

ANALISIS ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K DALAM SAMPEL AMANG, TANAH DAN AIR DI DENGKIL, SELANGOR MENGGUNAKAN SPEKTROMETRI GAMA

Muhamad Samudi Yasir*, Amran Ab.Majid**, Farhana Ibrahim, Siti Qalila Mohd Tap dan Mohd Rashidan Zainol Abidin

*Pusat Pengajian Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi,
**Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan,
Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi,
Selangor Darul Ehsan*

Kata kunci : amang, tanah, air, radionuklid ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K , dos setara.

Abstrak

Beberapa mineral amang tulen, amang mentah, tanah dan air di kawasan Dengkil, Selangor Darul Ehsan telah ditentukan kandungan keradioaktifan tabiinya menggunakan spektrometri gama. Kawasan persampelan termasuklah di sekitar kawasan loji amang, taman perumahan serta tapak E-Village. Keputusan analisis menunjukkan julat kepekatan aktiviti (Bq/kg) ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K masing-masing dalam sampel amang adalah 52.83 – 3538.94, 24.45 – 13426.68, 149.63 – 22011.87 dan 108.04 – 3773.15. Manakala julat kepekatan aktiviti (Bq/kg) ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K dalam sampel tanah sekitar Dengkil pula masing-masing adalah 31.64 – 449.15, 27.37 – 103.08, 20.07 – 976.65 dan 181.74 – 462.42. Bagi sampel air pula, julat kepekatan aktiviti (Bq/L) ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K masing-masing adalah 1.40 – 1.63, 1.57 – 1.65, tidak terkesan – 1.14 dan 10.51 – 12.06. Secara amnya kepekatan aktiviti ^{238}U dan ^{226}Ra adalah paling tinggi dalam sampel ilmenit mentah dan zirkon tulen, manakala bagi ^{232}Th kepekatan aktiviti tentu tertinggi ditemui dalam sampel monazit tulen dan monazit mentah. Sementara itu bagi kepekatan aktiviti ^{238}U , ^{232}Th dan ^{226}Ra dalam tanah dan air didapati lebih tinggi bagi kawasan persampelan berhampiran dengan loji pemprosesan amang. Walaupun kepekatan aktiviti ^{226}Ra dalam sampel amang tinggi, tetapi kiraan menunjukkan dos setara tahunannya kurang daripada had dos setara tahunan bagi orang awam, i.e., 1 mSv.

Abstract

Several samples of pure and unprocessed amang minerals, soil and water in Dengkil, Selangor have been determined for their natural radioactivity content using the gamma spectrometry. The sampling areas were included the amang plant surrounding, housing estate and E-village sites. The result shows that the activity concentration (Bq/kg) of ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K in samples were in the ranged of 52.83 – 3538.94, 24.45 – 13426.68, 149.63 – 22011.87 and 108.04 – 3773.15, respectively. While the activity concentration (Bq/kg) of ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K in the soil samples were in the ranged of 31.64 – 449.15, 27.37 – 103.08, 20.07 – 976.65 and 181.74 – 462.42, respectively. While in the water samples the activity concentration (Bq/L) of ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K were in the ranged of 1.40 – 1.63, 1.57 – 1.65, not detected – 1.14 and 10.51 – 12.06, respectively. In general, the activity concentration of ^{238}U and ^{226}Ra were highest in the unprocessed ilmenite and pure zircon samples, whereas, the highest activity concentration of ^{232}Th were found in the pure and unprocessed monazite samples. The activity concentration of ^{238}U , ^{232}Th and ^{226}Ra in soil and water samples were found to be much higher in sampling area closed to the amang processing plant. Despite high specific radioactivity of ^{226}Ra in the amang samples, the calculated annual equivalent dose was still lower than annual equivalent dose limit for the public, i.e., 1 mSv/yr.

Pendahuluan

Aktiviti perlombongan bijih timah di Malaysia telah bermula sejak pertengahan kurun ke 18. Penemuan bijih timah di kawasan Larut, dan kemudiannya diikuti di Lembah Kinta, Lukut dan Ampang telah menjadikan timah sebagai komoditi logam utama Malaysia. Industri perlombongan timah Malaysia memuncak pada tahun 1970an, yang menyumbang antara 75 - 80% dari jumlah nilai mineral Malaysia di samping mengeluarkan 30.77% keluaran timah dunia. Walau bagaimanapun pengeluaran ini menurun akibat dari harga pasaran yang rendah dan tidak stabil dan juga kehausan mineral. Menjelang tahun 1996 hanya terdapat 63 buah lombong timah yang masih aktif [1]. Penurunan aktiviti perlombongan timah telah meningkatkan aktiviti industri pemprosesan sisa timah iaitu amang atau tahi timah. Amang diproses untuk

mengeksktrak pelbagai mineral berharga seperti ilmenit, zirkon, monazit, xenotim dan struverit. Dalam kebanyakan loji pemprosesan amang, 80% mineral yang dihasilkan adalah ilmenit, diikuti oleh zirkon (5%) dan monazit (0.5%) [2]. Industri ini telah berkembang dengan pesat dan pada tahun 1995-1997 berada pada kedudukan ke empat dalam sektor perlombongan negara.

Selain mengandungi pelbagai mineral berharga, amang juga mengandungi pelbagai unsur radioaktif. Radionuklid ini yang terhasil secara semulajadi atau NORM (Naturally Occuring Radioactive Material) ataupun yang telah dipertingkatkan secara teknologi ketika pengasingan bijih ataupun amang iatu TENORM. Antara unsur radioaktif yang dikenalpasti terdapat pada amang adalah radium-226 (^{226}Ra), uranium-238 (^{238}U), torium-232 (^{232}Th) dan kalium-40 (^{40}K). Radium-226 terhasil melalui siri pereputan ^{238}U yang turut menghasilkan radon-222. Torium-232 pula melalui siri pereputannya turut menghasilkan toron-220. Kedua-dua progeni ini berbentuk gas dan memungkinkan untuk memasuki tubuh melalui pernafasan. Dedahan dalaman ini boleh mengakibatkan kesan radiologi yang signifikan.

Pembangunan yang pesat telah menyebabkan permintaan terhadap kawasan bekas lombong untuk dibangunkan meningkat. Selain dibangunkan untuk menjadi kawasan perindustrian, kawasan bekas lombong turut juga dimajukan sebagai kawasan perniagaan dan perdagangan, perumahan serta rekreasi dan perlancongan di samping menjadi tapak pertanian dan ternakan [3].

Justeru itu kawasan kajian di Dengkil ini dipilih kerana kawasan bekas lombong dan loji pemprosesan ini terletak di kawasan yang sedang pesat membangun. Oleh yang demikian kehadiran pelbagai radionuklid, terutamanya radium-226 yang mempunyai kesan radiologi yang signifikan perlu diambil kira. Dalam kajian ini kandungan radioisotop ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K dalam sampel amang tulen, tanah dan air dari berbagai kawasan di sekitar Dengkil ditentukan. Dos setara tahunan hasil dedahan daripada ^{226}Ra ini turut ditentukan.

Bahan dan kaedah

Lokasi pensampelan

Pensampelan dilakukan di sekitar kawasan Dengkil, Sepang Selangor Darul Ehsan (Rajah 1). Lokasi pensampelan dibahagikan kepada empat kawasan, iaitu S1 : kawasan industri pemprosesan amang (Universal Minerals Trading Sdn Bhd), S2 : kawasan bekas lombong (persekitaran E-village), S3 : kawasan perumahan Taman Dengkil Jaya dan S4 : kawasan perkampungan (sekitar tanah perkuburan dan persimpangan menuju Putra Jaya).

Jenis sampel.

Sampel yang diambil adalah amang (lokasi pertama), tanah dan air. Sampel amang yang diambil ialah timah tulen, monazit tulen, ilmenit tulen, zirkon tulen dan longgokan monazit dan ilmenit. Sampel air diambil dari kolam efluen loji pemprosesan amang, tasik bekas lombong dan juga takungan yang terdapat di lokasi pensampelan. Sampel tanah diambil menggunakan penyodok tanah pada kedalaman sekitar 15 cm. Sampel tanah dimasukkan ke dalam beg plastik dan diikat. Sampel air dimasukkan ke dalam bekas plastik berpenutup yang kemudiannya ditambahkan beberapa titik asid nitrik pekat[4].

Perawatan sampel.

Sampel amang dan tanah yang telah dibersihkan dari berbagai bendasing dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 80°C hingga 90°C selama 48 jam, atau sehingga sampel mencapai berat yang tetap. Sampel kemudiannya dilerai dan dihancurkan sebelum ditapis menggunakan penapis pada saiz 0.8 mm. Hasil ayakan yang diketahui beratnya disimpan dalam bekas polietilena berpenutup dan kemudiannya dikedapkan dengan pita pelekat. Sampel seterusnya disimpan pada suhu bilik selama 30 hari untuk mencapai keseimbangan sekular. Piawai kaedah bandingan yang diguna dalam kajian ini ialah Soil-375 (IAEA). Sampel air ditapis untuk mengasingkan keladak dan bendasing lain. Sampel, 2000 cm^3 disejatkan di dalam bikar setelah ditambah beberapa titik asid nitrik untuk mengelakkan kandungan air dari melekat pada dinding bekas. Pemanasan dilakukan menggunakan pemanas elektrik sehingga isipadu air mencapai sekitar 250 cm^3 . Isipadu akhir ini dimasukkan ke dalam bekas polietilena berpenutup. Masa keseimbangan 30 hari juga dilakukan sebagaimana sampel tanah. Piawai yang diguna adalah larutan uranium dan torium dengan kepekatan 100 ppm.

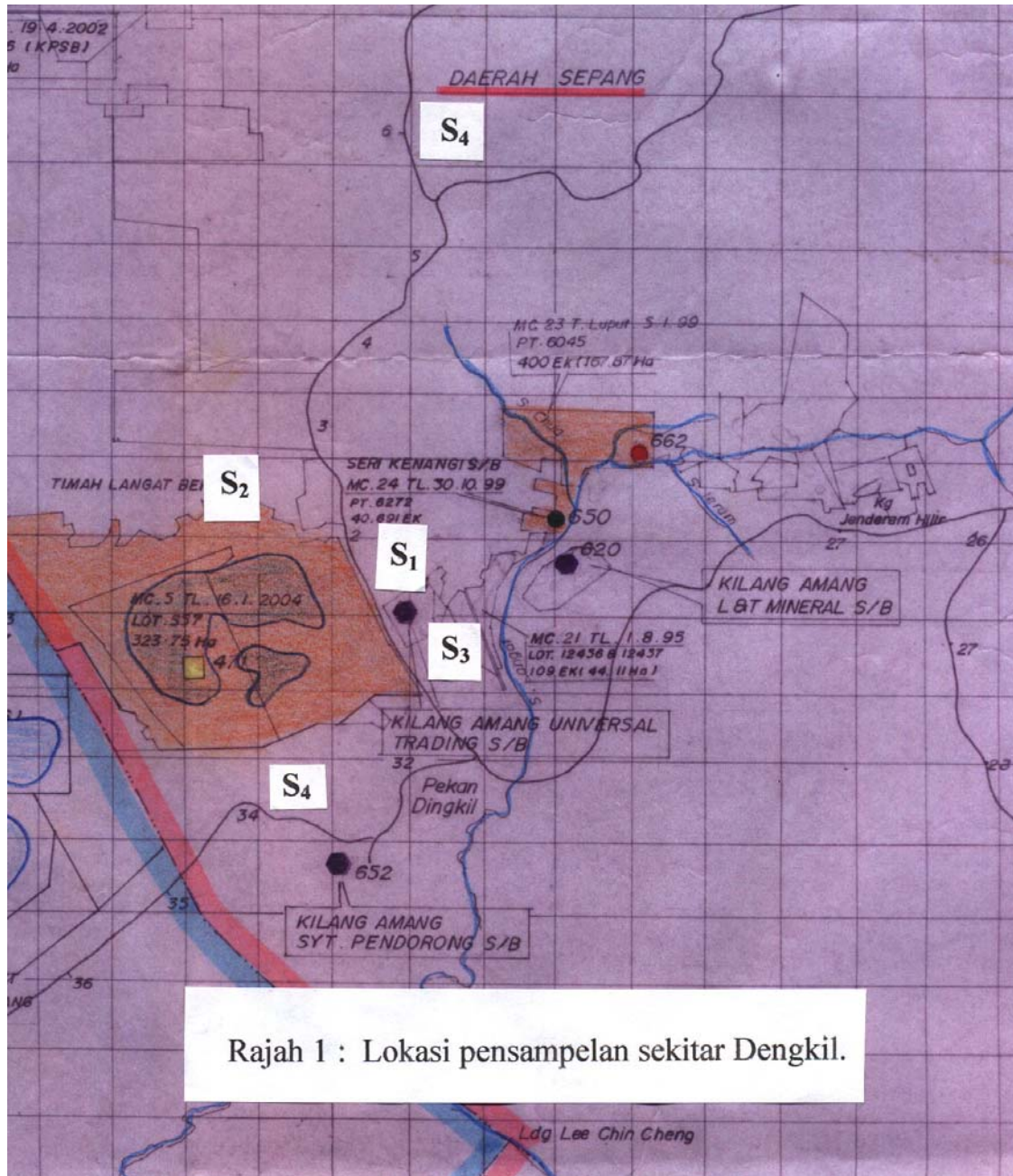
Pembilangan.

Selepas melepasi tempoh keseimbangan semua sampel dan piawai dibilang aktivitiya menggunakan sistem pembilang sinar gama HPGe-PCA (Tennelec-Nucleus) selama 12 jam.

Penentuan radionuklid

Penentuan unsur dilakukan dengan perbandingan tenaga puncak foton sampel dengan piawai. Tenaga puncak foton yang diguna untuk pengenalpastian radionuklid ialah 1.76 MeV (^{238}U), 2.62 MeV (^{232}Th) dan 1.46 MeV (^{40}K). Kepekatan ^{226}Ra diperolehi secara tidak langsung, iaitu dengan mengukur aktiviti ^{214}Bi ,

anak pereputan ^{226}Ra pada puncak foton 609.3 keV. Pengukuran ^{226}Ra langsung pada puncak foton 186.2 keV tidak dapat dilakukan kerana terdapat gangguan oleh ^{235}U yang mempunyai puncak foton 185.7 keV. Sistem pembilang gama yang diguna tidak mampu membezakan kedua-dua puncak foton ini.



Nota:

- S1: kawasan industri pemprosesan amang
- S2: kawasan bekas lombong
- S3: kawasan perumahan Taman Dengkil Jaya
- S4: kawasan perkampungan

Perkiraan keradioaktifan.

Kandungan radionuklid dalam sampel kajian dikira berdasarkan kepada rumusan di bawah bagi mengatasi kesan geometri.

$$W_s = \frac{M_p \times A_s}{M_s \times A_p} \times W_p \text{ (Bq/kg)} \dots\dots\dots(1)$$

W_s	kepekatan radionuklid dalam sampel (Bq/kg) atau (Bq/L)
W_p	kepekatan radionuklid dalam piawai (Bq/kg) atau (Bq/L)
M_s	jisim sampel diguna (g) atau (ml)
M_p	jisim piawai diguna (g) atau (ml)
A_s	aktiviti unsur dalam sampel (kps)
A_p	aktiviti unsur dalam piawai (kps)

Penentuan dos setara tahunan.

Perkiraan dos setara tahunan dilakukan hanya terhadap radionuklid ²²⁶Ra kerana kesignifikannya dari sudut keselamatan radiologi. Perkiraan berdasarkan pada jarak dedahan 1 meter. Nilai dedahan untuk 1 Ci ²²⁶Ra pada 1 meter adalah 0.825 R/jam [5]. Dos dedahan pada 1 meter adalah :

$$\text{Dos dedahan (D)} = \frac{0.825}{1} \times A_t \text{ R/jam} \dots\dots\dots (2)$$

Di mana A_t aktiviti sumber (Ci), R dalam roengen, nilai 0.825 adalah angkatap, manakala 1 adalah jarak satu meter.

$$\text{dos terserap} = \frac{0.825}{1} \times A_t \times 0.93 \text{ rad/jam} \dots\dots\dots (3)$$

$$= \frac{0.825}{1} \times A_t \times 0.93 \times 0.01 \text{ Gy/jam} \dots\dots\dots (4)$$

Di mana nilai 0.93 dan 0.01 angkatap bagi menukarkan unit roengen kepada unit gray.

Dos setara H, akhirnya dapat dikira menggunakan rumus:

$$H = \text{DQN (Sv/jam)} \dots\dots\dots (5)$$

Di mana D ialah dos terserap (Gy), Q ialah faktor kualiti (1) dan N ialah faktor pengubahsuaian (1).

Dos setara tahunan pekerja kilang amang ditentukan berdasarkan waktu kerja selama 2000 jam setahun.

Hasil dan perbincangan

Kandungan radionuklid dalam sampel amang.

Kandungan radionuklid yang ditentukan dalam pelbagai sampel amang dinyatakan dalam Jadual 1. Hasil kajian mendapati semua radionuklid yang dikaji terdapat dalam sampel amang. Walau bagaimanapun keradioaktifan radionuklid tersebut berbeza-beza. Kepekatan aktiviti ²³⁸U tertinggi dan terendah dicerap pada masing-masing sampel ilmenit longgokan (3538.94 Bq/kg) dan timah tulen (52.85 Bq/kg). Radionuklid ²³²Th tertinggi dikesan pada sampel monazit tulen dan longgokan dengan nilai kepekatan aktiviti masing-masing 13426.68 Bq/kg dan 12452.18 Bq/kg. Corak yang sama juga dicerap pada radionuklid ²²⁶Ra. Kepekatan aktiviti ²²⁶Ra juga tinggi pada sampel monazit. Kepekatan aktiviti ⁴⁰K adalah yang paling rendah berbanding dengan radionuklid lain. Kepekatan aktiviti ⁴⁰K rendah dalam semua sampel kecuali monazit tulen (3773.15 Bq/kg) dan longgokan monazit (3239.73 Bq/kg).

Keradioaktifan semua radionuklid adalah terendah pada sampel timah tulen. Keadaan ini memang dijangkakan kerana timah tulen ini terhasil setelah mineral-mineral lain yang mengandungi radionuklid diasingkan. Walau bagaimanapun keradioaktifan NORM dalam mineral timah tulen ini dapat dikurangkan apabila ia melalui proses peleburan bagi menghasilkan jongkong timah. Ini menunjukkan bahawa proses pengasingan mineral telah dilakukan dengan sempurna.

Kandungan radionuklid dalam sampel tanah.

Lokasi pensampelan tanah dan air meliputi berbagai corak aktiviti kegunaan tanah. Kawasan pertama adalah sekitar loji pemprosesan amang. Manakala kawasan ke dua adalah di sekitar E-village iaitu kawasan bekas lombong yang kini sedang giat dibangun sebagai kawasan hiburan dan rekreasi. Kawasan Taman Dengkil Jaya merupakan kawasan perumahan yang terletak berhampiran dengan loji pemprosesan amang dikategorikan sebagai kawasan ketiga. Manakala kawasan perkampungan yang terletak agak jauh dari

kawasan pembangunan dikelaskan sebagai kawasan ke empat. Kepekatan aktiviti dalam sampel tanah dari keempat-empat kawasan ini ditunjukkan dalam Jadual 2.

Jadual 1 : Kepekatan aktiviti radionuklid dalam sampel amang (Bq/kg)

Jenis sampel	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K
Timah tulen	52.83 ± 4.85	24.45 ± 3.0	149.63 ± 20.23	108.04 ± 8.97
Monazit tulen	832.88 ± 90.56	13426.68 ± 2100	22011.87 ± 2590	3773.15 ± 380.98
Ilmenit tulen	76.31 ± 7.71	97.28 ± 9.88	2099.29 ± 210.65	154.66 ± 16.87
Zirkon tulen	2620.98 ± 250.65	204.83 ± 20.32	8898.21 ± 900.32	179.64 ± 18.05
Monazit longgokan	246.36 ± 20.40	12452.18 ± 800.58	13573.32 ± 2510	3239.73 ± 150.66
Ilmenit longgokan	3538.94 ± 250.65	132.44 ± 5.75	822.64 ± 50.85	3219.64 ± 205.75

Jadual 2 : Kepekatan aktiviti radionuklid dalam sampel tanah (Bq/kg)

Kod	Lokasi pensampelan	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K
S4	Sekitar perkuburan	31.64 ± 5.22	27.37 ± 3.25	32.42 ± 0.25	262.24 ± 15.58
S4	Simpang Putra Jaya	39.67 ± 4.05	38.82 ± 5.05	20.07 ± 0.50	285.79 ± 15.15
S3	Taman Dengkil Jaya	57.98 ± 6.05	49.68 ± 3.26	86.64 ± 0.49	462.42 ± 35.33
S1	Sekitar loji amang	294.46 ± 15.25	103.08 ± 8.25	976.65 ± 5.25	181.74 ± 6.23
S2	Sekitar E-village	449.15 ± 25.32	37.52 ± 1.55	105.75 ± 1.75	247.28 ± 8.80

Kepekatan aktiviti ²³⁸U dalam sampel tanah dari pelbagai lokasi pensampelan berada dalam julat 31.64 - 449.15 Bq/kg. Nilai keaktifan untuk ²³²Th adalah antara 27.37 - 103.08 Bq/kg, manakala untuk ²²⁶Ra dan ⁴⁰K adalah masing-masing 20.07 - 976.65 Bq/kg dan 181.74 - 462.42 Bq/kg. Secara umumnya bacaan ²³⁸U tinggi di kawasan berhampiran loji pemprosesan amang (S1) dan kawasan bekas lombong di sekitar E-village (S2) serta terendah pada kawasan perkampungan (S4). Nilai yang tinggi ini terhasil dari sumbangan aktiviti pemprosesan amang dan sisa tinggalan aktiviti perlombongan. Corak yang sama juga diperolehi untuk ²²⁶Ra, manakala keradioaktifan ²³²Th tidak banyak berbeza kecuali di kawasan loji pemprosesan amang yang mana nilainya agak lebih tinggi (103.08 Bq/kg). Oleh yang demikian keradioaktifan yang lebih tinggi ini berpunca dari sisa aktiviti perlombongan dan pemprosesan amang. Keradioaktifan tentu ⁴⁰K tidak terlalu berbeza kecuali di kawasan Taman Dengkil Jaya yang mencatatkan nilai tertinggi (462.42 Bq/kg). Selain dari kewujudan ⁴⁰K tabii, aktiviti manusia seperti pembajaan boleh meningkatkan kandungannya. Kajian yang telah dilakukan oleh Muhamad Samudi Yasir et. al. [6] juga mendapati taburan keradioaktifan tabii (²³⁸U, ²³²Th dan ⁴⁰K) serta radionuklid ¹³⁷Cs dipengaruhi oleh faktor seperti perbezaan keadaan geologi dan aktiviti pembangunan.

Kandungan radionuklid dalam sampel air.

Kepekatan aktiviti ²³⁸U dalam sampel air berada pada julat 1.40 - 1.63 Bq/L, manakala untuk ²³²Th, ²²⁶Ra dan ⁴⁰K pula masing-masing pada julat 1.57 - 1.65 Bq/L, tidak terkesan - 1.14 Bq/L dan 10.51 - 12.06 Bq/L (Jadual 3). Bagi radionuklid ²²⁶Ra penentuan dilakukan menggunakan kaedah langsung, iaitu berdasarkan puncak foton 186 keV. Ini disebabkan hanya puncak ini yang dapat dikesan pada larutan piawai yang diguna. Secara amnya keaktifan tentu kesemua radionuklid yang terdapat dalam sampel air tidak berbeza antara lokasi pensampelan.

Dos setara bagi dedahan sampel amang

Jadual 1 menunjukkan kepekatan aktiviti ²²⁶Ra dalam pelbagai sampel amang adalah tinggi dan salah satu progeni ²²⁶Ra ialah radon (²²²Rn). Oleh kerana ²²²Rn ini berbentuk gas, ia boleh memasuki pernafasan dan terperangkap dalam paru-paru sebagai ²¹⁰Pb ataupun ²¹⁰Po. Radium juga boleh menggantikan kalsium sebagai struktur tulang. Oleh yang demikian kesan radiologi ²²⁶Ra ke atas manusia khususnya pekerja loji pemprosesan amang adalah signifikan. Kajian telah dilanjutkan dengan mengira dos setara pada jarak dedahan 1 meter. Hasil perkiraan dapat dilihat dalam Jadual 4. Didapati dos setara meningkat dengan keradioaktifan tentu ²²⁶Ra. Walau bagaimanapun nilai maksimum yang diperolehi (9.12 x 10⁻³ mSv/tahun pada monazit tulen) masih lebih rendah dari paras maksimum dedahan orang awam (1 mSv/tahun) ataupun pekerja sinaran (50 mSv/tahun). Nilai yang dicerap ini juga masih lebih rendah dari nilai 0.100 mSv, iaitu dos setara berkesan luaran bagi siri pereputan ²³⁸U [7]. Sungguhpun begitu Azlina et. al. [8] mendapati jika kawasan bekas loji pemprosesan amang ini terus dibangunkan dos setara tahunan yang diterima oleh penduduk atau pekerja akan melebihi had dos tahunan orang awam (1 mSv/tahun). Mereka turut mencadangkan beberapa langkah mitigasi termasuk penimbusan lapisan tanah di atas bekas tapak loji tersebut.

Kesimpulan

Hasil kajian ini mendapati kepekatan aktiviti radionuklid ^{238}U , ^{232}Th dan ^{226}Ra tinggi pada sampel amang berbanding sampel tanah, manakala kepekatan aktiviti ^{40}K tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan. Kedudukan lokasi pensampelan turut mempengaruhi kepekatan aktiviti radionuklid tersebut. Semakin hampir lokasi tersebut dengan kawasan bekas lombong atau loji pemprosesan amang, kepekatan aktiviti pada sampel tanah semakin meningkat. Bagi sampel air tidak terdapat perbezaan yang signifikan ke atas kepekatan aktiviti radionuklid. Walaupun kepekatan aktiviti ^{226}Ra pada sampel amang tinggi, kiraan menunjukkan dos setara tahunan yang boleh diterima oleh pekerja kilang amang masih lebih rendah dari had dos tahunan pekerja sinaran dan juga orang awam iaitu kurang dari 1 mSv/tahun.

Jadual 3 : Kepekatan aktiviti radionuklid dalam sampel air (Bq/L)

Lokasi pensampelan		^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K
Loji amang (S1)	Tapisan I	1.40 ± 0.15	1.65 ± 0.20	0.76 ± 0.07	11.47 ± 2.05
	Tapisan II	1.52 ± 0.22	1.57 ± 0.32	1.14 ± 1.23	10.51 ± 1.86
	Campuran Air - amang	1.52 ± 0.22	1.65 ± 0.35	0.71 ± 0.07	11.75 ± 1.55
Perkampungan (S4)	Kubur	1.52 ± 0.22	1.65 ± 0.35	0.66 ± 0.06	12.06 ± 2.03
Tasik Taman Dengkil Jaya (S3)	Tasik loji amang	1.40 ± 0.15	1.57 ± 0.33	0.76 ± 0.07	11.44 ± 2.04
Sekitar E-village (S2)	Tepi loji amang	1.40 ± 0.15	1.57 ± 0.33	0.76 ± 0.07	11.75 ± 1.55
	E-village	1.63 ± 0.25	1.57 ± 0.33	*t.d	11.75 ± 1.55

* t.d.: tidak terkesan

Jadual 4 : Dos setara dan dos setara tahunan

Sampel	^{226}Ra (Bq/kg)	Dos setara (Sv/jam)	Dos setara tahunan (mSv/tahun)
Monazit tulen	22011.87	4.55 x 10 ⁻⁹	9.12 x 10 ⁻³
Ilmenit tulen	2099.29	4.30 x 10 ⁻¹⁰	8.60 x 10 ⁻⁴
Zirkon tulen	8898.21	1.84 x 10 ⁻⁹	3.68 x 10 ⁻³
Monazit longgokan	13573.32	2.00 x 10 ⁻⁹	5.62 x 10 ⁻³
Ilmenit longgokan	822.64	1.70 x 10 ⁻¹⁰	3.24 x 10 ⁻⁴

Penghargaan

Setinggi penghargaan ditujukan kepada Syarikat Universal Mineral Trading Sdn. Bhd. yang telah membekalkan perbagai sampel amang yang diguna dalam kajian ini.

Rujukan

- Jabatan Perlombongan Malaysia. 1997. Statistic on Commodities 1997. Hlm 177 - 185.
- Lee Swee Ching. 1994. The Tin Mining and Heavy Mineral Processing industry in Lembah Kinta, perak. Proceedings of the seminar Radiological Hazards in Tin Mining and Heavy Mineral Processing. 21 - 22 June 1994. Ipoh, Perak Malaysia.
- Amran Ab Majid, Muhamad Samudi Yasir dan Redzuwan Yahaya, 2004. Taburan Radionuklid Tabii (NORM) dan Kaitannya Dengan Aktiviti Pembangunan di Negeri Selangor. Dalam: Indicators of Sustainable Development: Assessing Changes in Environmental Conditionss. A. Latif, J.J. Periera & A. Hexri (eds), Institute for Environment and Development (LESTARI) UKM, Bangi, 213 – 225.
- Redzuwan Yahaya, Che Rosli Che Mat, Muhamad Samudi Yasir, Amran Ab Majid, Ismail Bahari dan Sukiman Sarmani. 1997. Analysis of Fall-out and Naturally Occuring Radioancitve Elements in Selangor. *Malays. J. Anal. Sci.* 3: 237 - 241.
- Jaeger, R.G., et al. 1968. Engineering Compendium on Radiation Shielding, vol.1. Springer-Verlag, New York. pp 21.
- Muhamad Samudi Yasir, Ismail Bahari, Sahibin, A.R., Dahlia Suriati dan Halim Abd Rahman. 2001. The concentration of Natural Radionuclides and Heavy Metals in Soils from a Tin-Mining and Its Surrounding Area. *Jurnal Sains Nuklear Malaysia*, 19: 50 – 56.
- IAEA, 1990. The Use of Gamma Ray Data to Define The Natural Radiation Environment. IAEA-TECDOC-566: 1 - 10.
- Azlina, M.J., B. Ismail, M. Samudi Yasir, Syed Hakimi Sakuma and M.K. Khairuddin. 2003. Radiological Impact Assessment of Radioactive Mineral of Amang and Ilmenite on Future Landuse Using RESRAD Computer Code. *Applied Radiation and Isotope*. 58: 413 - 419. ↴