

KADAR ^{226}Ra , ^{232}Th , DAN ^{40}K DALAM TANAH DAN AIR DI TAMBANG EMAS BAWAH TANAH

Sutarman, Wahyudi, R. Buchari dan Asep Warsona

P3KRBiN – BATAN

ABSTRAK

KADAR ^{226}Ra , ^{232}Th , DAN ^{40}K DALAM TANAH DAN AIR DI TAMBANG EMAS BAWAH TANAH. Pengukuran kadar ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dalam tanah dan air telah dilakukan di beberapa lokasi tambang emas bawah tanah, di daerah Pongkor, Jawa Barat. Sampel tanah dan air diukur menggunakan spektrometer-gama dengan detektor semikonduktor HP-Ge. Hasil-hasil pengukuran memperlihatkan bahwa kadar ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K di dalam sampel bervariasi. Kadar radionuklida dalam sampel tanah berkisar dari $(6,10 \pm 0,17)$ Bq/kg sampai $(21,75 \pm 0,37)$ Bq/kg dengan harga rata-rata $(13,67 \pm 0,08)$ Bq/kg untuk ^{226}Ra , $(7,71 \pm 0,22)$ Bq/kg sampai $(23,62 \pm 0,37)$ Bq/kg dengan harga rata-rata $(13,40 \pm 0,09)$ Bq/kg untuk ^{232}Th , dan $(435,74 \pm 3,05)$ Bq/kg sampai $(1665,17 \pm 6,39)$ Bq/kg dengan harga rata-rata $(611,44 \pm 1,47)$ Bq/kg untuk ^{40}K , dan dalam sampel air berkisar dari tak terdeteksi sampai $(450,15 \pm 6,68) \times 10^{-3}$ Bq/L dengan harga rata-rata $(256,31 \pm 3,54) \times 10^{-3}$ Bq/L untuk ^{226}Ra , tak terdeteksi sampai $(510,43 \pm 7,58) \times 10^{-3}$ Bq/L dengan harga rata-rata $(243,96 \pm 2,85) \times 10^{-3}$ Bq/L untuk ^{232}Th , dan tak terdeteksi sampai $(6240,25 \pm 92,63) \times 10^{-3}$ Bq/L dengan harga rata-rata $(1868,07 \pm 23,48) \times 10^{-3}$ Bq/L untuk ^{40}K . Data tersebut dibahas dan dibandingkan dengan data yang diberikan beberapa pustaka untuk daerah lain di Indonesia.

Kata kunci : ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , kadar, tanah, air, spektrometer gamma, tambang.

ABSTRACT

CONCENTRATION OF ^{226}Ra , ^{232}Th , AND ^{40}K IN SOIL AND WATER IN THE UNDERGROUND GOLD MINE. A measurement of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentrations in soil and water has been carried out at several locations in the underground gold mining, Pongkor, West-Java. For determination of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentrations in soil and water samples were measured using the gamma-spectrometer with a HP-Ge semiconductor detector. The results showed that the ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K concentrations were varied. The concentrations of radionuclides in the soil samples were ranging from $(6,10 \pm 0,17)$ Bq/kg to $(21,75 \pm 0,37)$ Bq/kg with the mean value of $(13,67 \pm 0,08)$ Bq/kg for ^{226}Ra , $(7,71 \pm 0,22)$ Bq/kg to $(23,62 \pm 0,37)$ Bq/kg with the mean value of $(13,40 \pm 0,09)$ Bq/kg for ^{232}Th and $(435,74 \pm 3,05)$ Bq/kg to $(1665,17 \pm 6,39)$ Bq/kg with the mean value of $(611,44 \pm 1,47)$ Bq/kg for ^{40}K , and in the water samples were ranging from undetectable to $(450,15 \pm 6,68) \times 10^{-3}$ Bq/L with the mean value of $(256,31 \pm 3,54) \times 10^{-3}$ Bq/L for ^{226}Ra , undetectable to $(510,43 \pm 7,58) \times 10^{-3}$ Bq/L with the mean value of $(243,96 \pm 2,85) \times 10^{-3}$ Bq/L for ^{232}Th , and undetectable to $(6240,25 \pm 92,63) \times 10^{-3}$ Bq/L with the mean value of $(1868,07 \pm 23,48) \times 10^{-3}$ Bq/L for ^{40}K . The data are discussed and compared with those given in the literature for some other regions in Indonesia.

Key words : ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , concentration, soil, water, gamma spectrometer, mine.

PENDAHULUAN

Disadari atau tidak bahwa penduduk di dunia selalu mendapat radiasi yang berasal dari berbagai sumber radiasi baik yang berasal dari alam maupun dari sumber radiasi buatan. Sumber radiasi alam dapat berasal dari dalam bumi dan ruang angkasa (kosmik), radiasi buatan berasal dari kegiatan manusia dalam bidang

medik, industri, dan percobaan-percobaan senjata nuklir.

Penyinaran radiasi yang diterima penduduk dunia per orang (perkiraan dosis tahunan per orang) sebagian besar berasal dari sumber radiasi alam dan yang terbesar berasal dari kerak bumi (radionuklida primordial), yaitu sekitar 2,0 mSv (84 %) dan yang paling besar adalah gas

radon sekitar 1,3 mSv (53 %) [1]. Di samping gas radon, radionuklida radium-226 (^{226}Ra), thorium-232 (^{232}Th), dan potassium-40 (^{40}K) relatif besar terkandung di dalam air dan tanah. Radionuklida tersebut dapat lepas ke lingkungan melalui berbagai kegiatan manusia, misalnya penambangan atau produk dari hasil tambang. Radionuklida yang terdistribusi di lingkungan dapat masuk ke dalam organ kritik di dalam tubuh manusia melalui berbagai media, seperti tanah, air, dan udara. Radionuklida yang terkandung di dalam media ini dapat terakumulasi dalam organ kritik melalui pernafasan dan pencernaan makanan.

Ketiga radionuklida tersebut mempunyai waktu paroh cukup panjang, yaitu 1600 tahun untuk ^{226}Ra ; $1,405 \times 10^{10}$ tahun untuk ^{232}Th dan $1,277 \times 10^9$ tahun untuk ^{40}K [2]. Radionuklida tadi juga bersifat toksik dan mudah terakumulasi di dalam organ-organ kritik tubuh manusia (jaringan otot dan tulang), terutama anak luruh dari ^{226}Ra dan ^{232}Th .

Dalam makalah ini dibahas hasil penentuan kadar (aktivitas jenis) radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th , dan ^{40}K di dalam tanah dan air di beberapa lokasi dalam terowongan tambang emas bawah tanah, di daerah Pongkor, Jawa Barat. Tujuan dari penelitian ini, antara lain untuk mengetahui kadar radionuklida alam yang terkandung di dalam tanah dan air. Selanjutnya data tersebut dapat dipakai untuk analisis dampak lingkungan di kawasan tambang emas yang ada kaitannya dengan keselamatan dan kesehatan kerja bagi para pekerja tambang bawah tanah, serta penduduk sekitarnya.

BAHAN DAN METODE

Persiapan Sampel [3]

Pengambilan sampel dilakukan secara acak di beberapa tempat di terowongan tambang emas bawah tanah. Sampel yang diambil adalah tanah dan air tanah. Peta lokasi pengambilan sampel diperlihatkan pada Gambar 1.

Sampel tanah diambil sekitar 5 kg yang berasal dari reruntuhan pembuatan terowongan. Sampel tanah tersebut dikumpulkan ke dalam kantong plastik yang telah diberi label (kode sampel) yang memuat lokasi dan tanggal pengambilan contoh. Di laboratorium sampel tanah dibersihkan dari akar-akar dan batu-batuan, kemudian dijemur atau dioven pada suhu 110°C selama 24 jam agar bebas dari uap air.

Sampel tanah yang sudah kering dihancurkan dan dihaluskan dengan *grinder* atau

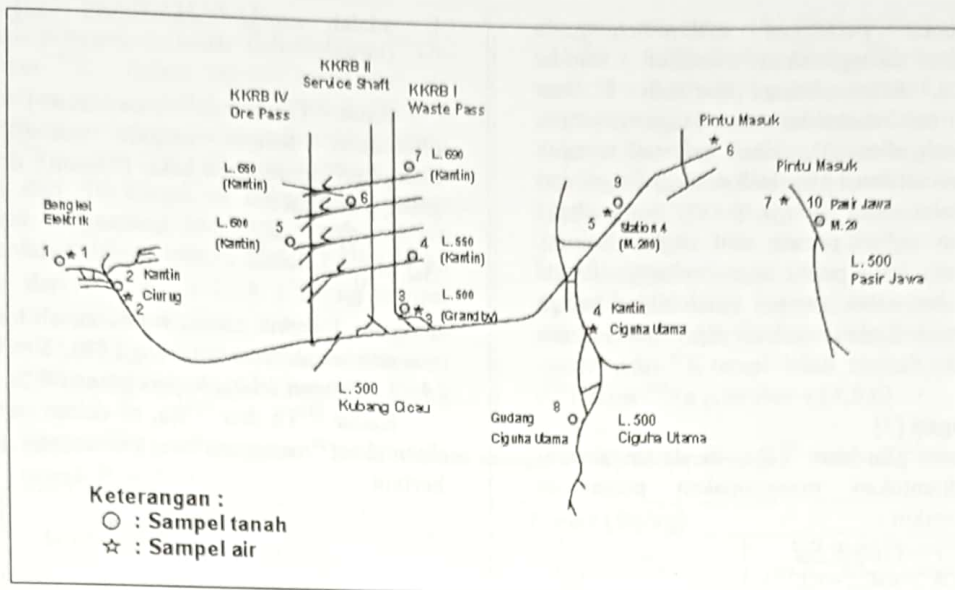
mortar porselin, kemudian diayak dengan ayakan berdiameter 2 mm, sehingga dipertoleh sampel tanah yang halus. Sampel tanah tersebut diambil secara statistik dan dimasukkan ke dalam beker Marinelli 1 liter, kemudian beker ditutup rapat menggunakan lem araldit serta disimpan selama satu bulan (4 minggu). Dengan cara demikian contoh tanah tersebut sudah siap dicacah untuk menentukan kadar radionuklida dalam tanah.

Air yang ada di dalam terowongan tambang emas Pongkor berasal dari mata air dan penggunaan air tersebut tidak untuk diminum, hanya untuk membersihkan badan (mandi dancuci tangan). Sampel air diambil sekitar 20 liter dan dimasukkan ke dalam jerigen polietilen (yang telah diberi label atau kode sampel) ditambahkan 20 ml asam nitrat berasap. Sampel air tersebut dikumpulkan dari air yang digunakan para pekerja untuk membersihkan badan, biasanya di tempat-tempat (pos) istirahat (tempat para pekerja makan dan minum).

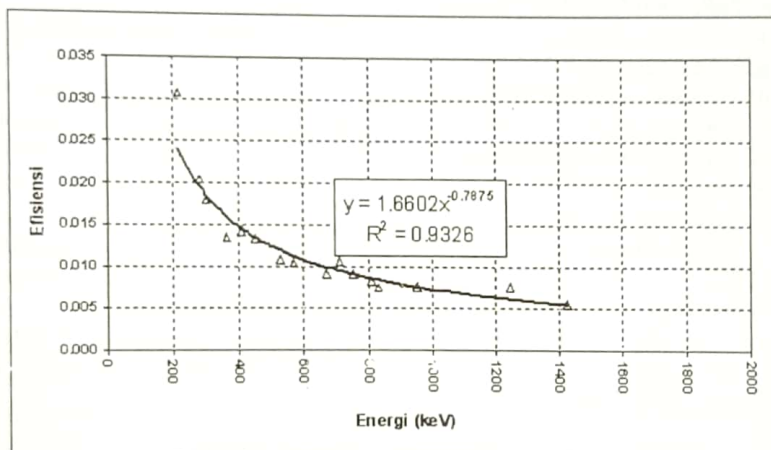
Di laboratorium sampel air 20 liter diuapkan sehingga kurang lebih tinggal 1 lter, kemudian dituang ke dalam beker Marinelli 1 liter, ditutup rapat dengan lem araldit, dan disimpan sekitar 1 bulan (4 minggu). Dengan cara demikian sampel air tersebut sudah siap untuk dicacah (diukur) kadar radionuklida di dalam air.

Pengukuran Sampel [3]

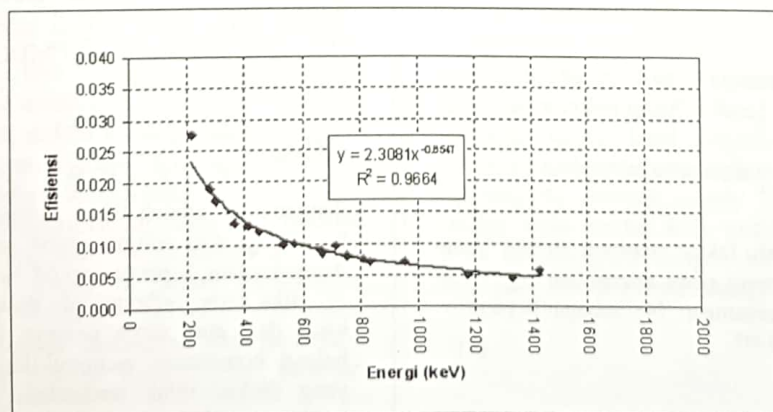
Kadar ^{226}Ra , ^{232}Th , dan ^{40}K dalam sampel diukur menggunakan perangkat spektrometer gamma. Perangkat spectrometer gamma terdiri atas sebuah detektor semikonduktor germanium yang memiliki kemurnian tinggi (*high pure germanium* atau HPGe), yang dihubungkan dengan penganalisis saluran ganda (*multichannel analyzer* atau MCA) dengan 4096 saluran (*channel*). Detektor tersebut dilindungi dengan pelindung radiasi yang dibuat dari bahan timbal dengan tebal 5 cm, untuk menekan agar cacah radiasi latar dapat serendah mungkin. Efisiensi relatif detektor adalah 20 % pada energi 1332 keV. Setiap sampel dalam sebuah beker Marinelli 1 liter diletakkan pada detektor dan dilakukan pencacahan selama 17 jam (61200 detik). Kadar ^{226}Ra dalam sampel ditentukan dari anak luruh ^{214}Bi pada energi gama 609 keV (^{214}Bi), kadar ^{232}Th ditentukan dari anak luruh ^{212}Pb pada energi gama 582 keV (^{203}Tl), dan kadar ^{40}K ditentukan dari energi gama 1460 keV.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel tanah dan air



Gambar 2. Kurva kalibrasi efisiensi pencacahan sebagai fungsi energi untuk sampel tanah.



Gambar 3. Kurva kalibrasi efisiensi pencacahan sebagai fungsi energi untuk sampel air.

Kalibrasi perangkat spektrometer-gama dilakukan menggunakan sumber standar multigama dalam beker Marinelli 1 liter (geometri sumber standar sama dengan geometri sampel yang dicacah). Hasil kalibrasi tersebut merupakan efisiensi pencacah sebagai fungsi dari nomor salur atau energi (keV), yang dapat dinyatakan dalam persen atau angka desimal. Kurva efisiensi pencacahan sebagai fungsi nomor salur untuk sampel tanah diperlihatkan pada Gambar 2, dan untuk air diperlihatkan pada Gambar 3.

Perhitungan [3]

Kadar ^{232}Th dan ^{226}Ra , di dalam sampel tanah ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K_t = \frac{(Ct - Cb) \pm Sd}{E \cdot P\gamma \cdot Fk \cdot W} \quad (1)$$

dengan :

K_t adalah kadar radionuklida dalam sampel tanah (Bq/kg)

Ct adalah laju cacah total (cps)

Cb adalah laju cacah latar belakang (*background*), dalam cps

E adalah efisiensi pencacahan (angka desimal), ditentukan dari Gambar 1

$P\gamma$ adalah pelimpahan (intensitas) sinar- γ ($P\gamma = 0,307$ untuk ^{232}Th ; $0,446$ untuk ^{226}Ra , dan $0,1067$ untuk ^{40}K)

W adalah berat sampel (kg)

Fk adalah faktor koreksi serapan diri, ditentukan dari persamaan (2)

Sd adalah simpangan baku, ditentukan dari persamaan (5)

Faktor serapan diri ditentukan menggunakan

$$F_k = \frac{\mu t}{1 - e^{-\mu t}} \quad (2)$$

dengan :

t adalah tebal sampel (cm), μ adalah faktor serapan linier (cm^{-1}) yang diperoleh dari persamaan (3)

Harga μ ditentukan sebagai berikut :

$$\mu = \mu_m \cdot \rho \quad (3)$$

dengan μ_m adalah faktor serapan massa yang harganya bergantung pada energi sinar- γ , yang ditentukan dari persamaan (4), sebagai berikut :

$$\mu_m = 1,287 E^{-0,435} \quad (4)$$

dengan :

ρ adalah kerapatan sampel yang diukur (gram/cm^3)

E adalah energi radionuklida yang diukur (keV)

Ralat (kesalahan pencacahan) sampel ditentukan dengan metode statistik yang mengikuti simpanagan baku Poisson, dituliskan sebagai berikut :

$$Sd = \sqrt{\frac{Ct + Cb}{T}} \quad (5)$$

dengan : T waktu cacah, waktu cacah total (T_t) = waktu cacah latar belakang (T_b), $T = T_t = T_b$ (detik), dengan selang kepercayaan 68 %.

Kadar ^{232}Th dan ^{226}Ra , di dalam sampel air ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K_a = \frac{(Ct - Cb) \pm Sd}{E \cdot P\gamma \cdot V} \quad (6)$$

dengan :

K_a adalah kadar radionuklida dalam sampel air (Bq/liter)

Ct adalah laju cacah total (cps)

Cb adalah laju cacah latar belakang (*background*), dalam cps

E adalah efisiensi pencacahan (angka desimal), ditentukan dari Gambar 2, ($E = 0,307$ untuk ^{232}Th ; $0,446$ untuk ^{226}Ra , dan $0,1067$ untuk ^{40}K)

$P\gamma$ adalah pelimpahan (intensitas) sinar- γ ($P\gamma = 0,307$ untuk ^{232}Th , $0,446$ untuk ^{226}Ra dan $0,1067$ untuk ^{40}K)

V adalah voplume sampel (liter = L)

Sd adalah simpangan baku, ditentukan dari persamaan (5)

Evaluasi Data [3]

Hasil-hasil pengukuran kadar radionuklida di dalam sampel tersebut harus dibandingkan dengan batas kadar deteksi terendah (*minimum detectable concentration* = MDC) dari alat ukur yang digunakan, yaitu :

$$MDC = \frac{2,33 \sqrt{(Cb/Tb)}}{E \cdot P\gamma \cdot Fk \cdot W} \quad (8)$$

dengan : W adalah berat sampel untuk sampel tanah (kg) atau volume untuk sampel air (liter), dengan selang kepercayaan 68 %

Jika kadar radionuklida dalam sampel lebih kecil dari atau sama dengan MDC dikatakan bahwa konsentrasi radionuklida dalam sampel yang diukur tidak terdeteksi, sebaliknya jika lebih besar dari pada MDC maka radionuklida yang terkandung dalam sampel terdeteksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kadar radionuklida ^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K dalam sampel tanah dan air diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Tabel 1 memperlihatkan bahwa kadar radionuklida alam ^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K di dalam tanah yang diambil dari 10 lokasi di dalam terowongan bervariasi bergantung kandungan radionuklida yang terdapat dalam sampel tanah. Kadar ^{232}Th berkisar dari $(5,67 \pm 0,18)$ Bq/kg sampai $(23,62 \pm 0,37)$ Bq/kg dengan rata-rata $(13,67 \pm 0,06)$ Bq/kg. Kadar ^{226}Ra berkisar dari $(4,77 \pm 0,18)$ Bq/kg sampai $(21,75 \pm 0,34)$ Bq/kg

dengan rata-rata $(13,40 \pm 0,09)$ Bq/kg sampai $(52,00 \pm 0,72)$ Bq/kg. Kadar ^{40}K berkisar dari $(435,74 \pm 3,05)$ Bq/kg sampai $(1665,17 \pm 6,39)$ Bq/kg dengan rata-rata tanah $(611,44 \pm 1,47)$ Bq/kg. Jika data tersebut dibandingkan dengan data kadar radionuklida alam di daerah Paiton (Lokasi PLTU Batubara) mendekati sama kecuali untuk ^{40}K relatif tinggi, dan jika dibandingkan dengan data hasil pengukuran kadar radionuklida alam di kawasan tambang timah Bangka dan kawasan Puspati hampir sama untuk kadar ^{40}K tetapi lebih rendah untuk kadar ^{232}Th dan ^{226}Ra (Gambar 4)[4,5,6].

Tabel 1. Kadar ^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K di dalam sampel tanah di terowongan tambang emas bawah tanah Pongkor

Kode Sampel	Kadar (Bq/kg)			
	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	Total ($^{232}\text{Th} + ^{226}\text{Ra} + ^{40}\text{K}$)
Sampel tanah 1	$8,56 \pm 0,20$	$8,11 \pm 0,11$	$435,74 \pm 3,05$	$452,41 \pm 1,02$
Sampel tanah 2	$5,70 \pm 0,17$	$6,10 \pm 0,17$	$524,59 \pm 3,20$	$536,39 \pm 1,20$
Sampel tanah 3	$5,67 \pm 0,18$	$4,77 \pm 0,18$	$594,31 \pm 4,05$	$604,75 \pm 1,33$
Sampel tanah 4	$7,23 \pm 0,19$	$9,57 \pm 0,21$	$617,87 \pm 3,89$	$634,67 \pm 1,27$
Sampel tanah 5	$7,71 \pm 0,22$	$9,55 \pm 0,24$	$578,10 \pm 4,21$	$595,36 \pm 1,31$
Sampel tanah 6	$20,64 \pm 0,31$	$18,35 \pm 0,29$	$1665,17 \pm 6,39$	$1704,16 \pm 3,75$
Sampel tanah 7	$21,94 \pm 0,37$	$20,85 \pm 0,35$	$569,96 \pm 4,58$	$612,75 \pm 1,34$
Sampel tanah 8	$23,62 \pm 0,37$	$21,75 \pm 0,34$	$528,83 \pm 4,26$	$574,20 \pm 1,26$
Sampel tanah 9	$19,95 \pm 0,32$	$19,23 \pm 0,31$	$564,95 \pm 4,13$	$604,13 \pm 1,33$
Sampel tanah 10	$15,70 \pm 0,27$	$15,75 \pm 0,26$	$629,15 \pm 4,05$	$660,60 \pm 1,45$
Rata-rata	$13,67 \pm 0,06$	$13,40 \pm 0,09$	$611,44 \pm 1,47$	$638,51 \pm 1,47$

Kadar total tertinggi ditemukan di daerah penyelidikan dengan kode sampel 6, yaitu $(1704,16 \pm 3,75)$ Bq/kg dengan kadar ^{40}K relatif tinggi, yaitu $(1665,17 \pm 6,39)$ Bq/kg. Harga ini hampir mendekati kadar total rata-rata di dalam kerak bumi, yaitu 50 nCi/kg (1850 Bq/kg), sedangkan kadar ^{40}K lebih tinggi dibandingkan dengan kadar ^{40}K rata-rata dalam kerak bumi (22 nCi/kg atau 800 Bq/kg)[7]. Adapun kadar ^{232}Th dan ^{226}Ra masih di bawah kadar rata-rata yang terdapat di dalam kerak bumi. Jenis tanah yang mempunyai kadar ^{40}K tinggi biasanya banyak mengandung batuan pousfar.

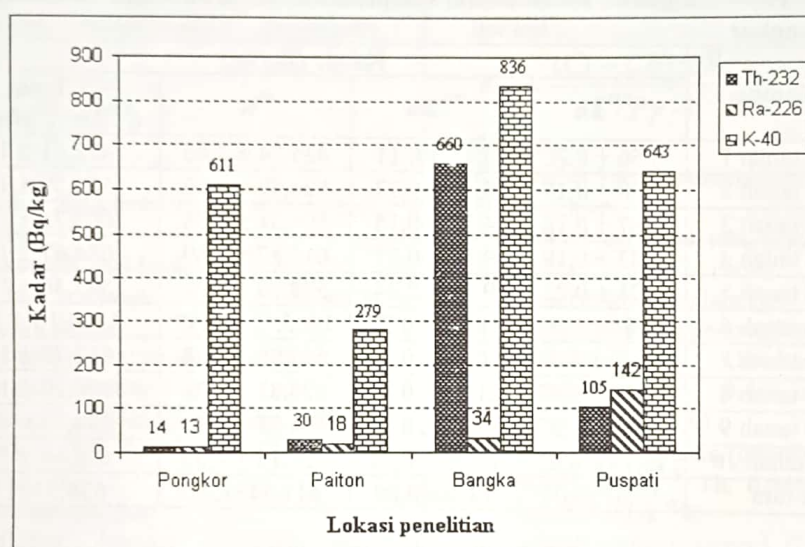
Tabel 2 memperlihatkan kadar radionuklida alam ^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K di dalam air yang diambil dari 7 lokasi di dalam terowongan tambang emas Pongkor bervariasi, sebagian besar tidak terdeteksi, sedangkan yang terdeteksi kadarnya cukup rendah. Kadar ^{232}Th berkisar

dari tidak terdeteksi sampai $(510,43 \pm 7,56) \times 10^{-3}$ Bq/L dengan rata-rata $(243,90 \pm 2,85) \times 10^{-3}$ Bq/L. Kadar ^{226}Ra berkisar dari tidak terdeteksi sampai $(450,15 \pm 6,68) \times 10^{-3}$ Bq/L dengan rata-rata $(256,31 \pm 3,54) \times 10^{-3}$ Bq/L. Kadar ^{40}K berkisar dari tidak terdeteksi sampai $(6240,25 \pm 92,63) \times 10^{-3}$ Bq/L dengan rata-rata $(1868,07 \pm 23,48) \times 10^{-3}$ Bq/L.

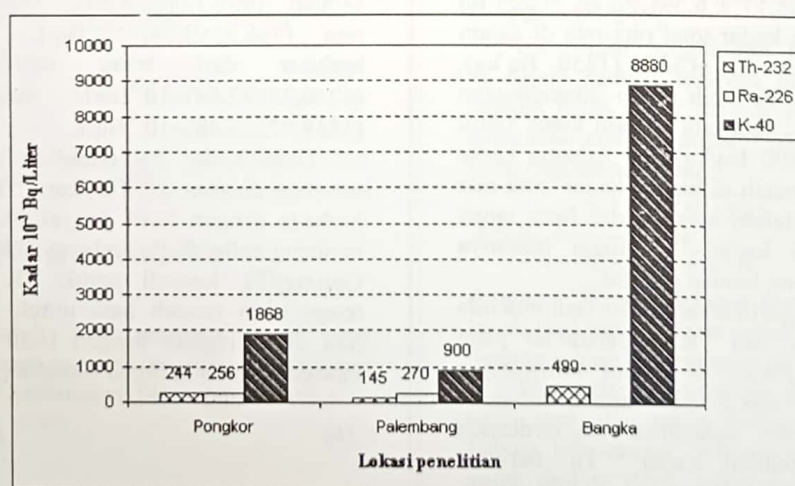
Data kadar radionuklida alam rata-rata tersebut di atas (^{232}Th dan ^{226}Ra) tidak jauh berbeda dengan hasil penyelidikan di kawasan tambang minyak Palembang (Plaju dan Sungai Gerong)[8], kecuali untuk ^{40}K relatif tinggi, tetapi lebih rendah baik untuk ^{40}K dan ^{232}Th , jika dibandingkan dengan hasil penelitian di kawasan tambang timah Bangka (Gambar 5).

Tabel 2. Kadar ^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K di dalam sampel air di terowongan tambang emas bawah tanah Pongkor.

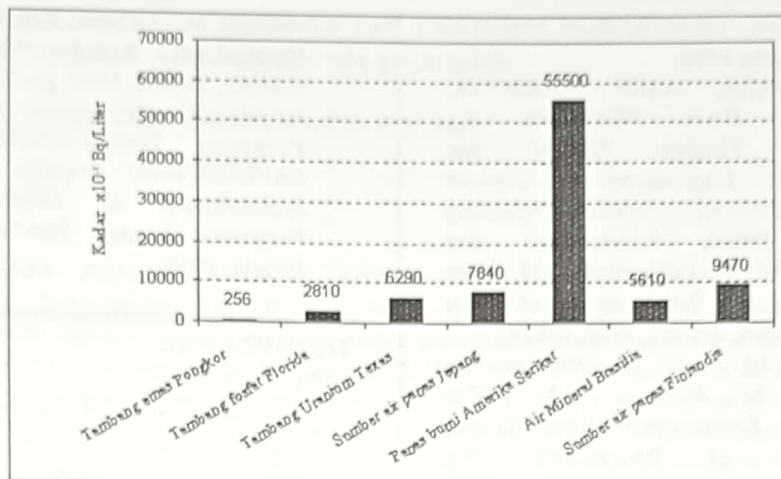
Kode Sampel	Kadar ($\times 10^{-3}$ Bq/L)		
	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K
Sampel Air 1	ttd	ttd	732,45 \pm 10,87
Sampel Air 2	ttd	ttd	ttd
Sampel Air 3	20,21 \pm 0,30	62,37 \pm 0,93	ttd
Sampel Air 4	510,43 \pm 7,56	ttd	467,41 \pm 6,93
Sampel Air 5	201,25 \pm 2,99	450,15 \pm 6,68	6240,25 \pm 92,63
Sampel Air 6	ttd	ttd	ttd
Sampel Air 7	ttd	ttd	32,18 \pm 0,48
Rata-rata	243,90 \pm 2,85	256,31 \pm 3,54	1868,07 \pm 23,48



Gambar 4. Kadar radionuklida ^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K dalam tanah di lokasi penelitian di daerah Pongkor, Paiton, Bangka, dan Puspati (Malaysia).



Gambar 5. Kadar radionuklida ^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K rata-rata di dalam air di lokasi penelitian Pongkor, Palembang dan Bangka.



Gambar 6. Kadar tertinggi ^{226}Ra dalam air di lokasi penelitian tambang emas di daerah Pongkor dibandingkan dengan kadar ^{226}Ra dalam air dari beberapa lokasi penelitian di mancanegara.

Data kadar ^{226}Ra tertinggi dalam air yang diambil dari terowongan tambang emas Pongkor masih wajar, karena masih jauh lebih rendah, jika dibandingkan dengan kadar ^{226}Ra dalam air yang telah ditemukan di kawasan tambang fosfat (Florida), tambang uranium (Texas), sumber air panas (Jepang), panas bumi (Amerika Serikat), sumber air mineral (Brasilia), dan sumur bor (Finlandia)[9], seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Perbedaan data tersebut bergantung dari keadaan lokasi (struktur geologi tanah dan kandungan mineral/unsur-unsur kimia yang terkandung dalam air di dalam tanah). Pernyataan tersebut perlu dikaji lebih lanjut.

Data kadar ^{232}Th dan ^{226}Ra dalam air di tambang emas Pongkor yang tertinggi masih jauh di bawah batas kadar maksimum yang diizinkan. Batas kadar maksimum yang diizinkan 3000 Bq/L untuk ^{232}Th dan 4000 Bq/L untuk ^{226}Ra yang larut dalam air (SK. Kepala BAPETEN, No.02/Ka-BAPETEN/V-99, Tentang Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan, Jakarta, 5 Mei 1999) [10].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran kadar radionuklida alam (^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K) dalam tanah dan air yang diambil dari terowongan tambang emas Pongkor dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Kadar radionuklida di dalam tanah masih dalam keadaan wajar jika dibandingkan dengan daerah-daerah lain di Indonesia, kecuali kadar ^{40}K , tetapi masih rendah jika

dibandingkan dengan data yang diperoleh dari Bangka dan Puspati.

2. Kadar radionuklida alam dalam air belum melampaui nilai batas konsentrasi maksimum yang diijinkan, sehingga cukup aman digunakan para pekerja dan penduduk sekitarnya, dipandang dari dampak radiologik dari radionuklida yang terkandung dalam air.
3. Kadar radionuklida alam tertinggi baik dalam tanah dan air masih dalam keadaan wajar dan kadar radionuklida tertinggi dalam air, khususnya untuk ^{232}Th dan ^{226}Ra masih di bawah batas kadar maksimum yang diijinkan

DAFTAR PUSTAKA

1. GONZALES, A.J., ANDERER, J. *Radiation Versus Radiation : Nuclear Energy in Perspective*, IAEA Bulletin, Quarterly Journal of the International Atomic Energy Agency, Vol. 31, No.2, June 1989, Vienna, 1989, pp. 21-24.
2. IAEA, *Measurement of Radionuclides in Food and Environment*, A Guidebook, Technical Report Series No.295, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1989, pp. 56-66.
3. BATAN, *Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan*, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 1998.
4. BATAN, *Pemantauan Radioaktivitas dan Radiasi Gamma Lingkungan di PLTU Paiton dan Sekitarnya*, Laporan Penelitian

- 1996/1997, No. Pen.03.07.13.96, PSPKR-BATAN, Jakarta 1999.
5. ERI HISWARA, ASEP WARSONA, WAHYUDI, DAN BUCHARI, R., *Pengukuran Tingkat Radiasi dan Radioaktivitas Lingkungan di Daerah Industri Tambang Timah*, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan dan Lingkungan VI. 2-3 September 1998, Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, BATAN, Jakarta, 1998, hal.140.
 6. RABIAH, A.H., *Status of Environmental Monitoring in Malaysia*, IAEA-RCA Workshop on Environmental Sampling and Measurement of Radioactivity for Monitoring Purposes, 9-12 Oct.1989, Kalpakham, Madras (1989).
 7. PENKUHN, H., *Radiation Protection for Safeguards Inspection, Natural Radiation Background*, Ispra, Oct., 13-17, 1986, Commission of the European Communities, joint Research Centre, Italy, 1986.
 8. SUTARMAN, ASEP WARSONA, DAN WAHYUDI, *Konsentrasi Radionuklida ^{228}Th , ^{226}Ra , dan ^{40}K dalam Air Minum di Sumatera Bagian Selatan*, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VIII, Jakarta, 23-24 Agustus 2000, P3KRBIN-BATAN, Jakarta, 2000, hal. 46.
 9. IYENGAR, M.A.R., *The Natural Distribution of Radium*, The Environmental Behavior of Radium, Vol.1, Tech. Rep. Series No. 310, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 1990, pp. 72-73.
 10. BAPETEN, *Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir, No.02/Ka-BAPETEN/V-99, Tentang Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan*, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Jakarta, 1999.

TANYA JAWAB**Herry Poernomno**

- Apa yang menjadi dasar pertimbangan urgensi untuk mengetahui Ra, Th, dan K sebagai potensi bahaya pencemaran di tambang emas?, mengapa tidak merkuri saja yang digunakan oleh para penambang sebagai pengikat emas (Au)?

Sutarman

- Radionuklida alam seperti ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K sangat potensial terkandung dalam tanah dan air, terutama di daerah tambang bawah tanah seperti Pongkor. Oleh karena itu perlu dipantau hasilnya dalam keadaan wajar, jika dibandingkan dengan daerah Indonesia yang lain. Merkuri sudah dilakukan oleh PT. Tambang Pongkor sendiri, kami hanya untuk radionuklida alam saja, sesuai dengan bidang tugas P3KRBIN.