO, Pengukuran Kepekatan Radon dan Faktor Kesimbangan di Gedung Bertingkat Tinggi Menggunakan Pengetsaan Nuklear CR-39, Proceedings of the National Physics Symposium, 2-3 Dec., 1996, School of Physics Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia, 1996.
10. ICRP, The System of Radiological Protection Revised Protection of the Public Against Prolonged Exposure, ICRP Publication 82, International Commission on Radiological Protection, New York, 1999.

---

#### TANYA JAWAB

*Herry Poernomo*

- Mengapa rumah yang dianalisis gas radon dan thoron diusahakan dengan volume sama dan ventilasi sama, tetapi dari bahan bangunan yang berlainan supaya mudah membuat rekomendasi tindak lanjut penanganan!
- Bagaimana menyimpulkan bahan bangunan apa yang berpotensi sebagai penimbul gas Ra dan Th?

**Sutarman**

- Dalam penelitian ini, tujuannya mengumpulkan data sebagai data dasar tingkat radiasi/konsentrasi gas radon dan thoron di dalam rumah. Penelitian

kandungan radionuklida alam telah dilakukan tersendiri.

- Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan baik dari dalam negeri maupun manca negara (detailnya dapat dibaca di dalam makalah).

**Muryono**

- Dari mana saja sumber radon sehingga kadar radon di dalam rumah lebih tinggi daripada di luar rumah?
- Di dalam rumah secara rutin terkena radiasi radon, bagaimana cara menghindarinya?
- Kalau sudah di atas ambang batas yang diijinkan, apa dampaknya terhadap kesehatan?

**Sutarman**

- Radon di dalam rumah berasal lewat air tanah, dinding, dan bahan bakar untuk masak (LPG, minyak tanah, gas).
- Membuat ventilasi yang memadai.
- Dapat menimbulkan gangguan pernafasan (ISPA, Bronchitis) bahkan dapat kanker paru (jika gas radon/thoron terhirup cukup tinggi).