

STUDI PENURUNAN KONSENTRASI GAS RADON DALAM RUANGAN MENGUNAKAN BETON RINGAN

Syarbaini¹, Bunawas²

¹Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12070
Email: sarbaini@batan.go.id

²Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12070
Email: bunawas@gmail.com

Diterima: 17 Februari 2009; Disetujui: 03 Februari 2010

ABSTRAK

Radon (^{222}Rn) adalah gas radioaktif alam yang tidak berbau, tidak berwarna dan berpotensi menyebabkan kanker paru. Radon terbentuk dari peluruhan radioaktif alam ^{226}Ra dalam bahan bangunan dan dapat masuk secara gradual ke dalam udara ruangan melalui pori-pori bahan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk studi kandungan ^{226}Ra dan laju lepasan gas radon serta radon dalam udara ruangan gedung bertingkat yang terbuat dari beton ringan dan beton konvensional produk lokal. Kandungan radioaktif alam ^{226}Ra diukur secara spektrometri gamma dengan detektor HPGe. Laju lepasan gas radon dan konsentrasi gas radon masing-masing diukur menggunakan dosimeter radon aktif dan pasif. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi ^{226}Ra dalam beton ringan berkisar antara 8 – 39 Bq/kg, lebih rendah dari jenis beton konvensional. Laju lepasan gas radon dari permukaan beton ringan berkisar antara 0,2 – 1,12 Bq/m².jam dan konsentrasi radon dalam udara ruangan gedung bertingkat yang terbuat dari beton ringan berkisar antara 5 – 39 Bq/m³, lebih rendah dari beton konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian beton ringan dapat menurunkan konsentrasi radon dalam ruangan sehingga resiko kanker paru dari radiasi gas radon dapat diturunkan.

Kata Kunci: Radon, radioaktif alam, beton ringan, beton konvensional, kanker paru

ABSTRACT

Radon (^{222}Rn) is a radioactive, odorless, colorless and naturally-occurring gas which can cause lung cancer. Radon is formed by the natural radioactive decay of ^{226}Ra originates inside the buildings materials and can diffused into the room atmosphere gradually through the intergranular spaces of the material. The purpose of this research is to study on the concentration level of ^{226}Ra and the radon exhalation rates and the airborne ^{222}Rn concentration in the room of high-rise buildings made from lightweight and ordinary concrete used locally. Concentrations of natural radionuclide's ^{226}Ra in the samples were determined by a gamma-ray spectrometry with a HPGe-detector. The radon exhalation rates and radon concentration levels have been determined using active and passive radon dosimeter respectively. The results indicate that the ^{226}Ra in lightweight concrete were found to be in the range of 8.0 to 39.0 Bq/kg, lower than those ordinary concrete. The radon exhalation rates from the lightweight concrete varies from 0.20 to 1.12 Bq m⁻³.h⁻¹ and the airborne ^{222}Rn concentrations in the room of high-rise buildings made from lightweight were found to be in the range of 5.0 to 39.0 Bq m⁻³, lower than the room where the ordinary concretes was used. This finding indicate that the use of lightweight concrete can reduce indoor radon concentration and certainly the risk of lung cancer can be reduced.

Keywords: Radon, natural radioactive, lightweight concrete, ordinary concrete, lung cancer

PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, khususnya di kota-kota besar telah menimbulkan suatu permasalahan baru sebagai akibat dari semakin terbatasnya lahan yang tersedia untuk menunjang aktivitas masyarakat. Pembangunan gedung-gedung pencakar langit tampak semakin menjadi suatu solusi untuk memanfaatkan lahan

perkotaan semaksimal mungkin mulai dari pembangunan apartemen, hotel, perkantoran, hingga pusat perbelanjaan. Jakarta sebagai ibukota negara dan menjadi pusat pemerintahan mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam bidang pembangunan gedung-gedung bertingkat mulai dari bangunan berlantai dua hingga berlantai lebih dari tiga puluh.

Beton konvensional merupakan bahan bangunan yang paling banyak dipakai sampai saat ini. Akan tetapi konstruksi-konstruksi yang menggunakan bahan beton konvensional pada umumnya mempunyai banyak kelemahan, diantaranya berat beton itu sendiri yang sangat besar dibandingkan berat total yang harus dipikul beton sehingga pengurangan densitas beton adalah salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi kerugian tersebut. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah dapat membuat beton lebih ringan, yaitu dengan memanfaatkan agregat ringan untuk menggantikan agregat yang biasa dipakai untuk membuat beton konvensional. Agregat itu bisa berupa batu apung, *styrofoam*, batu alwa, abu terbang dan serabut batang kelapa. Pembuatan beton ringan ini pada prinsipnya membuat rongga udara di dalam beton [1,2].

Dengan banyaknya jenis material yang mungkin dapat digunakan untuk pengembangan beton ringan saat ini perlu diwaspadai aspek kesehatannya. Beberapa bahan material dapat berpengaruh pada kesehatan karena bahan tersebut dapat menimbulkan pencemaran udara dan gangguan kesehatan akibat terlepasnya gas beracun, karsinogenik (penyebab kanker), seperti gas radon (^{222}Rn). Di beberapa negara sudah dilakukan penelitian terkait dampak gas radon di gedung-gedung bertingkat yang berasal dari bahan-bahan bangunan, karena implikasinya berupa paparan radiasi jangka panjang. Konsentrasi gas radon di gedung bertingkat di kota Hongkong dan Inggris dilaporkan berkisar antara 45 – 60 Bq/m³. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai rata-rata dunia yang dilaporkan oleh komite ilmiah dunia bidang efek radiasi nuklir UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) yaitu sebesar 33 Bq/m³ [3,4,5].

Inhalasi radon yang berlangsung secara terus-menerus (kronik) dapat menaikkan potensi resiko kanker paru. Dewan riset nasional Amerika Serikat, NRC (National Research Council), memperkirakan kasus kanker paru yang disebabkan oleh gas radon sekitar 10.000 – 14.000 orang/tahun. Sedangkan Badan Proteksi Radiasi Inggris, NRPB (National Radiological Protection Board) memperkirakan 2.500 orang/tahun. Di Indonesia diperkirakan sekitar 7.600 kanker/tahun untuk konsentrasi radon 38 Bq/m³ dengan total penduduk 260 juta orang [6,7,8].

Beton ringan pertama kali dikembangkan di Swedia pada tahun 1923 sebagai alternatif material bangunan untuk mengurangi penggundulan hutan. Kemudian beton ringan dikembangkan lagi oleh Joseph Hebel di Jerman tahun 1943. Di Indonesia

sendiri beton ringan mulai dikenal sejak tahun 1995, saat didirikannya PT Hebel Indonesia di Karawang Timur, Jawa Barat. Pembuatan beton ringan ini pada prinsipnya membuat rongga udara di dalam beton. Ada tiga macam cara membuat beton ringan. Pertama yang paling sederhana yaitu dengan memberikan agregat atau campuran isian beton ringan. Agregat itu bisa berupa batu apung, *styreofam*, batu alwa, abu terbang dan serabut batang kelapa. Cara kedua dengan menghilangkan agregat halus yang ukurannya < 5 mm (agregat halusnya disaring). Cara ketiga meniupkan atau mengisi udara di dalam beton yang mana beton diproses secara aerasi dan dikeringkan secara *autoclave*. Cara ketiga ini terbagi lagi menjadi secara mekanis dan secara kimiawi. Proses pembuatan beton ringan dengan cara ini lebih sering digunakan.

Beton dibuat dari adonan yang terdiri dari pasir kwarsa, semen, kapur, sedikit gipsum, air dan dicampur alumunium pasta sebagai bahan pengembang (pengisi udara secara kimiawi). Alumunium pasta, selain berfungsi sebagai pengembang juga berfungsi dalam mempengaruhi kekerasan beton. Selanjutnya adonan yang masih mentah ini, dimasukkan ke dalam *autoclave chamber* atau diberi uap panas dan diberi tekanan tinggi. Bubuk alumunium bereaksi dengan kalsium hidroksida yang ada di dalam pasir kwarsa dan air sehingga membentuk hidrogen. Gas hidrogen ini membentuk gelembung-gelembung udara di dalam campuran beton tadi. Di akhir proses pengembangan atau pembusaan, hidrogen akan terlepas ke atmosfer dan langsung digantikan oleh udara. Beton ringan cara ini sering disebut beton ringan aerasi atau *Aerated Lightweight Concrete* (ALC) dan sering juga disebut *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC). Sebutan lainnya *Autoclaved Concrete*, *Cellular Concrete*, *Porous Concrete*, di Inggris disebut *Aircrete* and *Thermalite*. Saat ini banyak material yang dapat dijadikan campuran untuk pembuatan beton ringan bahkan ada yang memanfaatkan limbah industri. Hal ini sangat berpotensi akan melepaskan gas radon di ruangan [9,10,11,12].

Terlepasnya gas radioaktif radon (^{222}Rn) dari beton ringan berhubungan erat dengan keberadaan radionuklida alam induk radon yaitu radium (^{226}Ra) dalam bahan baku (*raw material*) beton tersebut. Beberapa jenis limbah industri yang dapat diolah dan dikembangkan menjadi material beton ringan diantaranya mengandung ^{226}Ra seperti fosfogipsum, *fly ash* dan lain-lain. Gas radon (^{222}Rn) adalah anak luruh dari ^{226}Ra yang terkandung dalam bahan beton tersebut. Gas radon yang lepas dari dinding bangunan sewaktu di udara dalam ruangan akan meluruh menjadi ^{218}Po ,

^{214}Po , ^{214}Pb dan ^{214}Bi yaitu berupa partikel halus dengan diameter antara 40 – 150 nm dengan memancarkan radiasi alfa dan beta. Paparan radiasi alfa secara inhalasi (melalui jalur pernafasan), akan memberikan dosis radiasi interna yang cukup potensial menyebabkan kanker paru.

METODOLOGI

Bahan bangunan beton ringan dan beton konvensional seperti bata merah, batako semen, beton lempeng yang dijadikan sebagai bahan penelitian ini diperoleh di pasaran. Digunakan 3 (tiga) jenis beton ringan yang dalam penelitian ini diberi nomor kode beton ringan A, beton ringan B dan beton ringan C. Sedangkan untuk studi konsentrasi gas radon dalam udara ruangan dilakukan di gedung bertingkat yang berlokasi di Jakarta. Dalam penelitian ini 3 (tiga) buah gedung yang berbeda spesifikasi bahan bangunannya diteliti dan diberi kode Gedung X, Gedung Y dan Gedung Z. Gedung X terdiri atas bata merah, kaca, gipsum dan granit. Gedung Y terdiri atas beton ringan, kaca dan kayu. Sedangkan Gedung Z terdiri atas bata merah, kaca dan kayu.

Pengukuran Kandungan ^{226}Ra dalam Beton Ringan dan Bata Konvensional

Contoh dipreparasi menjadi pecahan-pecahan untuk mendapatkan ukuran butiran yang lebih kecil dan dikeringkan hingga beratnya konstan. Kemudian dihaluskan dan diayak untuk mengkondisikan cuplikan lebih homogen. Selanjutnya masing-masing contoh ditimbang dan dimasukkan ke dalam wadah marinelli ukuran 1 liter. Wadah marinelli ditutup dan kemudian tutupnya di-seal menggunakan *araldite* sehingga tidak ada gas radon yang keluar dari wadah. Sebelum dilakukan pengukuran, cuplikan didiamkan terlebih dahulu selama empat minggu untuk mendapatkan kondisi setimbang antara ^{226}Ra dengan radon (^{222}Rn). Konsentrasi ^{226}Ra selanjutnya diukur menggunakan spektrometer gamma dengan detektor *high purity germanium* (HPGe) model GEM-25185 buatan EG & G ORTEC, USA melalui pengukuran energi gamma 609,31 keV dari ^{214}Bi .

Pengukuran Laju Lepas Gas Radon dari Beton Ringan

Beton ringan ukuran 60 x 20 x 10 cm disusun menjadi tiga tingkat, kemudian disungkup menggunakan sungkup aluminium sehingga gas radon akan terakumulasi pada ruangan ekshalasi. Laju lepasan gas radon yang keluar dari material beton diukur dengan metode yang dikembangkan oleh Tso dkk [13] menggunakan alat ukur radon, *Continuous Radon Monitor Model 1027, Sun Nuclear Corp. USA*.

Pengukuran Konsentrasi Gas Radon Ruangan Gedung Bertingkat

Konsentrasi gas radon dalam ruangan di gedung bertingkat diukur menggunakan dosimeter radon pasif dengan detektor jejak nuklir CR-39 buatan Pershore-Moulding, UK [14]. Dosimeter pasif dipasang dalam ruangan pada 4 – 6 titik tergantung luas ruangan. Setelah 40 hari dosimeter diambil dan dilakukan proses etsa dalam larutan NaOH 6,25 N pada suhu 70 °C selama 6 jam. Kemudian dicuci dengan akuades pada suhu 40 °C selama 10 menit dan dikeringkan. Jumlah jejak di CR-39 akibat radiasi alfa dari radon, dievaluasi di bawah mikroskop optik model Mikrophot – Nikon, Jepang dengan pembesaran 400 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida alam ^{226}Ra dalam beton ringan dan konvensional ditampilkan pada Tabel 1 dan 2. Seperti yang terlihat pada Tabel bahwa, konsentrasi radionuklida alam ^{226}Ra dalam beton ringan ditemukan lebih rendah dibandingkan dengan bahan bangunan konvensional seperti bata merah, batako semen dan beton lempeng. Bahkan salah satu beton ringan jenis C mempunyai konsentrasi ^{226}Ra paling rendah dibandingkan kedua beton ringan lainnya. Walaupun sama-sama beton ringan akan tetapi kandungan ^{226}Ra nya tidak sama. Perbedaan kandungan ^{226}Ra ini disebabkan oleh berbedanya komposisi bahan baku campuran yang digunakan untuk pembuatan beton ringan tersebut. Hal yang sama juga terlihat dari hasil pengukuran laju lepasan radon yang dilakukan terhadap ketiga jenis beton ringan dalam penelitian ini, seperti pada Tabel 3. Laju lepasan gas radon dari beton ringan C lebih rendah dibandingkan beton ringan A dan B, setara dengan konsentrasi ^{226}Ra yang terkandung didalamnya. Kenaikan laju lepasan gas radon dari beton ringan jenis beton ringan A dan B hampir 4 kali dibanding beton ringan C.

Tabel 1 Konsentrasi ^{226}Ra dalam Beton Ringan

No.	No. Kode Contoh Beton Ringan	Konsentrasi ^{226}Ra (Bq/kg)
1.	Beton Ringan A	25 ± 1
2.	Beton Ringan B	39 ± 2
3.	Beton Ringan C	8 ± 0,3

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 2 Konsentrasi ^{226}Ra dalam Bata Konvensional

No.	Jenis Bahan Bangunan	Konsentrasi ^{226}Ra (Bq/kg)
1.	Bata Merah	62 ± 5
2.	Batako Semen	69 ± 5
3.	Beton Lempeng	83 ± 3

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 3 Laju Lepas ^{222}Rn dari Beton Ringan

No.	No. Kode Contoh Beton Ringan	Laju lepasan ^{222}Rn (Bq/m ² .jam)
1.	Beton Ringan A	0,80
2.	Beton Ringan B	1,12
3.	Beton Ringan C	0,2 – 0,3

Sumber: Hasil Analisis

Laju lepasan gas radon beton ringan Indonesia ditemukan dalam orde yang sama dengan hasil pengukuran yang dilaporkan untuk beton ringan Swiss dan Norwegia (Tabel 4). Akan tetapi lebih rendah dari data yang dilaporkan untuk beton ringan Hongkong karena beton ringan Hongkong menambahkan *fly ash* hasil pembakaran batu bara sebagai bahan campuran untuk pembuatan beton ringan tersebut. Konsentrasi ^{226}Ra dalam *fly ash* relatif tinggi yaitu > 164 Bq/kg dibandingkan dengan konsentrasi dalam kapur [15,16]. Bahan baku yang digunakan untuk campuran beton ringan secara signifikan akan berpengaruh terhadap laju lepasan gas radon.

Untuk melihat korelasi antara kandungan ^{226}Ra dalam bahan bangunan beton ringan dan konvensional dengan konsentrasi gas radon dalam udara ruangan, sebanyak delapan puluh empat (84) ruangan dari tiga (3) gedung bertingkat diukur konsentrasi gas radonnya. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi radon berkisar antara 5 – 91 Bq/m³. Jenis bahan yang digunakan untuk masing-masing gedung seperti bahan dinding, plafon memberikan pengaruh signifikan terhadap konsentrasi gas radon dalam ruangan. Konsentrasi gas radon ditemukan rendah di gedung bertingkat Y dan tinggi di gedung bertingkat X dan Z. Hal ini disebabkan karena gedung bertingkat Y menggunakan beton ringan untuk dindingnya dan menggunakan partisi serbuk kayu untuk plafonnya. Sedangkan gedung X dan Z menggunakan bata merah untuk dindingnya dan sebagian lantainya menggunakan granit, seperti yang terlihat pada Tabel 5. gedung X paling tinggi konsentrasi radonnya karena ada kontribusi radon dari bahan gipsium dan granit.

Dari hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat dilihat korelasi antara kandungan ^{226}Ra , dengan laju lepasan gas radon dari bahan bangunan serta konsentrasi gas radon di ruangan. Dengan demikian menunjukkan bahwa berdasarkan pengukuran konsentrasi ^{226}Ra (induk dari radon) dalam bahan bangunan, maka potensi radon di ruangan dapat diprediksi.

Analisis Biaya dan Keuntungan Pemakaian Beton Ringan

Pemakaian beton ringan untuk menurunkan resiko kanker paru harus tetap mempertimbangkan

biaya, mengingat harga beton ringan lebih mahal dibandingkan beton konvensional (bata merah). Analisis biaya-keuntungan (*cost benefit analysis*) dapat membantu dalam mengambil keputusan untuk pemakaian beton ringan. Berdasarkan publikasi Komisi Proteksi Radiasi Internasional, ICRP (International Commission on Radiological Protection), terkait upaya minimasi dosis radiasi, telah diperoleh persamaan yang menggambarkan hubungan antara penurunan resiko kanker dengan penambahan biaya yang dikeluarkan [17];

$$\Delta R \geq \Delta S \tag{1}$$

dengan $\Delta S \approx V(h_1 - h_2)$

- dimana ΔR : penurunan resiko kanker
- ΔS : penambahan biaya (*cost*)
- V : volume bahan bangunan
- h_1 : harga beton ringan
- h_0 : harga bata merah

Satu m³ beton ringan ukuran 60 cm x 20 cm x 10 cm terdiri atas 83 buah. Jika dikonversikan dalam satuan m² maka satu m² terdiri atas 8 buah. Sedangkan batu bata merah ukuran 25 cm x 12 cm x 5 cm per satu m² terdiri atas 33 buah. Beton ringan dijual dalam satuan volume m³ dengan harga Rp. 646.500,- per m³ atau Rp. 8.000,- per buah. Bata merah (pres mesin) dijual dalam satuan buah dengan harga Rp. 413,- per buah [18].

Untuk luas dinding satu meter persegi, maka nilai ΔS dapat dihitung menjadi;

$$\Delta S = 1 (\text{Rp. } 64.000 - \text{Rp. } 13.600) = \text{Rp. } 50.400,- \tag{2}$$

Dengan merujuk kepada hasil kajian Badan Proteksi Radiasi Inggris, NRPB (National Radiological Protection Board) bahwa resiko kanker paru adalah 3 kasus per 1.000 orang untuk konsentrasi radon sebesar 20 Bq/m³ dan lama tinggal di ruangan 7.000 jam/tahun, maka *cost-benefit analysis* dapat diturunkan seperti yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 4 Laju Lepas Radon dari Beberapa Beton Ringan di Beberapa Negara

No.	Negara	Jenis Beton Ringan	Laju Lepas Radon (Bq/m ² .jam)
1.	Hongkong	Beton ringan aerasi (+ <i>lime</i>)	< 4,32
		Beton ringan aerasi (+ <i>fly ash</i>)	9,36 – 10,80
		Beton ringan <i>agregate</i>	< 4,68
2.	Swiss	Beton ringan aerasi	1,6 – 1,8
3.	Norwegia	Beton ringan aerasi	1,0 – 3,0

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 5 Konsentrasi Radon dalam Udara Ruang Gedung Bertingkat

No.	No. Kode Gedung	Jumlah Ruang diukur	Spesifikasi Bahan Bangunan	Konsentrasi Radon (Bq/m ³)
1.	Gedung X	27	Bata merah, Kaca, Gypsum, Granit	45 – 91 (74)
2.	Gedung Y	36	Beton ringan, Kaca, Kayu	5 – 39 (11)
3.	Gedung Z	21	Bata merah, Kaca, Kayu	22 – 50 (32)

Catatan:

(): nilai rata-rata

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 6 Perkiraan Resiko Kanker Paru-Paru Jangka Panjang dari Gas Radon

No.	Konsentrasi radon (Bq/m ³)	Resiko kanker (orang)
1.	20	3 dari 1.000
2.	100	1,5 dari 100
3.	200	3 dari 100
4.	400	6 dari 100

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan data pengukuran konsentrasi radon di ruangan gedung bertingkat pada Tabel 5, untuk bahan dasar bata merah (Gedung Z) dengan rata-rata radon 32 Bq/m³ dan beton ringan (Gedung Y) dengan rata-rata radon 11 Bq/m³, maka perkiraan resiko kanker paru (Tabel 6) dapat dikuantisasikan melalui persamaan (1) menjadi:

$$\Delta R \geq \text{Rp. } 50.400,- \\ (4,8 - 1,65) \text{ dari } 1000 \geq \text{Rp. } 54.400,- \\ 3,15 \text{ dari } 1000 \geq \text{Rp. } 54.400,-$$

Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa dengan mengeluarkan tambahan biaya Rp. 50.400,- resiko kanker paru dapat diturunkan dari 4,8/ 1000 menjadi 1,65/ 1000 atau sebesar 66 %. Biaya tersebut masih terjangkau dan murah bila dibandingkan biaya yang harus dikeluarkan untuk pengobatan penyakit kanker. Walaupun relatif lebih mahal daripada pemakaian beton konvensional namun masih terjangkau dan lebih murah bila dibandingkan biaya yang harus dikeluarkan untuk pengobatan penyakit kanker. Sehubungan dengan itu cara yang sederhana dan ekonomis untuk mengantisipasi resiko kanker paru oleh gas radon di masa depan adalah dengan penggunaan beton ringan untuk bangunan perumahan, perkantoran dan properti lainnya. Hasil penelitian ini menambah deretan *item* keunggulan pemakaian beton ringan khususnya yang terbuat dari bahan baku (*raw material*) yang mengandung radionuklida alam radium rendah. Bila kandungan radium (²²⁶Ra) dalam bahan baku beton rendah maka konsentrasi radon dalam ruangan yang terbuat dari beton tersebut juga rendah. Kenyataan ini dapat dijadikan sebagai

salah satu "ikon promosi" dengan tema "safe radon", "low lung cancer risk" untuk penjualan/ penyewaan properti sebagaimana yang telah dilakukan oleh negara-negara maju seperti di Eropa dan Amerika [19].

KESIMPULAN

Gas radon (²²²Rn) dalam udara ruangan berasal dari peluruhan unsur radioaktif alam ²²⁶Ra yang terkandung di dalam bahan bangunan. Oleh karena itu konsentrasi gas radon di ruangan tergantung pada konsentrasi ²²⁶Ra dalam bahan bangunan. Pada penelitian ini ditemukan konsentrasi ²²⁶Ra dalam beton ringan produk lokal lebih rendah dari beton konvensional produk lokal dan konsentrasi ²²⁶Ra bervariasi, tergantung kepada bahan baku campuran yang digunakan untuk pembuatan beton ringan tersebut. Konsentrasi gas radon dalam ruangan yang bahan dasarnya menggunakan beton ringan, lebih rendah dari ruangan yang dominan menggunakan beton konvensional. Konsekuensinya pemakaian beton ringan untuk non-struktur bangunan (dinding) dapat mereduksi gas radon *indoor* dan sekaligus dapat menekan potensi resiko kanker paru dari inhalasi gas radon yang ada di ruangan.

SARAN

Penelitian ini perlu dilanjutkan untuk jenis-jenis beton ringan yang lainnya mengingat produk beton ringan di pasaran lokal akhir-akhir ini semakin meningkat dengan bahan baku campuran yang beraneka ragam. Kenaikan kadungan ²²⁶Ra dalam bahan baku campuran beton ringan akan berakibat kenaikan laju lepasan radon di ruangan. Uji kandungan radionuklida alam ²²⁶Ra dalam bahan baku atau produk bangunan oleh laboratorium yang telah ditunjuk oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) perlu diberlakukan sebagai salah satu syarat sertifikasi bahan bangunan sebelum dipasarkan agar konsumen tidak dirugikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bunawas dan Abubakar, R. 1990. *Dosimeter Radon Pasif dengan Detektor Jejak Nuklir CR-39*. UI – Depok: Simposium Fisika Jakarta.
- Bunawas. 2004. *Status Mutakhir Paparan Radon dan Resiko Kanker serta Upaya Proteksi Radiasi ke depan*. Jakarta: Makalah Orasi Ahli Peneliti Utama.
- FIP. 1983. *Manual of Lightweight Aggregate Concrete, 2nd Edition*. London: Surrey University Press.
- Hollis, M. 1992. *Building Pathology and the Interpretation of the Impact of Radon on the*

- Property Market. *Radiation Protection Dosimetry* 42:225-232.
<http://www.hebel.co.id>
- Krisiuk, E. M., and Karpov, VI. 1980. Cost-benefit Analysis Applied to Building Materials with Comparatively High Natural Radionuclide Concentration. *Health Physics* 39:578-580.
- Leung, J. K. C., Tso, A. Y. W. and Ho, C. W. 1998 Behaviour of ^{222}Rn and its progeny in High-rise Buildings. *Health Physics* 75(3):303-312.
- NRC. 1999. *Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI*. Washington, DC: National Academic Press.
- NRPB. 2000. *Health Risk from Radon*. Chilton – England: Faculty of Public Health Medicine, National Radiological Protection Board.
- Poetri, A. D. 2006. *Perkiraan Paparan Radiasi Internal Gas Radon dari Pemakaian Beton Ringan Aerasi Hebel untuk Bahan Bangunan*. Skripsi S1, FMIPA IPB.
- Schuler, Ch., Cramer, R. and Burkart, W. 1991. Assessment of the Indoor Radon Contribution of Swiss Building Materials. *Health Physics* 60(3):447-451.
- Tso, M.Y.W., Chor-Yi, NG, Leung, and John. K. C. 1994. Radon Release From Building Materials in Hongkong. *Health Physics* 67(4):378-384.
- UNSCEAR. 2000. *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects*. New York: United Nation.
- Wrixon, A. D., Brown, L., Cliff, K. D., Driscoll, C.M.H., Green, B.M.R. and Miles, J.C.H. 1984. Indoor Radiation Surveys in the UK. *Radiation Protection Dosimetry* 7:321-325.
- Yu, K. N., Young, E. C. M., Stokes, M. J. and Lo, T. Y. 1996. The Reduction of Indoor Radon Concentration by Using Lightweight Concrete in High-rise Buildings. *Radiation Protection Dosimetry* 67 (2):139-141.
2008. <http://duniarumah.com/jurnal-harga-bahan-bangunan.deo> (accessed September 12, 2008).
2008. <http://infobangunan.com>
2008. <http://wordpress.com> (accessed September 22, 2008).