

Analisis aktivitas radionuklida alam dan dosis paparan radiasi pada material bangunan

Riana Anis Safitri¹⁾, Evi Setiawati¹⁾ dan Gede Sutresna Wijaya²⁾

¹⁾Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾Laboratorium Bidang K2 PSTA-BATAN, Yogyakarta.

E-mail: rianaanissafitri@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Building materials cement, gypsum and sand were analyzed quantitatively and qualitatively for the natural radionuclides using gamma spectroscopy method with detector high purity germanium (HPGe). The highest value observed in the activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K were found in sand that $42,12 \text{ Bq kg}^{-1}$, $27,79 \text{ Bq kg}^{-1}$ and $316,20 \text{ Bq kg}^{-1}$. The highest value of radium equivalent (Ra_{eq}) $106,21 \text{ Bq kg}^{-1}$ was found in sand are below the internationally accepted values (370 Bq kg^{-1}). The highest value of internal and external hazard indices were found in sand $0,401$ dan $0,287$ are less than unity ($H_{in} \leq 1$ and $H_{ex} \leq 1$). The highest value of absorbed dose rate was found in sand $49,52 \text{ nGy h}^{-1}$ are lower than the world population-weight average of 84 nGy h^{-1} . The highest annual effective dose values was found in sand $0,243 \text{ mSv y}^{-1}$ is lower than the limit of accepted value 1 mSv y^{-1} . The study shows that measured radioactivity for bulding materials cement, gypsum and sand does not pose as significant source radiological hazard and is save for use in construction of building or dwelling.

Keywords: Nature radionuclide, Radiation dose, Gamma spectrometry

ABSTRAK

Analisis radionuklida alam dalam material bangunan semen, gipsum dan pasir dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan metode spektrometri gamma dengan detektor HPGe. Aktivitas konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K paling besar terdapat pada sampel pasir sebesar $42,12 \text{ Bq kg}^{-1}$, $27,79 \text{ Bq kg}^{-1}$ dan $316,20 \text{ Bq kg}^{-1}$. Radium ekivalen (Ra_{eq}) paling besar terdapat pada sampel pasir sebesar $106,21 \text{ Bq kg}^{-1}$ sesuai nilai batas maksimal Ra_{eq} yaitu 370 Bq kg^{-1} . Indeks bahaya internal dan eksternal paling besar terdapat pada sampel pasir sebesar $0,401$ dan $0,287$ sesuai nilai batas maksimal yaitu ≤ 1 . Laju dosis serap paling besar terdapat pada sampel pasir sebesar $49,52 \text{ nGy h}^{-1}$ yang berada dibawah nilai batas maksimal yaitu 84 nGy h^{-1} . Laju dosis Efektif paling besar terdapat pada sampel pasir sebesar $0,243 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$ yang sesuai dengan batas dosis untuk material bangunan yaitu $1 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$. Seluruh material bangunan semen, gipsum dan pasir yang telah dianalisis tidak menimbulkan bahaya radiologi sehingga aman digunakan sebagai konstruksi gedung maupun tempat tinggal.

Kata kunci: Radionuklida alam, Dosis radiasi, Spektrometri Gamma

PENDAHULUAN

Sebagian besar bangunan di Indonesia menggunakan semen, gipsum dan pasir sebagai bahan utama bangunan yang berasal dari tanah dan batuan. Pada tanah dan batuan terdapat radionuklida alam yaitu antara lain uranium, kalium dan thorium sehingga produk yang berasal dari batuan dan tanah mengandung berbagai radionuklida alam terutama uranium (^{238}U), thorium (^{232}Th) dan isotop radioaktif kalium (^{40}K).

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kandungan radionuklida alam ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K yang terdapat pada duabelas sampel material bangunan semen dan gipsum dengan variasi merek dari beberapa toko material bangunan dengan metode spektrometri sinar gamma menggunakan detektor high purity germanium (HPGe).

Sebagai bahan utama bangunan, keberadaan radionuklida alam pada semen, gipsum dan pasir dapat memberikan bahaya radiasi internal maupun eksternal bagi penghuni bangunan. Bahaya internal yang

ditimbulkan yaitu gas radon dan gas thoron yang terhirup melalui udara. Bahaya eksternal yang ditimbulkan yaitu radiasi gamma yang dipancarkan oleh material bangunan semen, gipsium dan pasir. Oleh karena itu diperlukan pengukuran aktivitas radionuklida alam Ra, Th dan K yang terdapat pada semen, gipsium dan pasir.

DASAR TEORI

Mineral uranium terdapat dalam kerak bumi pada semua jenis batuan terutama batuan granit dengan kadar 3 hingga 4 gram per satu ton batuan. Pada umumnya uranium dalam batuan terdistribusi secara merata dan dapat dijumpai dalam bentuk mineral uranit maupun oksida kompleks euksinit betafit. Uranit merupakan mineral yang kandungan utamanya adalah uranium (80%) sedangkan euksinit betafit kandungan uraniumnya 20%. Uranium memiliki beberapa isotop dengan kelimpahan yang berbeda yaitu 99,275% (^{238}U), 0,72% (^{235}U), dan 0,005% (^{234}U) [1].

Thorium terdapat dalam jumlah sedikit terutama dalam batuan dan tanah. Kandungan thorium di tanah sekitar 12 ppm dengan isotop terbanyak adalah ^{232}Th dengan kelimpahan 100%. Kalium merupakan unsur logam alkali yang berwarna putih keperakan [1].

Kalium di alam berada di mineral batuan yang umumnya dalam bentuk senyawa karbonat. Terdapat tiga isotop utama kalium yaitu ^{39}K (93,3%), ^{40}K (0,012%), dan ^{41}K (6,7%). Isotop ^{39}K dan ^{41}K adalah stabil, sedangkan ^{40}K bersifat radioaktif yang meluruh menjadi ^{40}Ca dan ^{40}Ar disertai pemancaran partikel beta dan sinar gamma [1].

Spektrometer sinar gamma dapat didefinisikan sebagai suatu cara pengukuran dan identifikasi zat-zat adioaktif dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi foton gamma yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif tersebut dengan materi detektor. Spektrometer gamma secara umum terdiri dari detektor semikonduktor, peralatan elektronik terkait,

dan penganalisa multi saluran (*Multi Channel Analyzer/MCA*) berbasis komputer [2].

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

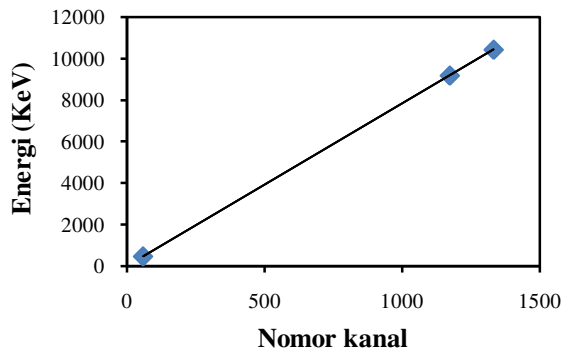
Alat preparasi sampel terdiri dari ayakan 200 *mesh*, nampan, alat penggerus, timbangandigital, dan wadah polietilen. Ayakan ini berfungsi agar seluruh sampel memiliki ukuran butiran yang sama. Wadah Polietilen berfungsi sebagai tempat untuk mengisolasi sampel agar udara (gas radon) tidak ada yang keluar.

Spektrometer gamma terdiri dari detektor semikonduktor HPGe tipe *coaxial* (diameter 49,9 dan panjang 40,5 mm) dengan efisiensi relatif 15 %, resolusi 1,87 keV pada energi 1,33 MeV, dilengkapi dengan perisai Pb yang dilapisi Cd dan Cu. Tebal perisai yang digunakan adalah 10cm. *Amplifier* model 2020 produksi canberra, sumber tegangan tinggi (HV) model 306D produksi canberra beroperasi pada tegangan 2500 V dengan arus DC, serta *Multi Channel Analyzer* jenis *Multiport II* produksi Canberra dengan lebar kanal 16k.

Pencuplikan semen dan gipsium diambil dari beberapa toko material bangunan dengan variasi merek dan sampel pasir yang berasal dari aliran gunung merapi. Kemudian dilakukan pencuplikan pada kedua belas sampel dengan masing-masing sampel diambil sebanyak satu kg. Keduabelas cuplikan tersebut diayak dengan ayakan berukuran 200 *mesh*. Hal ini bertujuan agar mengkondisikan cuplikan lebih homogen dan untuk mendapatkan ukuran butiran yang lebih kecil [3].

Analisis kualitatif dilakukan untuk mengetahui unsur yang terdapat dalam sampel dan sebelumnya dilakukan kalibrasi energi untuk memperoleh kestabilan pada alat. Setelah dilakukan pengukuran sumber standar ^{241}Am pada energi 59,5 keV yang berada pada nomor kanal 465 dan ^{60}Co pada energi 1332,5 keV yang berada pada nomor kanal 9184 dan

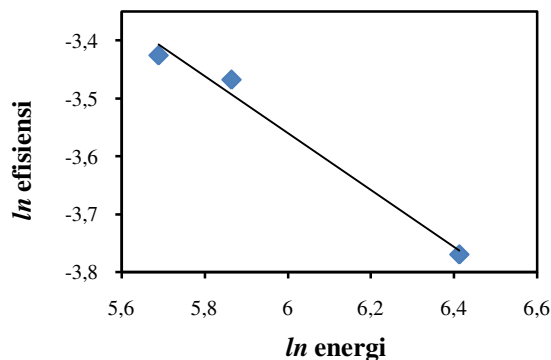
1173,21 keV yang berada padanomor kanal 10432 maka diperoleh puncak-puncak dalam bentuk spektrum.



Gambar 1. Kurva Kalibrasi Energi

Kalibrasi efisiensi dilakukan dengan mencacah sumber standar IAEA-Soil-6 pada energi 295,47 KeV, 352,04 KeV dan 609,35 KeV. Kalibrasi efisiensi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1).

$$\varepsilon_y(E) = \frac{\frac{s_{st}}{t_{st}} - \frac{s_b}{t_b}}{A_{st} m_{st} \rho_y f_k} \quad (1)$$



Gambar 2. Kurva kalibrasi efisiensi

Grafik *fitting* ln energi vs ln efisiensi sumber standar IAEA-Soil-6 pada energi tertentu bertujuan agar dihasilkan grafik yang linier. Kurva kalibrasi efisiensi dapat dilihat pada Gambar 2 dan diperoleh persamaan regresi $y = -0,49x - 0,60$ dan $R^2 = 0,98$ dengan x adalah ln energi, y adalah ln efisiensi dan R^2 adalah koefisien regresi. Dari persamaan garis tersebut menunjukkan bahwa detektor

semikonduktor HPGe mempunyai efisiensi yang semakin kecil dengan semakin bertambahnya energi dan menurun secara linier dari energi di atas 300 keV.

Pengukuran Aktivitas ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K

Pengukuran aktivitas latar dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran aktivitas pada sampel. Pencacahan latar dilakukan selama 86.400 detik sehingga diperoleh spektrum latar. Kemudian masing-masing cuplikan yang telah didiamkan selama 30 hari diukur radioaktivitasnya menggunakan alat spektrometer gamma dengan detektor germanium kemurnian tinggi (HPGe) selama 12 jam atau 43200 detik.

Analisis kandungan radionuklida alam ditentukan dari anak luruhnya yang memancarkan radiasi gamma. Untuk menganalisis aktivitas konsentrasi ^{226}Ra digunakan ^{214}Pb pada energi 295,2 KeV dengan kelimpahan sinar gamma 18,2 %, ^{214}Pb pada energi 351,9 keV dengan kelimpahan sinar gamma 35,1 % dan ^{214}Bi pada energi 609,3 KeV dengan kelimpahan sinar gamma 4,6 %, untuk menganalisis ^{232}Th digunakan ^{212}Pb dengan pada energi 238,6 KeV dengan kelimpahan sinar gamma 43,5 % dan ^{228}Ac pada energi 911,1 keV dengan kelimpahan sinar gamma 26,6% dan untuk menganalisis ^{40}K dengan kelimpahan sinar gamma 10,67% pada energi 1460 keV.

Perhitungan aktivitas zat radioaktif dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2).

$$A = \frac{\frac{s_{sp}}{t_{sp}} - \frac{s_b}{t_b}}{\varepsilon_y(E) m_{sp} \rho_y} \quad (2)$$

dengan A adalah aktivitas radionuklida (Bq.kg^{-1}), S_{sp} adalah cacah sampel, t_{sp} adalah waktu cacah sampel, s_b adalah cacah latar, t_b adalah waktu cacah latar, $\varepsilon_y(E)$ adalah efisiensi pada energi tertentu, m_{sp} adalah massa sampel, ρ_y adalah kelimpahan sinar gamma [4].

Radium Ekivalen

Aktivitas Radium Ekivalen (Ra_{eq}) dihitung menggunakan persamaan yang diperoleh dalam persamaan (3).

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1,43 A_{Th} + 0,077 A_K \quad (3)$$

dengan A_{Ra} adalah aktivitas radium, A_{Th} adalah aktivitas thorium dan A_K adalah aktivitas kalium [5].

Indeks Bahaya Internal

Paparan radiasi internal pada radon dan anak luruhnya dapat diukur dengan menghitung nilai indeks bahaya internal (H_{in}) dengan menggunakan persamaan (4).

$$H_{in} = \frac{A_{Ra}}{185 \text{ Bq/Kg}} + \frac{A_{Th}}{259 \text{ Bq/Kg}} + \frac{A_K}{4810 \text{ Bq/Kg}} \quad (4)$$

dengan A_{Ra} adalah aktivitas radium, A_{Th} adalah aktivitas thorium dan A_K adalah aktivitas kalium [5].

Indeks Bahaya Eksternal

Dalam menghitung dosis eksternal radiasi sinar- γ dari bahan bangunan, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370 \text{ Bq/Kg}} + \frac{A_{Th}}{258 \text{ Bq/Kg}} + \frac{A_K}{4810 \text{ Bq/Kg}} \quad (5)$$

dengan A_{Ra} adalah aktivitas radium, A_{Th} adalah aktivitas thorium dan A_K adalah aktivitas kalium [5].

Laju Dosis Serap dan Laju Dosis Efektif

Laju dosis yang diserap dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

$$D = 0,462A_{Ra} + 0,604A_{Th} + 0,042A_K \quad (6)$$

dengan A_{Ra} , A_{Th} dan A_K adalah aktivitas dari radium, thorium dan kalium (UNSCEAR,1988). Laju dosis efektif yang dipaparkan oleh material bangunan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7).

$$E = D \times 24 \text{ jam} \times 365,25 \text{ hari} \times 0,8 \times 0,7 \times 10^{-6} \quad (7)$$

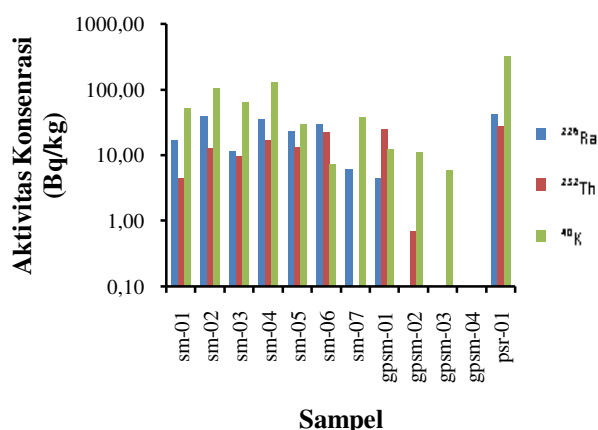
dengan D adalah banyaknya laju dosis yang serap (nGy.h^{-1}), nilai 0,8 adalah nilai faktor okupansi, dan nilai 0,7 adalah nilai faktor untuk konversi dosis yang diserap oleh orang dewasa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas Konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K

Aktivitas konsentrasi radionuklida dapat diketahui setelah dilakukan pencacahan sampel semen, gipsum dan pasir dengan spektrometer gamma menggunakan detektor HPGe. Seluruh cuplikan sampel semen (sm), gipsum (gpsm) dan pasir (psr) selama 43200 detik atau 12 jam. Dari hasil pencacahan seluruh sampel, terdapat beberapa sampel yang memiliki luas puncak serapan total (*net area*) yang lebih kecil nilainya dari luas puncak serapan total latar. Beberapa sampel yang luas puncak serapan totalnya lebih kecil dari latar seperti sampel semen sm-07 dan sampel gipsum gpsm-02, kemudian pada sampel gipsum gpsm-03 dan gpsm-04 tidak memiliki ^{226}Ra dan ^{232}Th , serta sampel gipsum gpsm-04 yang tidak memiliki kandungan radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K .

Aktivitas konsentrasi masing-masing sampel ditunjukkan pada Gambar 3. Aktivitas konsentrasi ^{226}Ra paling besar terdapat pada cuplikan sampel psr-01 sebesar $42,12 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Aktivitas konsentrasi ^{232}Th paling banyak terdapat pada sampel psr-01 sebesar $27,79 \text{ Bq.kg}^{-1}$ dan aktivitas konsentrasi ^{40}K paling besar juga terdapat pada sampel psr-01 sebesar $316,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$.



Gambar 3. Aktivitas konsentrasi sampel semen (sm), gypsum (gpsm) dan pasir (psr)

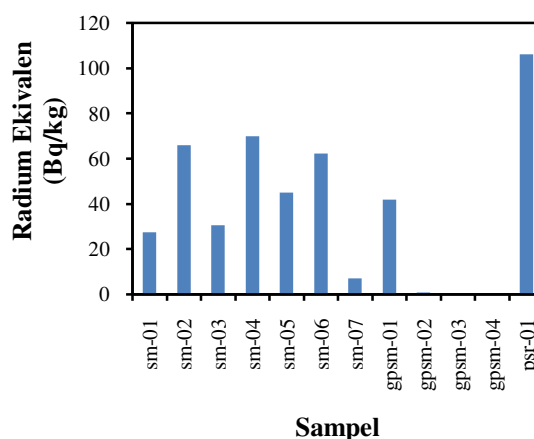
Besar aktivitas konsentrasi ^{226}Ra pada sampel psr-01 menunjukkan tingginya konsentrasi uranium di dalam tanah dan batuan pada lokasi penambangan pasir. Konsentrasi ^{226}Ra yang tinggi akan berpotensi pada tingginya gas radon (^{222}Rn) yang dilepaskan. Aktivitas konsentrasi ^{232}Th yang tinggi akan berpotensi pada tingginya lepasan gas thoron (^{220}Rn). Aktivitas konsentrasi ^{40}K yang tinggi berpotensi pada tingginya paparan radiasi sinar gamma [1].

Tingginya konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K pada sampel pasir dapat dipengaruhi dari kondisi geologi dan geografi dari lokasi penambangan pasir yaitu aliran sungai dari gunung merapi yang masih aktif sehingga kadar vulkanonya tinggi yang berpengaruh pada kandungan mineral yang tinggi terutama Fe. Aktivitas konsentrasi pada cuplikan sampel juga dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain laju cacah sampel, laju cacah latar, efisiensi, kelimpahan energi gamma dan massa cuplikan.

Radium Ekuivalen (Ra_{eq})

Pelepasan zat radioaktif yang terdapat pada bahan bangunan ke lingkungan dapat secara langsung maupun tidak langsung memberikan paparan radiasi terhadap masyarakat. Oleh karena itu, paparan radiasi yang dipancarkan oleh material bangunan

harus dipantau agar tidak melampaui nilai batas dosis yang telah ditetapkan. Salah satu cara untuk mengetahui besar paparan radiasi yang dipancarkan oleh material bangunan yaitu dengan cara mengukur nilai radium ekuivalen dari bahan bangunan tersebut.



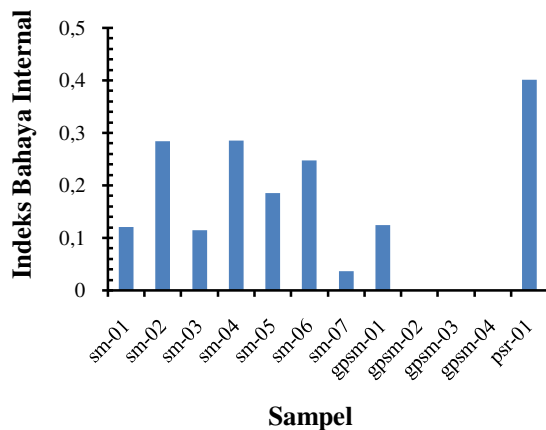
Gambar 4. Radium ekuivalen sampel semen (sm), gypsum (gpsm) dan pasir (psr)

Gambar 4 menunjukkan nilai radium ekuivalen masing-masing sampel. Nilai radium ekuivalen paling besar terdapat pada sampel psr-01 yaitu 42 Bq kg^{-1} . Nilai ini masih dibawah batas standar untuk nilai radium ekuivalen paada material bangunan yaitu 370 Bq kg^{-1} atau setara dosis gamma 1 mSv y^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa sinar gamma yang dipancarkan oleh sampel semen, gipsium dan pasir tidak akan memberikan bahaya radiologi yang signifikan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa seluruh sampel masih aman untuk digunakan sebagai material bangunan.

Indeks Bahaya Internal (H_{in})

Radionukida yang terdapat pada sampel bahan bangunan memancarkan radiasi gamma baik di dalam maupun diluar bangunan, oleh karena itu untuk mengetahui besar bahaya radiasi yang dipaparkan didalam bangunan dapat diukur dengan menghitung indeks bahaya internal (H_{in}). Indeks bahaya internal yang terdapat pada bahan bangunan dapat diukur

dengan mengetahui aktivitas konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K yang terdapat di dalam sampel semen, gipsum dan pasir, sehingga besarnya nilai indeks bahaya internal dipengaruhi besarnya aktivitas ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K yang terdapat pada sampel.

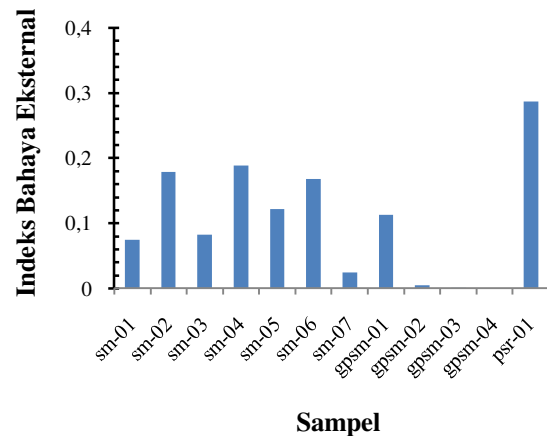


Gambar 5. Indeks bahaya internal sampel semen (sm), gypsum (gpsm) dan pasir (psr)

Gambar 5 menunjukkan indeks bahaya internal masing-masing sampel. Nilai indeks bahaya internal yang paling besar terdapat pada sampel psr-01 yaitu 0,41. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki nilai sesuai batas maksimum yang direkomendasikan oleh UNSCEAR yaitu $H_{in} \leq 1$. Seluruh sampel masih amandigunakan sebagai material bangunan karena lepasan gas radon dan gas thoron yang ditimbulkan tidak memberikan potensi bahaya radiologi.

Indeks Bahaya Eksternal (H_{ex})

Selain menimbulkan bahaya paparan radiasi di dalam ruangan, radiasi gamma juga menimbulkan bahaya di luar bangunan. Hal ini disebabkan sinar gamma akan memancarkan radiasinya ke segala arah. Bahaya paparan radiasi di luar bangunan dapat diketahui dari nilai indeks bahaya radiasi eksternal yang dipaparkan oleh material bangunan, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

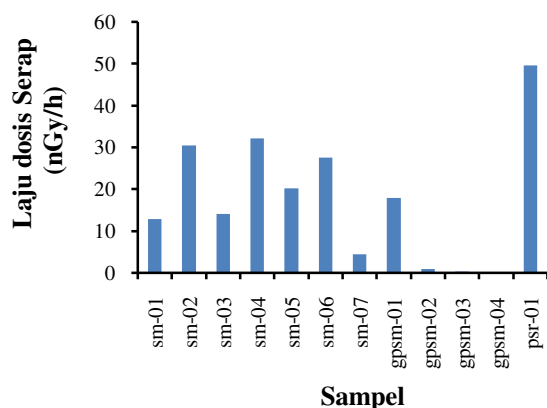


Gambar 7. Indeks bahaya eksternal sampel semen (sm), gypsum (gpsm) dan pasir (psr)

Nilai indeks bahaya eksternal paling besar terdapat pada sampel psr-01 yaitu 0,287. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki nilai sesuai batas maksimum yang direkomendasikan oleh UNSCEAR yaitu $H_{ex} \leq 1$. Seluruh sampel masih amandigunakan sebagai material bangunan karena radiasi gamma yang dipancarkan tidak memberikan potensi bahaya radiologi.

Laju Dosis Serap

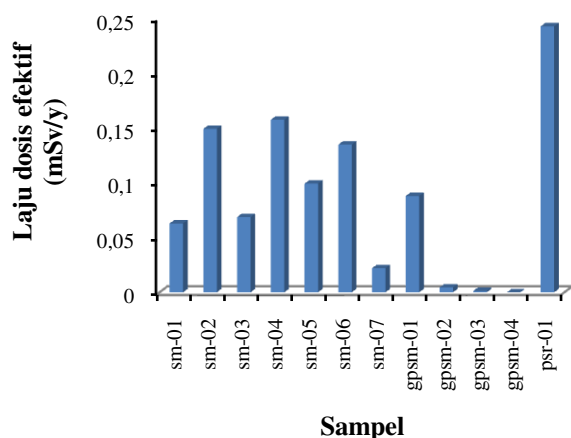
Sinar gamma merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang dapat pula ditinjau sebagai paket-paket catu energi yang dinamakan foton gamma. Apabila sinar gamma berinteraksi dengan materi, maka energinya akan diserahkan pada atom-atom materi yang dilalui, dengan kata lain medium menyerap radiasi. Sampel yang diuji memiliki laju dosis serap antara 0,45 nGy/h hingga 49,52 nGy/h. Nilai laju dosis serap paling besar terdapat pada sampel psr-01 yaitu 49,52 nGy/h. Hal ini menunjukkan bahwa dosis serap yang dipaparkan oleh sampel semen, gipsum dan pasir masih dibawah nilai batas dosis untuk material bangunan yaitu 84 nGy/h, seperti dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Laju dosis serap sampel semen (sm), gypsum (gpsm) dan pasir (psr)

Laju Dosis Efektif

Nilai laju dosis efektif dapat diketahui setelah memperoleh nilai laju dosis serap. Gambar 9 menunjukkan laju dosis efektif masing-masing sampel. Laju dosis efektif paling besar terdapat pada sampel pasir psr-01 yaitu 0,243 $\mu\text{Sv/y}$. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki laju dosis efektif dibawah nilai batas yang ditentukan oleh *International commission of Radiological Protection* (ICRP) yaitu 1 mSv/y, sehingga dapat disimpulkan seluruh material bangunan semen, gipsum dan pasir yang diuji tidak memiliki dampak radiologi yang signifikan khususnya pada sistem pernapasan melalui udara yang terhirup.



Gambar 9. Laju dosis efektif sampel semen (sm), gypsum (gpsm) dan pasir (psr)

KESIMPULAN

Analisis kualitatif menunjukkan adanya radionuklida alam ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K yang terkandung dalam sampel semen, gipsum dan pasir kecuali pada sampel sm-07, gpsm-02, gpsm-03 dan gpsm-04. Aktivitas konsentrasi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K paling besar terdapat pada sampel pasir sebesar 42,12 Bq/Kg, 27,79 Bq/kg dan 316,2 Bq/kg. Radium ekivalen paling besar dimiliki sampel pasir yaitu 42 Bq/kg dibawah batas maksimal nilai radium ekivalen untuk material bangunan yaitu 370 Bq/kg atau setara dengan 1,5 mSv/y. Indeks bahaya internal dan eksternal yang dipaparkan paling besar terdapat pada sampel pasir yaitu 0,41 dan 0,287 sesuai batas indeks bahaya yaitu kurang dari 1. Laju dosis serap yang diterima tubuh masih aman karena dosis serap paling besar terdapat pada sampel pasir yaitu 49,52 nGy/h yang masih dibawah nilai batas dosis untuk material bangunan yaitu 84 nGy/h. Laju dosis efektif yang dipaparkan oleh radionuklida paling besar terdapat pada sampel pasir yaitu 0,243 μSv yang masih dibawah nilai batas dosis efektif untuk material bangunan yaitu 1 mSv per tahun, sehingga material bangunan semen, gipsum dan pasir yang diuji tidak memberikan dampak radiologi pada tubuh khususnya pada sistem pernapasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak laboratorium bidang K2 PSTA-BATAN Yogyakarta yang sudah membantu penulis dalam melakukan penelitiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rasito, Zulfakhri, Arianta, P. dan Suherman, A., (2007) Konsentrasi Uranium, Thorium dan Kalium dalam Berbagai Produk Semen yang Dipasarkan di Indonesia, Prosiding

- Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR-BATAN Bandung.
- [2] Susetyo, W. (1988) *Spekrometri Gamma*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- [3] Akhadi, M. (2000) *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta: PT Rineka Cipta.
- [4] Ibrahim, A., Farid, M., Saleh, E., Mansour, M. dan Mohammed, A. (2014) *Natural Radioactivity and Radiological Hazards of Some Building Materials of*
- Aden*, Journal of Geochemical Exploration, 140, 41-45.
- [5] Senthilkumar, G., Raghu, Y., Sivakumar, S., Chandrasekaran, A., Anand, D. dan Ravisankar, R. (2014) *Natural Radioactivity Measurement and Evaluation of Radiological Hazards in Some Commercial Flooring Materials Used in Thiruvannamalai, Tamilnadu, India*, Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 7, 116-122.