

PENILAIAN RISIKO KANSER DARI SAMPEL TANIH DI SEKITAR KAWASAN PERINDUSTRIAN GEBENG, PAHANG DAN SAMPEL AMANG DI PERAK

(Assessments of Cancer Risk from Soil Samples in Gebeng Industrial Estate, Pahang and
Amang Samples in Perak)

Che Nor Aniza Binti Che Zainul Bahri*, Khoo Kok Siong, Amran Ab. Majid, Norafatin binti Khalid

*Program Sains Nuklear, Jabatan Fizik Gunaan
Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

**Corresponding author: anizazainul@gmail.com*

Abstrak

Aktiviti perindustrian seperti industri amang dan industri pemprosesan nadir bumi menyumbang kepada risiko radiologi terhadap kesihatan manusia dan alam sekitar. Aktiviti-aktiviti ini boleh meningkatkan keradioaktifan tabii (NORM) yang signifikan dalam persekitaran. Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk menentukan kepekatan aktiviti Torium-232 (^{232}Th), Uranium-238 (^{238}U) dan Kalium-40 (^{40}K) dalam sampel tanah di sekitar Kawasan Perindustrian Gebeng, Pahang dan sampel ilmenit dan monazit dari tiga buah kilang pemprosesan amang di Perak dengan menggunakan spektrometri sinar gama. Seterusnya kadar dos terserap sinar gama, dos tahunan dan risiko kanser ditentukan. Kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam sampel tanah di Gebeng masing-masing telah ditemui dalam julat 14.3 – 102.4, 23.8 – 81.3 dan 73.3 – 451 Bq kg⁻¹. Manakala julat kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K bagi sampel ilmenit dan monazit adalah masing-masing 259 – 166500, 194 – 28750 dan 26.4 – 11991 Bq kg⁻¹. Julat kadar dos terserap sinar gama di Kawasan Perindustrian Gebeng adalah 22 – 108 nGy j⁻¹ dan di kawasan pemprosesan amang adalah 390 – 6650 nGy j⁻¹. Dos tahunan di Kawasan Perindustrian Gebeng dan kawasan pemprosesan amang masing-masing adalah 0.02 – 0.15 dan 0.47 – 68 mSv tahun⁻¹. Kajian menunjukkan risiko kanser di Kawasan Perindustrian Gebeng adalah 4 per sejuta orang dan 3702 per sejuta orang di kawasan pemprosesan amang. Kepekatan aktiviti dalam tanah di Kawasan Perindustrian Gebeng berada dalam julat yang dilaporkan oleh UNSCEAR 2000 di Malaysia. Kepekatan aktiviti, kadar dos terserap sinar gama, dos tahunan dan risiko kanser di Kawasan Perindustrian Gebeng lebih rendah daripada kawasan pemprosesan amang kerana kawasan pemprosesan amang mempunyai aktiviti yang tinggi di sekitar kawasannya disebabkan kehadiran monazit yang tinggi dengan torium. Kajian ini mencadangkan pemantauan dos sekitaran perlu dilakukan secara berterusan untuk menjamin kelestarian manusia dan alam sekitar.

Kata kunci: kepekatan aktiviti, risiko kanser, amang, keradioaktifan tabii

Abstract

Industrial activities such as the tin tailings and rare earth processing contribute to radiological risk to human health and environment. Those activities can accumulate the naturally occurring radioactive materials (NORM) with significant concentration in the environment. The aims of this study was to determine the activities concentration of Thorium -232 (^{232}Th), Uranium -238 (^{238}U) and Potassium - 40 (^{40}K) in soil samples around the Gebeng Industrial Estate, Pahang and in samples of ilmenite and monazite from three tin tailings processing plants in Perak using gamma ray spectrometry. The terrestrial gamma dose rate, the annual dose and cancer risk were also determined. The activities concentration of ^{232}Th , ^{238}U and ^{40}K in the Gebeng soil samples were found in the range of 14.3 - 102.4, 23.8 - 81.3 and 73.3 - 451 Bq kg⁻¹, respectively. While the activities concentration of ^{232}Th , ^{238}U and ^{40}K for ilmenite and monazite samples were in the range of 259 - 166500, 194 - 28750 and 26.4 - 11991 Bq kg⁻¹, respectively. The range terrestrial gamma dose rate at the Gebeng Industrial Estate was 22 - 108 nGy h⁻¹ and the tin tailings processing plants was 390 – 6650 nGy h⁻¹. Whereas the annual dose at the Gebeng Industrial Estate and tin tailings processing plants were 0.02 – 0.15 and 0.47 - 68 mSv y⁻¹, respectively. The study showed that the cancer risk in the Gebeng industrial area were 4 peoples per million and 3702 peoples per million in the tin tailings processing plants. The activity concentration of soil from industrial area reported by UNSCEAR 2000 was in range of the Malaysia soil background. The

activity concentration, the terrestrial gamma dose rate, the annual dose and the cancer risk were lower in the industrial area compared to tin tailings processing plants due to the high activity among the tin tailings processing area due to the high content of thorium in monazite. This study is recommended to monitor the environmental dose continuously in order to ensure the sustainability of human and environment. to ensure the sustainability of human and environment.

Keywords: activity concentration, cancer risk, amang, natural radionuclide

Pengenalan

Setiap manusia tidak terlepas daripada menerima dedahan dos sinaran dari pelbagai sumber sama ada semulajadi ataupun buatan manusia. Kadar dos sinaran yang berpunca daripada sumber semulajadi menyumbang kira-kira 2.4 mSv tahun⁻¹ [1]. Kehadiran bahan radioaktif semulajadi iaitu NORM (*Naturally Occuring Radioactive Material*) dalam tanah telah menyumbang sekurang-kurangnya 85% daripada sinaran latar belakang [2]. Selain daripada sumber semula jadi, aktiviti penyelidikan dan teknologi juga menyumbang kepada aras sinaran latar belakang. Industri minyak dan gas, pemprosesan unsur nadir bumi dan pemprosesan sisa timah boleh menyebabkan pengumpulan NORM yang tinggi dalam hasil sampingan dan sisa aliran.

Kawasan Perindustrian Gebeng yang terletak di Kuantan, Pahang merupakan zon aktiviti perindustrian yang menempatkan pelbagai industri termasuk industri minyak dan gas serta industri pemprosesan nadir bumi. Pemprosesan nadir bumi melibatkan proses pengekstrakan, pengasingan dan penapisan di mana menggunakan sejumlah besar bahan kimia yang menyebabkan terhasilnya sisa buangan dalam bentuk gas, pepejal dan cecair. Bahan cemar yang dilepaskan dalam bentuk cecair mengandungi unsur radioaktif seperti uranium, torium, kalium-40 dan sisa sampingannya. Sebahagian besar NORM yang hadir dalam tanah adalah tergolong sebagai hasil akhir daripada aktiviti perindustrian [3]. Uranium, torium dan kalium-40 merupakan penyumbang utama kepekatan aktiviti daratan di Semenanjung Malaysia [4]. Secara umumnya, peningkatan aktiviti radionuklid dalam tanah dengan ketara boleh meningkatkan kadar dos terserap sinar gama.

Perak merupakan negeri yang aktif dalam aktiviti perlombongan dan pemprosesan bijih timah. Di negeri ini terdapat beberapa kilang pemprosesan sisa timah iaitu amang atau tahi timah yang dapat meningkatkan bacaan dos sinaran persekitaran dan penyumbang kepada peningkatan sinaran latar belakang. Pemprosesan amang yang dijalankan adalah untuk mengekstrak pelbagai mineral berharga seperti monazit, xenotim, ilmenit dan zirkon. Mineral tersebut mengandungi unsur radioaktif atau NORM dengan kepekatan aktiviti yang tinggi terutama torium dalam monazit. Dalam industri ini terdapat kemungkinan pendedahan sinaran kepada pekerja, orang awam dan alam sekitar kesan daripada penguraian bahan radioaktif tersebut dan ianya bergantung kepada kepekatan aktiviti radionuklid dan kadar dos sinaran. Justeru itu, langkah keselamatan perlu diambil bagi mengelakkan berlakunya dedahan sinaran yang melampau kepada pekerja, orang awam dan alam sekitar.

Dos sinaran berpotensi mendatangkan kesan kesihatan terhadap penduduk setempat [5]. Oleh kerana aktiviti perindustrian tersebut mempunyai kepentingan, pemantauan yang teliti terhadap sinaran latar belakang adalah perlu dilakukan kerana peningkatan aras dos sinaran berpotensi menimbulkan kesan terhadap kesihatan dan kemungkinan menyumbang kepada risiko kanser. Oleh itu, matlamat kajian ini dijalankan adalah untuk menentukan kepekatan aktiviti tanah di Kawasan Perindustrian Gebeng, Pahang dan dalam sampel amang di Perak, penentuan kadar dos terserap sinar gama, dos tahunan dan anggaran risiko kanser penduduk di kawasan kajian.

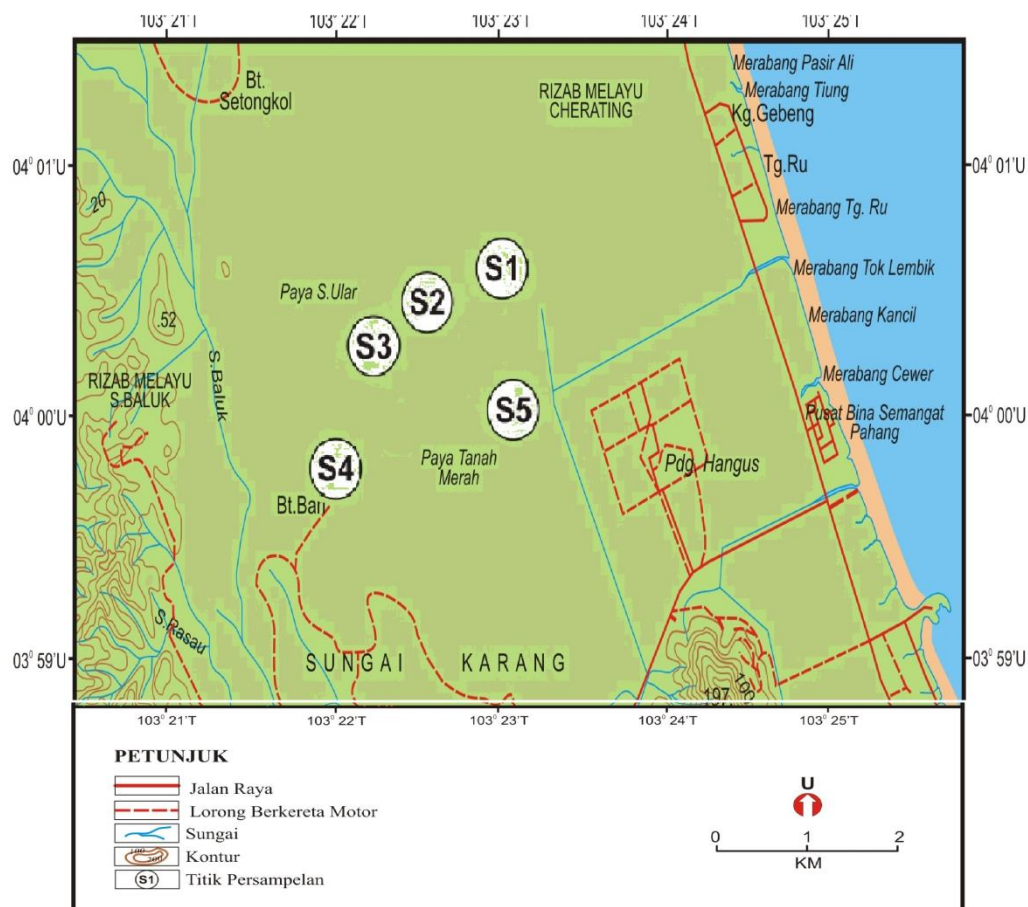
Bahan dan Kaedah

Kawasan kajian

Sampel tanah diambil di sekitar Kawasan Perindustrian Gebeng, Pahang iaitu di lima stesen terpilih dengan keluasan 100 hektar bagi mewakili kawasan tersebut. Koordinat latitud dan longitud kawasan persampelan adalah seperti dalam Jadual 1 di bawah. Bacaan koordinat ditentukan menggunakan *Global Positioning System* (GPS). Rajah 1 menunjukkan peta 5 stesen kajian. Manakala sampel monazit dan ilmenit pula diambil dari tiga kilang pemprosesan amang yang terletak di Kampar, Perak.

Jadual 1. Koordinat stesen pensampelan

Stesen	Koordinat GPS	
	Utara	Selatan
1	N: 4 °0.505'	E: 103 °22.971'
2	N: 4 °0.445'	E: 103 °22.708'
3	N: 4 °0.397'	E: 103 °22.562'
4	N: 3 °59.901'	E: 103 °22.438'
5	N: 4 °0.127'	E: 103 °22.974'



Rajah 1. Peta kawasan kajian

Penyediaan sampel tanah

Dua kilogram sampel tanah di setiap stesen diambil pada kedalaman 10 - 15 cm dengan menggunakan gerudi tanah. Kedalaman 10- 15 cm dipilih kerana bahan cemar tidak larut air seperti dioksin dan PCB berada pada kedalaman 10- 15 dari permukaan tanah [6]. Sampel dimasukkan ke dalam beg plastik, diikat dan dilabelkan mengikut stesen pengambilan sampel. Sampel di bawa pulang dan proses perawatan sampel dilakukan di Makmal Sains Nuklear, Universiti Kebangsaan Malaysia. Sampel tanah dibersihkan dari pelbagai bendasing dan dikeringkan dalam ketuhar pada suhu 80 - 90 °C selama 48 jam sehingga mencapai berat tetap [7]. Kemudian, sampel dilerai dan dihancurkan sebelum diayak menggunakan pengayak bersaiz 0.8 mm bagi memastikan ia berada dalam keadaan homogen. Hasil ayakan diisi ke dalam bekas polietilena mengikut ketinggian piawai iaitu setinggi 4 cm, dikedapkan dengan pita pelekat dan disimpan selama 30 hari untuk mencapai keseimbangan sekular antara nuklid induk (^{238}U dan ^{232}Th) dan progeninya. Dalam keseimbangan sekular, aktiviti kedua- dua nuklid induk dan progeni adalah sama. Piawai IAEA tanah-375 digunakan sebagai piawai bagi kaedah bandingan.

Penyediaan sampel amang

Sampel monazit dan ilmenit diperolehi secara terus daripada pihak pengurusan kilang. Sampel dibersihkan dan dikeringkan dalam ketuhar pada suhu 80 - 90 °C selama 48 jam sehingga mencapai berat tetap. Kemudian, sampel dimasukkan ke dalam bekas polietilena berpenutup dan dikedapkan dengan pita pelekat. Seterusnya, sampel disimpan selama 30 hari bagi mencapai keseimbangan sekular antara nuklid induk (^{238}U dan ^{232}Th) dan progeninya. Piawai kaedah bandingan yang digunakan dalam kajian ini ialah Piawai IAEA tanah-375.

Pengukuran aktiviti radionuklid

Sampel dibilang selama 12 jam menggunakan sistem pembilang sinar gama (spektrometri sinar gama) HPGe untuk menentukan kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam semua sampel. Pengesan HPGe yang digunakan adalah dari model Canberra 747 dan kecekapan relatifnya 30% dengan leraian 1.80 keV pada puncak tenaga 1332.5 keV. Kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K masing - masing ditentukan melalui puncak tenaga 2.614 MeV (^{208}Tl), 1.764 MeV (^{214}Bi) dan 1.46 MeV (^{40}K) [8].

Penentuan kepekatan aktiviti

Kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam sampel tanah, monazit dan ilmenit dikira berdasarkan rumus di bawah [7].

$$W_s = \frac{M_p \times A_s}{M_s \times A_p} \times W_p \quad (1)$$

di mana, W_s adalah kepekatan aktiviti sampel (Bq kg^{-1}), W_p adalah kepekatan aktiviti piawai (Bq kg^{-1}), M_s adalah jisim sampel (g), M_p adalah jisim piawai (g), A_s adalah aktiviti sampel (cps) dan A_p adalah aktiviti piawai (cps).

Kadar dos terserap sinar gama

Hasil daripada kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam sampel tanah dan amang (monazit dan ilmenit), kadar dos terserap sinar gama dikira menggunakan faktor penukaran yang diterbitkan dalam [9] seperti di bawah:

$$ADRE = (6.62 C_{Th} + 4.27 C_U + 0.43 C_K) \text{ nGy/jam} \quad (2)$$

di mana C_{Th} adalah kepekatan aktiviti torium (Bq kg^{-1}), C_U adalah kepekatan aktiviti uranium (Bq kg^{-1}) dan C_K adalah kepekatan aktiviti kalium-40 (Bq kg^{-1}).

Dos tahunan

Hasil daripada pengiraan kadar dos terserap sinar gama, dos tahunan dapat dikira menggunakan rumus yang diterbitkan oleh UNSCEAR 2000 [1]. Di sini, sampel tanah mewakili dos tahunan di Kawasan Perindustrian Gebeng, Pahang. Manakala sampel amang mewakili dos tahunan di Perak.

$$AEDE = ADRA \times DCF \times OF \times T \quad (3)$$

di mana $AEDE$ adalah had dos tahunan ($\mu\text{Sv tahun}^{-1}$), $ADRA$ kadar dos terserap sinar gama (nGy j^{-1}), DC adalah faktor penukaran dos (0.7 Sv/Gy), OF adalah faktor penghunian (faktor penghunian luaran ialah 0.2), T adalah masa (8760 jam/tahun).

Penentuan risiko kanser

Akhir sekali, risiko kanser yang diterima oleh penduduk per sejuta orang dikira menggunakan persamaan berikut [10]:

$$\text{Risiko Kanser} = \frac{AEDE \times RF \times 10^6}{10^{-5}} \quad (4)$$

di mana $AEDE$ adalah dos tahunan (mSv tahun^{-1}) dan RF adalah faktor risiko (Sv^{-1}). Bagi kesan stokastik, faktor risiko kanser yang dicadangkan oleh ICRP 2007 [10] adalah $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ untuk orang awam.

Hasil dan Perbincangan

Kepekatan aktiviti

Julat kepekatan aktiviti bagi ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam sampel tanah, monazit dan ilmenit ditunjukkan dalam Jadual 2. Hasil kajian menunjukkan kepekatan aktiviti ^{232}Th dan ^{238}U adalah tinggi dalam sampel monazit diikuti dengan ilmenit dan tanah. Julat kepekatan aktiviti ^{232}Th dalam sampel monazit, ilmenit dan tanah masing – masing adalah $30,758 - 166,500 \text{ Bq kg}^{-1}$, $259 - 1,182 \text{ Bq kg}^{-1}$ dan $14.3 - 102.4 \text{ Bq kg}^{-1}$. Keadaan ini memang dijangkakan kerana mineral monazit mengandungi kandungan torium yang tinggi secara semulajadi [11]. Manakala kandungan torium dalam ilmenit adalah dalam julat $200 - 2000 \text{ Bq kg}^{-1}$ [12]. Julat kepekatan aktiviti ^{238}U bagi sampel monazit, ilmenit dan tanah masing-masing $13,321 - 28750 \text{ Bq kg}^{-1}$, $194 - 4,662 \text{ Bq kg}^{-1}$ dan $23.8 - 81.3 \text{ Bq kg}^{-1}$. Sampel monazit juga menunjukkan kepekatan aktiviti ^{40}K yang tinggi iaitu $3,104 - 11,991 \text{ Bq kg}^{-1}$ berbanding ilmenit dan tanah. Seterusnya, kepekatan aktiviti ^{40}K dalam tanah dengan julat $73.3 - 451.8 \text{ Bq kg}^{-1}$ dan diikuti oleh ilmenit dengan julat $26.4 - 86.49 \text{ Bq kg}^{-1}$. Kehadiran ^{40}K yang tinggi dalam tanah adalah normal kerana ianya wujud secara semulajadi dan terdapat dalam jumlah yang besar dalam kerak bumi. Kandungan ^{40}K yang tinggi dalam tanah menunjukkan tanah yang subur kerana ia merupakan nutrien penting yang diperlukan oleh tumbuhan [13].

Jadual 2. Julat kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam sampel tanah, ilmenit dan monazite

Jenis sampel	Bilangan sampel	Kepekatan aktiviti (Bq kg^{-1})		
		^{232}Th	^{238}U	^{40}K
Tanah	25	14.3 - 102.4	23.8 - 81.3	73.3 - 451.8
Ilmenit	15	259 - 1182	194 - 4662	26.4 - 86.49
Monazit	15	30758 - 166500	13321 - 28750	3104 - 11991

Kadar dos terserap sinar gama

Hasil daripada penentuan kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K , kadar dos terserap sinar gama dapat dikira dan hasilnya ditunjukkan dalam Jadual 3. Julat kadar dos di Kawasan Perindustrian Gebeng dan kawasan pemprosesan amang masing - masing menunjukkan $22 - 108 \text{ nGy j}^{-1}$ dan $390 - 6650 \text{ nGy j}^{-1}$. Kadar dos sinar gama di kawasan pemprosesan amang menunjukkan bacaan yang tinggi melebihi nilai purata kadar dos sinar gama di dunia iaitu 57 nGy j^{-1} dengan julat antara $18 - 93 \text{ nGy j}^{-1}$ seperti dilaporkan oleh UNSCEAR (2000) [1]. Walau bagaimanapun, kajian yang dijalankan oleh Mohanty et al. 2004 [14], di Chhatrapur India juga menunjukkan bacaan kadar dos sinar gama yang tinggi di kawasan monazit iaitu pada julat $375 - 5000 \text{ nGy j}^{-1}$. Peningkatan kadar dos sinar gama di kawasan perindustrian amang adalah disebabkan kehadiran torium dan uranium dalam kedua-dua sampel monazit dan ilmenit pada kepekatan yang tinggi. Di beberapa kawasan termasuk di Guarapari di Brazil, Yangiang di China, dan Tamilnadu di India, kawasan tersebut juga menunjukkan bacaan kadar dos sinar gama yang tinggi disebabkan kehadiran monazit yang mempunyai kandungan torium yang tinggi [15]. Ini menunjukkan tahap kadar dos sinar gama secara langsung dapat dikaitkan dengan kepekatan aktiviti ^{232}Th dan ^{238}U [16].

Dos tahunan

Kesan kesihatan dari dedahan sinaran mengion dalam persekitaran telah ditentukan dengan pengiraan dos sinaran berkesan biologi dan risiko kanser yang disebabkan oleh dedahan sinaran latar belakang [17]. Had dos tahunan dan risiko kanser telah dikira menggunakan persamaan (3) dan (4) dan hasilnya ditunjukkan dalam Jadual 3. Julat had dos tahunan bagi Kawasan Perindustrian Gebeng dan kawasan pemprosesan amang masing - masing 0.02 – 0.15 mSv tahun⁻¹ dan 0.47 - 68 mSv tahun⁻¹. Nilai had dos tahunan yang ditetapkan untuk orang awam ialah 1 mSv tahun⁻¹ dan pekerja sinaran 20 mSv tahun⁻¹. Walau bagaimanapun, nilai yang dilaporkan tidak melebihi had dos maksimum tahunan dalam tempoh lima tahun iaitu 50 mSv tahun⁻¹. Sebagai langkah keselamatan, beberapa tindakan perlu diambil untuk mengelakkan penerimaan dos yang tinggi kepada pekerja. Antaranya ialah mengurangkan masa bekerja dan menggunakan topeng keselamatan untuk mengelakkan diri dari menyedut udara yang mengandungi unsur radioaktif iaitu radon (²²²Rn) [18].

Risiko kanser

Penerimaan dos dedahan yang rendah dalam jangka masa yang lama dan berterusan boleh menyebabkan kesan stokastik iaitu kanser. Walaupun punca sebenar berlakunya kanser tidak diketahui, namun dedahan kepada sinaran mengion merupakan salah satu risiko kepada beberapa jenis kanser antaranya tiroid dan paru - paru. Pengiraan risiko kanser di Kawasan Perindustrian Gebeng dan kawasan pemprosesan amang menunjukkan perbezaan yang signifikan iaitu masing - masing 4 dan 3702 orang per sejuta. Penilaian risiko kanser merupakan kebarangkalian mendapat kanser yang akan diterima oleh penduduk sekitar per sejuta akibat dedahan kepada sinaran atau bahan toksik yang ditanggung sepanjang hayat [19]. Kajian yang dijalankan di Nigeria menunjukkan bacaan risiko kanser yang rendah iaitu 1.37 orang per sejuta menerima kanser daripada dedahan sinaran latar belakang [20].

Jadual 3. Perbandingan kadar dos, dos tahunan dan risiko kanser di Kawasan Perindustrian Gebeng, kawasan pemprosesan amang, Perak dan Mazandar, Iran.

	Kawasan Perindustrian Gebeng, Pahang	Kawasan pemprosesan amang	Mazandar, Iran [15]
Kadar dos (nGy j ⁻¹)	22 - 108	390 - 6650	26 - 27255
Dos tahunan (mSv tahun ⁻¹)	0.02 – 0.15	0.47 - 68	75 (purata)
Risiko kanser (per sejuta orang)	4	3702	-

Kesimpulan

Hasil kajian mendapati kepekatan aktiviti ²³²Th, ²³⁸U dan ⁴⁰K adalah tinggi dalam sampel amang berbanding tanah. Manakala kadar dos terserap sinar gama, dos tahunan dan risiko kanser di kawasan pemprosesan amang, Kampar, Perak menunjukkan bacaan yang tinggi berbanding di Kawasan Perindustrian Gebeng, Kuantan, Pahang. Ini menunjukkan kepekatan aktiviti sinaran latar belakang akibat pemprosesan amang mempengaruhi kadar dos terserap sinar gama, dos tahunan dan boleh meningkatkan risiko kanser kepada penduduk setempat. Oleh yang demikian, aktiviti pemantauan sinaran latar belakang yang berterusan adalah perlu dilakukan bagi memastikan alam sekitar tidak terdedah kepada sinaran latar belakang yang tinggi kesan daripada aktiviti perindustrian. Kajian penentuan sinaran latar belakang merupakan isu utama dalam pemantauan alam sekitar yang telah dilakukan di seluruh dunia untuk menentukan kepekatan aktiviti tanah serta menilai impak radiologi dan risiko kesihatan terhadap manusia

Penghargaan

Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada Kementerian Pengajian Tinggi di atas geran penyelidikan yang diberikan iaitu FRGS/ 1/ 2013/ ST01/UKM/01/2 untuk projek ini dan ketiga-tiga kilang pemprosesan amang di Perak yang telah membekalkan pelbagai sampel amang.

Rujukan

1. UNSCEAR (2000). Exposures from natural radiation sources. United Nations Scientific Committee on the

- Effects of Atomic Radiation. *Report to General Assembly, With Annexes*. New York: United Nations.
2. International Atomic Energy Agency (IAEA). 1987. IAEA handbook on nuclear activation data. *Technical series report No. 273*.
 3. Krmar, M., J. Sliviska, E. Varga, I. Bikit and M. Veskovc. (2009). Correlations of natural radionuclides in sediment from Danube. *Journal of Geochemical Exploration*, 100(1): 20-24.
 4. Ramli, A. T. (2007). Kajian Radiologi ke Atas Kesan Amang di Negeri Perak. Laporan akhir Projek Penyelidikan Vot 68878. Universiti Teknologi Malaysia dan Lembaga Perlesenan Tenaga Atom.
 5. Willson, M.J. (1993). Anthropogenic and naturally occurring radioactive materials detected on radiological survey of properties in Monticello, Utah. *Environmental Health Physics ; 26th midyear topical meeting, 24-28 Januari* : 564. Idaho : Coeur d'Alene.
 6. IAEA. (2004). *Soil Sampling for Environmental Contaminants*. IAEA- TECDOC- 1415: 20- 26. Vienna: International Atomic Energy Agency.
 7. Yasir, M.S., Majid, A. Ab., Ibrahim, F., Tap, M.S.Q & Abidin, M.R.Z. (2006). Analisis ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K dalam sampel amang, tanah dan air di Dengkil, Selangor menggunakan spektrometri sinar gama. *Malaysia Journal of Analytical Sciences*. 10 (1) : 35- 40.
 8. Selvaskarapandian, S., Sivakumar, R., Manikandan, N.M., Meenakshisundaram, V., Raghunanth, V.M. & Gajendran, V. (2000). Natural Radionuclide Distribution in Soil of Gudalore India. *Applied Radiation and Isotopes* 52 : 299- 306.
 9. UNSCEAR. (1987). Ionizing radiation. Sources, effects and risk of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Report to the General Assembly*. United Nation, New York.
 10. International Commission Radiation Protection (ICRP) (2007). Recommendations of the ICRP: Annals of the ICRP volume 37/2-4.
 11. Nasirian, M., Bahari, I. & Abdullah, P. (2008). Assessment of Natural Radioactivity in water and sediment from amang (Tin Tailing) processing Ponds. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 12 (1): 150 - 159.
 12. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). (2005). Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Australian Industries – Review of Current inventories and Future Generation. EnviroRad Services Pty. Ltd.
 13. Robert Mikkelsen. (2008). Managing Potassium for Organic Production. Vol. 92. No. 2. Page 26 – 29. Better Corporation
 14. Mohanty, A. K., Sangupta, D., Das, S. K., Saha, S. K., Van, K.V, (2004). Natural radioactivity and radiation exposure in high background area at Chhatraputra beach placer deposit of Orissa India. *Journal of Environmental Radioactive* 75(1):15-33.
 15. Abbaspour, M., Moattar, F., Okhovatian, A. & Kharat, M.S. (2010). Relationship of soil terrestrial radionuclide concentrations and the excess life time cancer risk in Newstern Mazandran Province, Iran. *Radiation Protection Dosimetry* 142: 265 - 272.
 16. Taskin, H., M. Karavus P. Ay, A. Topuzoglu, S. Hindiroglu and G. Karahan. (2009). Radionuclides concentration in soil and lifetime cancer risk due to the gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity* 70: 223-235.
 17. Kapdan, E., Varinlioglu, A., and Karahan, G. (2011). Radioactive Levels and Health Risk due to Radionuclides in the Soil of Yolova, Northwestern Turkey *International Journal Environment*. 5 (4): 837-846.
 18. IAEA (2009). *Radiation Workers Handbook: Radiation Control in the Mining & Mineral Processing Industry*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
 19. International Commission Radiation Protection (ICRP). 1990. Recommendations of the ICRP: ICRP Publication 60. Pergamon Press. New York.
 20. Jibiri. N. N. (2001). Assessment of Health Risk Levels Associated with terrestrial gamma radiation dose rates in Nigeria. *Environment International* 27 (2001): 21- 26.