

Penentuan Kepekatan Radionuklid Tabii dan Indeks Bahaya Radiologi akibat Penggunaan *Condisoil*® ke atas Penanaman *Hibiscus cannabinus* (Kenaf) (Determination of Natural Radionuclides Concentrations and Radiological Hazard Index due to Application of *Condisoil*® on *Hibiscus cannabinus* (Kenaf) Cultivation)

AZNAN FAZLI ISMAIL*, KHAIRIAH ROSLI, WAN MOHD RAZI IDRIS & SAHIBIN ABD. RAHIM

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan menentukan kepekatan aktiviti radionuklid tabii (^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K) dalam tanah, air dan tumbuhan serta faktor pemindahan daripada tanah kepada tumbuhan dan indeks bahaya radiologi akibat penggunaan *Condisoil*®. Sebanyak 4 sampel tanah, 14 sampel air dan 4 sampel tumbuhan telah dianalisis menggunakan sistem spektrometri sinar gama. Keputusan kajian mendapati julat kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam sampel tanah yang menggunakan *Condisoil*® masing-masing adalah 13.8 - 17.6, 15.7 - 21.0 dan 44.5 - 57.7 Bq kg⁻¹. Julat kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam sampel tumbuhan pula masing-masing adalah 5.0 - 18.5, 0.1 - 1.5 dan 42.7 - 321.8 Bq kg⁻¹. Bagi sampel air, julat kepekatan aktiviti bagi radionuklid ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K masing-masing adalah 0.3 - 0.9, 0.3 - 3.9 dan 1.4 - 11.6 Bq L⁻¹. Julat faktor pemindahan radionuklid ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K daripada tanah ke tumbuhan masing-masing adalah 0.42 - 0.71, 0.01 - 0.08 dan 0.85 - 5.34. Penilaian bahaya radiologi mendapati indeks kesetaraan radium berada di bawah nilai had yang dicadangkan iaitu 370 Bq kg⁻¹. Sehubungan dengan itu, kajian ini mendapati penggunaan *Condisoil*® sebagai bahan penambahbaikan tanah tidak menyebabkan pertambahan radionuklid tabii ke dalam alam sekitar serta tidak mendatangkan risiko bahaya radiologi kepada manusia.

Kata kunci: Bahaya radiologi; *Condisoil*®; radionuklid tabii; sisa industri

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine the natural radioactivity concentrations (^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K) in soil, water and plant due to the application of *Condisoil*®, soil-to-plant transfer factor and radiological hazard index due to the application of *Condisoil*®. A total of 4 soils, 14 waters and 4 plants samples have been analysed using gamma spectrometry system. The results showed that the activity concentrations of ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K in soils treated with *Condisoil*® ranged from 13.8 - 17.6, 15.7 - 21.0 and 44.5 - 57.7 Bq kg⁻¹, respectively. The activity concentrations of ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K in plants ranged from 5.0 - 18.5, 0.1 - 1.5 and 42.7 - 321.8 Bq kg⁻¹, respectively. In addition to that, the activity concentrations of ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K in water was in the ranged of 0.3 - 0.9, 0.3 - 3.9 and 1.4 - 11.6 Bq L⁻¹, respectively. The soil-to-plant transfer factor for ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K were in the ranged of 0.42 - 0.71, 0.01 - 0.08 and 0.85 - 5.34, respectively. The radiological hazard assessment found that the radium equivalent index was lower than the recommended limit of 370 Bq kg⁻¹. Therefore, this study concludes that the application of *Condisoil*® as soil amelioration does not contribute to the accumulation of natural radionuclide in the environment as well as does not pose a significant radiological risk to human.

Keywords: *Condisoil*®; industrial residue; natural radionuclides; radiological hazard

PENDAHULUAN

Lynas Advanced Material Plant (LAMP) ialah sebuah kilang pemprosesan bahan nadir bumi yang terbesar di dunia. LAMP terletak di Pusat Perindustrian Gebeng, Kuantan Pahang. Proses pengekstrakan bahan nadir bumi ini telah menghasilkan dua sisa sampingan utama iaitu *Water Leach Purification* (WLP) dan *Neutralization Underflow Residue* (NUF), masing-masing pada kadar 64000 tan dan 135000 tan setahun. Kajian oleh Al-Areqi et al. (2014) melaporkan kepekatan keseluruhan uranium dan torium dalam WLP ialah 7584 Bq kg⁻¹, iaitu jauh lebih tinggi daripada nilai 6200 Bq kg⁻¹ seperti yang dilaporkan oleh RIA (2011).

Nilai kepekatan uranium dan torium dalam WLP dan NUF boleh berubah dari masa ke masa bergantung kepada sumber bahan mentah yang digunakan untuk mengekstrak bahan nadir bumi. Oleh itu pemantauan secara berterusan terhadap kepekatan radionuklid tabii dalam WLP dan NUF perlu dilakukan bagi memastikan sisa sampingan ini diuruskan mengikut peraturan yang telah ditetapkan oleh pihak berkuasa tempatan.

Selain itu, WLP dan NUF juga kaya dengan kandungan nutrien lain seperti gipsium dan magnesium yang boleh dimanfaatkan dalam bidang pertanian bagi penambahbaikan kualiti tanah untuk meningkatkan

pengeluaran hasil tanaman. Bagi memanfaatkan bahan ini dalam bidang pertanian, satu kajian telah dilakukan untuk meneroka potensi penggunaan bahan sisa sampingan ini dalam bidang pertanian.

Satu bahan baharu yang dinamakan sebagai *Condisoil*[®] telah dihasilkan melalui campuran WLP, NUF dan bahan pengisi organik. *Condisoil*[®] sesuai untuk dijadikan sebagai bahan perapi tanah (penambahbaikan) dalam industri pertanian disebabkan bahan ini kaya dengan nutrien yang diperlukan dalam tumbesaran tumbuhan. Komposisi *Condisoil*[®] terdiri daripada 10% WLP, 20% NUF dan 70% bahan organik semula jadi. Apabila bahan-bahan ini dicampurkan, *Condisoil*[®] seharusnya mengandungi kepekatan radionuklid tabii ke tahap aras sinar latar belakang atau lebih rendah daripada nilai had 1000 Bq kg⁻¹ yang dibenarkan oleh Lembaga Perlesenan Tenaga Atom (AELB). Ini membolehkan *Condisoil*[®] dikategorikan sebagai bahan bukan radioaktif. Kaedah pengurusan sisa sampingan beradioaktif ini dikenali sebagai kaedah 'cair dan sebar'.

Walaupun tiada risiko radiologi dijangka daripada bahan yang mengandungi kepekatan radionuklid tabii di bawah nilai 1000 Bq kg⁻¹, kajian ini telah dijalankan untuk mengesahkan dan mengkaji tingkah-laku radionuklid tabii dalam *Condisoil*[®] sebagai bahan penambahbaikan kualiti tanah dalam penanaman tumbuhan *Hibiscus cannabinus* atau lebih dikenali sebagai kenaf. Sehubungan dengan itu, kajian ini telah dijalankan untuk menentukan kepekatan aktiviti radionuklid tabii (²²⁶Ra, ²²⁸Ra dan ⁴⁰K) dalam tanah dan tumbuhan selepas penggunaan *Condisoil*[®], faktor pemindahan daripada tanah kepada tumbuhan dan impak radiologi terhadap manusia.

KAEDAH KAJIAN

PERSAMPELAN DAN PENYEDIAAN SAMPEL

Kajian penggunaan *Condisoil*[®] untuk penanaman kenaf telah dijalankan di kawasan yang berkeluasan 4 ekar di Kampung Darat Sungai Ular, Pahang, iaitu kira-kira 4 km (9 km dengan menggunakan jalan) dari pusat pengoperasian LAMP. Peta lokasi kajian ditunjukkan dalam Rajah 1. Penanaman kenaf telah dijalankan selama 2 musim dengan setiap kitaran penanaman memerlukan masa selama 4 bulan. Plot penanaman kenaf dibahagikan kepada 2 bahagian iaitu bahagian tanah yang tidak dirawat dengan *Condisoil*[®] dan bahagian tanah yang dirawat menggunakan *Condisoil*[®]. Sebanyak 4 sampel tanah, 4 sampel tumbuhan dan 14 sampel air telah diambil secara rawak sepanjang 2 kitaran penanaman dari bulan Ogos 2016 hingga bulan April 2017. Maklumat bagi setiap sampel yang diambil dari kawasan kajian ditunjukkan dalam Jadual 1. Sampel tanah diambil menggunakan teknik persampelan komposit (SA-EPA 2005; US-EPA 2002) pada kedalaman 0 - 30 cm dari permukaan tanah. Bilangan dan teknik pengambilan sampel adalah memadai bagi menilai kesan radiologi akibat penggunaan *Condisoil*[®]. Penyediaan sampel dilakukan berdasarkan kaedah IAEA Technical Report 295 (1989). Sampel tanah dan tumbuhan dibersihkan daripada sebarang benda asing dan dikeringkan di dalam relau pada suhu 105°C selama 72 jam sehingga mencapai berat tetap. Sampel tanah dan tumbuhan kemudiannya disejukkan pada suhu bilik sebelum dikisar menggunakan pengisar. Sampel tanah dan tumbuhan kemudiannya diayak menggunakan pengayak bersaiz 500 µm bagi memastikan sampel berada dalam keadaan yang homogen. Sebanyak 400 - 430 g



RAJAH 1. Lokasi kawasan kajian di Kampung Darat Sungai Ular, Kuantan Pahang

JADUAL 1. Maklumat sampel tanah, tumbuhan dan air

Kitaran penanaman	Sample ID	Jenis sampel	Maklumat
Musim pertama (Ogos – Dis 2016)	T-kawalan	tanah	Tanah tidak menggunakan <i>Condisoil</i> ®
	T-Condi	tanah	Tanah menggunakan <i>Condisoil</i> ®
	K-kawalan	kenaf	Kenaf yang ditanam tanpa <i>Condisoil</i> ®
	K-Condi	kenaf	Kenaf yang ditanam dengan <i>Condisoil</i> ®
	BH-1	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	BH-2	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	BH-3	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	BH-4	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	BH-5	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	SW-1	air	Air sungai berhampiran lokasi kajian
SW-2	air	Air sungai berhampiran lokasi kajian	
Musim kedua (Jan – April 2017)	T-kawalan	tanah	Tanah tidak menggunakan <i>Condisoil</i> ®
	T-Condi	tanah	Tanah menggunakan <i>Condisoil</i> ®
	BH-1	kenaf	Kenaf yang ditanam tanpa <i>Condisoil</i> ®
	BH-2	kenaf	Kenaf yang ditanam dengan <i>Condisoil</i> ®
	BH-3	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	BH-4	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	BH-5	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	SW-1	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	SW-2	air	Air bawah tanah di kawasan kajian
	K-kawalan	air	Air sungai berhampiran lokasi kajian
K-Condi	air	Air sungai berhampiran lokasi kajian	

sampel tanah dimasukkan ke dalam botol pembilang jenis akrilik bagi memastikan sampel mempunyai geometri yang sama dengan bahan piawai yang digunakan dalam kajian ini. Selain itu, sebanyak 50 - 60 g sampel tumbuhan dan 200 mL sampel air dimasukkan ke dalam botol pembilang jenis akrilik. Sampel kemudiannya dibiarkan selama 30 hari sehingga mencapai keseimbangan sekular antara nuklid induk (^{238}U dan ^{232}Th) dengan progeninya.

PENENTUAN KEPEKATAN AKTIVITI RADIONUKLID TABII

Keradioaktifan sampel dihitung menggunakan sistem spektrometri sinar gama dengan pengesan germanium hiper tulin (HPGe) selama 12 j. Kristal HPGe mempunyai diameter 5.9 cm dengan ketinggian 5.0 cm. Bagi mengurangkan kesan sinar latar belakang sewaktu hitungan dijalankan, pengesan HPGe diletakkan dalam perisai plumbum model Canberra-747 setebal 10.0 cm dengan dilapisi oleh lapisan timah dan kuprum masing-masing berketebalan 1.0 mm dan 1.6 mm. Julat pengesanan bagi sistem spektrometri sinar gama dilaraskan supaya dapat mengesan sehingga 3000 keV tenaga foton dalam 16384 saluran dengan faktor penukaran $0.183 \text{ keV saluran}^{-1}$. Amplifier model AFT 2025 digunakan untuk menghubungkan sistem denyutan analog dengan masa pembentukan ditetapkan kepada 4 μs . Pengesan HPGe mempunyai kecekapan relatif 30% dengan leraian 1.80 keV pada puncak tenaga 1332.5 keV. Piawai campuran radionuklid ^{22}Na , ^{51}Cr , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{109}Cd , ^{113}Sn , ^{137}Cs , $^{123\text{m}}\text{Te}$ dan ^{241}Am digunakan untuk kalibrasi sistem spektrometri sinar gama bagi memastikan sistem sentiasa berada dalam keadaan baik. Kepekatan aktiviti ^{226}Ra ditentukan melalui puncak tenaga 351.9

keV (^{214}Pb) dan 1764.5 keV (^{214}Bi). Manakala kepekatan aktiviti ^{228}Ra ditentukan melalui puncak tenaga 911.2 keV (^{228}Ac) dan 2614.5 keV (^{208}Tl). Kepekatan aktiviti ^{40}K pula ditentukan melalui puncak tenaga tunggal 1460.3 keV. Bahan rujukan piawai IAEA Soil-375, IARMA-004 dan 0802 Silica telah digunakan dalam kajian ini. Ketepatan pembilangan aktiviti gama ditentukan dengan membilang bahan rujukan piawai IAEA Soil-375 menggunakan kaedah yang sama seperti kaedah analisis sampel. Had pengesanan terendah (LLD) dan kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam bahan rujukan piawai yang dibilang menggunakan sistem spektrometri sinar gama ditunjukkan dalam Jadual 2. Sistem spektrometri sinar gama didapati berada dalam keadaan yang baik sepanjang proses analisis dijalankan.

Kepekatan aktiviti (Bq kg^{-1}) ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam sampel tanah ditentukan menggunakan (1), manakala sampel tumbuhan dan air menggunakan (2) seperti yang dinyatakan dalam kajian Aznan et al. (2009) dan Majid et al. (2013):

$$W_s = \frac{M_m \times A_s}{M_s \times A_m} \times W_m \quad (1)$$

$$W_s = \frac{A_s}{\epsilon \theta M_s} \quad (2)$$

dengan W_s dan W_m adalah kepekatan radionuklid masing-masing dalam sampel dan bahan rujukan dalam unit Bq kg^{-1} . M_s dan M_m pula adalah jisim (g) masing-masing bagi sampel dan bahan rujukan manakala A_s dan A_m adalah aktiviti gama (bilangan per saat, bps) bagi sampel dan

JADUAL 2. Had pengesanan terendah (LLD) dan perbandingan kepekatan aktiviti yang ditentukan dengan nilai piawai

Radionuklid	Nilai piawai (Bq kg ⁻¹)	IAEA Soil-375	
		Nilai yang ditentukan (Bq kg ⁻¹)	LLD (Bq kg ⁻¹)
²²⁶ Ra	24.4* (19 - 29.8)**	20.5	0.3
²²⁸ Ra	20.5 (19.2 - 21.9)	21.7	0.1
⁴⁰ K	424 (417 - 432)	430.6	1.2

* Nilai piawai (teraku)

** Nilai piawai (teraku) pada 95% aras keyakinan

bahan rujukan. ϵ dan θ masing-masing ialah kecekapan tenaga dan kelimpahan tenaga bagi setiap puncak tenaga gama.

PENENTUAN FAKTOR PEMINDAHAN RADIONUKLID

Faktor pemindahan radionuklid ²²⁶Ra, ²²⁸Ra dan ⁴⁰K dari tanah ke tumbuhan ditentukan menggunakan persamaan berikut (IAEA 2010):

$$TF = \frac{C_p}{C_s} \quad (4)$$

dengan C_p dan C_s masing-masing adalah kepekatan radionuklid (Bq kg⁻¹) dalam tumbuhan dan tanah. Faktor pemindahan radionuklid digunakan untuk mengkaji penyerapan radionuklid dalam tanah oleh tumbuhan melalui akar.

PENILAIAN INDEKS BAHAYA RADIOLOGI

Keputusan analisis kepekatan aktiviti (Bq kg⁻¹) dalam sampel tanah digunakan untuk menentukan indeks bahaya radiologi akibat penggunaan *Condisoil*®. Indeks bahaya radiologi digunakan untuk menilai impak radiologi akibat dedahan terhadap lebih daripada satu sumber radionuklid tabii (Markkanen 2001). Indeks bahaya radiologi juga boleh dijadikan sebagai penunjuk kepada aras kepekatan radionuklid tabii serta penilaian awal terhadap bahaya sinaran sesuatu bahan. Dalam kajian ini, indeks kesetaraan radium (nilai kesetaraan radium) telah ditentukan. Indeks kesetaraan radium (Ra_{eq}) ditentukan menggunakan persamaan berikut (Aznan et al. 2009; Baretka & Matthew 1985; Tawalbeh et al. 2013):

$$Ra_{eq} = C_{Ra-226} + 1.47C_{Ra-228} + 0.077C_{K-40} \quad (5)$$

dengan C_{Ra-226} , C_{Ra-228} , dan C_{K-40} adalah kepekatan aktiviti masing-masing bagi ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, dan ⁴⁰K dalam Bq kg⁻¹. Persamaan ini berdasarkan anggapan bahawa 10 pCi g⁻¹ ²²⁶Ra, 7 pCi g⁻¹ ²³²Th dan 130 pCi g⁻¹ ⁴⁰K akan menghasilkan kadar dos sinar gama yang sama (Almayahi et al. 2012; Baretka & Matthew 1985). Nilai Ra_{eq} perlu lebih rendah dari 370 Bq kg⁻¹ bagi memastikan sesuatu bahan itu selamat untuk digunakan (NEA-OECD 1979).

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KEPEKATAN RADIONUKLID TABII DALAM TANAH

Julat dan purata kepekatan aktiviti ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, dan ⁴⁰K dalam sampel tanah ditunjukkan dalam Jadual 3. Julat kepekatan aktiviti bagi ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, dan ⁴⁰K masing-masing adalah 13.8 - 17.6, 15.7 - 21.0 dan 44.5 - 57.7 Bq kg⁻¹. Keputusan analisis mendapati semua sampel mempunyai kepekatan aktiviti ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, dan ⁴⁰K di bawah nilai purata kepekatan dalam tanah di Malaysia. Purata kepekatan aktiviti ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, dan ⁴⁰K dalam tanah di Malaysia masing-masing adalah 67.0, 82.0 dan 66 Bq kg⁻¹ (UNSCEAR 2000). Analisis statistik (ANOVA) antara sampel kawalan dan sampel *Condisoil*® mendapati tiada perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) terhadap pertambahan kepekatan radionuklid tabii akibat penggunaan *Condisoil*® sepanjang tempoh kajian dijalankan.

Selain daripada itu, perbandingan keputusan kajian ini dengan kajian lepas juga mendapati kepekatan aktiviti radionuklid tabii berada dalam julat yang normal seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3. Perbezaan kepekatan radionuklid tabii dalam tanah pertanian adalah disebabkan beberapa faktor seperti perbezaan faktor geografi, faktor geologi dan kadar penggunaan baja dalam industri pertanian (Alzubaidi et al. 2016).

Keputusan kajian juga mendapati kepekatan aktiviti ⁴⁰K adalah lebih tinggi berbanding kepekatan aktiviti ²²⁶Ra dan ²²⁸Ra. Kalium-40 wujud secara semula jadi dalam tanah, namun kekuatannya boleh bertambah disebabkan penggunaan baja dalam industri pertanian. Kalium (atau ⁴⁰K) adalah nutrien yang mudah bergerak dan cenderung untuk berkumpul pada permukaan tanah (Masitah et al. 2004). Kepekatan aktiviti ⁴⁰K dalam tanah juga tidak menyumbang kesan dedahan sinaran yang ketara disebabkan ia bukanlah projeni hasil daripada pereputan siri uranium dan torium (Hamzah et al. 2011).

Walaupun terdapat variasi dalam kepekatan aktiviti ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, dan ⁴⁰K antara tanah kawalan (tanpa *Condisoil*®) dengan tanah yang menggunakan *Condisoil*®, analisis statistik menunjukkan bahawa penggunaan *Condisoil*® tidak menyebabkan berlakunya pertambahan radionuklid dalam alam sekitar. Ini menunjukkan bahawa *Condisoil*® yang digunakan dalam kajian ini telah dihasilkan secara homogen, dengan aras kepekatan radionuklid tabii dalam *Condisoil*® menyamai

JADUAL 3. Kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K yang ditentukan dalam kajian ini

Kitaran penanaman	Sample ID		Kepekatan aktiviti (Bq kg^{-1})		
			^{226}Ra	^{228}Ra	^{40}K
Musim pertama	T-kawalan*	Julat	13.8 - 17.6	15.7 - 16.8	44.5 - 47.0
		Purata	15.7 ± 2.7	16.3 ± 0.8	45.7 ± 1.8
	T-Condi**	Julat	14.0 - 16.0	18.0 - 19.9	46.7 - 49.7
		Purata	15.0 ± 1.4	19.0 ± 1.4	48.2 ± 2.1
	Analisis statistik ANOVA (nilai p)			0.77	0.13
Musim kedua	T-kawalan	Julat	13.3 - 14.7	16.5 - 17.0	49.3 - 55.5
		Purata	14.0 ± 1.0	16.8 ± 0.4	52.4 ± 4.4
	T-Condi	Julat	16.7 - 17.6	19.2 - 21.0	47.8 - 57.7
		Purata	17.1 ± 0.6	20.1 ± 1.3	52.8 ± 7.0
	Analisis statistik ANOVA (nilai p)			0.07	0.07
Tanah Malaysia (UNSCEAR 2000)			67.0	82.0	310
Tanah kelapa sawit di Malaysia (Masitah et al. 2005)			21.5 ± 8.4	29.2 ± 8.9	56.8 ± 36.3
Tanah sawah padi di Malaysia (Alsaffar et al. 2015)			83.6 ± 40.4	108.1 ± 28.4	403.8 ± 224.8
Tanah di Kuala Krai, Kelantan (Hamzah et al. 2011)			40.2 - 264.0	29.2 - 312.9	491.1 - 1184.2

* T-kawalan : Tanah tidak menggunakan *Condisoil*®** T-Condi : Tanah menggunakan *Condisoil*®

kepekatan radionuklid tabii dalam alam sekitar. Walau bagaimanapun, pertambahan radionuklid tabii dalam alam sekitar boleh berlaku sekiranya *Condisoil*® yang tidak homogen digunakan sewaktu penanaman. Sehubungan dengan itu, kajian ini mendapati penggunaan *Condisoil*® sebagai bahan penambahbaikan tanah dalam penanaman tumbuhan kenaf tidak menyebabkan berlakunya peningkatan radionuklid tabii (^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{40}K) dalam tanah sepanjang tempoh kajian dijalankan.

KEPEKATAN RADIONUKLID TABII DALAM AIR

Kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam sampel air ditunjukkan dalam Jadual 4. Sebanyak 5 sampel air bawah tanah dan 2 sampel air sungai (keseluruhan sebanyak 14 sampel air) telah diambil dari kawasan kajian bagi setiap kitaran penanaman kenaf. Pengambilan sampel air bawah tanah dilakukan bertujuan memantau sekiranya berlaku resapan radionuklid tabii akibat penggunaan *Condisoil*® ke dalam air bawah tanah. Sampel air sungai pula dianalisis bertujuan untuk memantau sekiranya berlakunya pergerakan radionuklid tabii (akibat hujan) dari lokasi kajian ke dalam sungai berhampiran. Keputusan kajian mendapati kepekatan aktiviti radionuklid tabii berada dalam julat 0.3 - 0.9, 0.3 - 3.9, 1.4 - 11.6 Bq L^{-1} , masing-masing bagi ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K .

Walaupun kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K berbeza bagi setiap lokasi persampelan (BH1 hingga BH5), namun analisis statistik menunjukkan bahawa tiada perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) bagi kepekatan aktiviti radionuklid tabii dalam air untuk kedua-dua musim penanaman. Kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam air yang ditentukan dalam kajian ini juga adalah lebih rendah berbanding kajian yang dilakukan oleh Almayahi et al. (2012) di Semenanjung Malaysia.

Keputusan kajian ini menunjukkan bahawa tiada resapan radionuklid tabii akibat penggunaan *Condisoil*® ke dalam air bawah tanah sepanjang tempoh kajian dijalankan. Kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam air bawah tanah biasanya bergantung kepada jenis mineral daripada batuan akuifer dan jenis tanah (Ismail & Ibrahim 2016). Di samping itu, kadar resapan radionuklid tabii ke dalam air bawah tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tempoh masa resapan, jarak sumber air bawah tanah dengan permukaan, pH tanah, keliangan tanah dan kadar pengairan tanaman (La Torre & Silari 2015; Pulhani et al. 2007; Rafaella et al. 2015). Selain daripada itu, hasil analisis terhadap air sungai juga mendapati tidak berlaku pengumpulan (pelepasan) radionuklid tabii akibat penggunaan *Condisoil*® ke dalam air sungai. Berdasarkan keputusan yang diperolehi, penggunaan *Condisoil*® didapati tidak menyebabkan berlakunya pencemaran terhadap air bawah tanah dan air sungai sepanjang tempoh kajian dijalankan.

KEPEKATAN RADIONUKLID TABII DALAM TUMBUHAN

Perbandingan kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{40}K dalam tumbuhan kenaf yang diperolehi daripada kajian ini dengan beberapa jenis tumbuhan lain ditunjukkan dalam Jadual 5. Kepekatan aktiviti radionuklid tabii dalam tumbuhan kenaf didapati setara dengan kepekatan aktiviti dalam beberapa jenis tumbuhan yang dilaporkan dalam kajian lepas (Ali et al. 2016; Alsaffar et al. 2015; Aswood et al. 2013; Micheal et al. 2014; Priharti & Supian 2016; Shyamal et al. 2013). Walau bagaimanapun, setiap tumbuhan mempunyai mekanisme penyerapan yang berbeza. Beberapa faktor seperti parameter kinetik tumbuhan untuk menyerap radionuklid tertentu, kelakuan metabolik serta toleransi tumbuhan terhadap radionuklid akan mempengaruhi

JADUAL 4. Kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam sampel air bagi kedua-dua musim penanaman

Kitaran penanaman	ID sampel		Kepekatan aktiviti (Bq L ⁻¹)			
			^{226}Ra	^{228}Ra	^{40}K	
Musim pertama	BH-1	Julat	0.5 - 0.9	1.1 - 3.9	6.9 - 8.0	
		Purata	0.7 ± 0.3	2.5 ± 2.0	7.4 ± 0.8	
	BH-2	Julat	0.4 - 0.5	0.9 - 1.1	1.8 - 9.8	
		Purata	0.5 ± 0.1	1.0 ± 0.1	5.8 ± 5.6	
	BH-3	Julat	*LLD - 0.3	0.4 - 0.6	1.4 - 1.8	
		Purata	0.3 ± 0.0	0.5 ± 0.1	1.6 ± 0.3	
	BH-4	Julat	0.3 - 0.5	0.7 - 0.8	LLD - 7.2	
		Purata	0.4 ± 0.2	0.8 ± 0.1	3.4 ± 5.4	
	BH-5	Julat	LLD	0.3 - 0.6	3.3 - 5.1	
		Purata	DBL	0.5 ± 0.2	4.2 ± 1.3	
	Purata bagi sampel BH			0.4	1.1	4.5
	SW-1	Julat	LLD - 0.3	0.6 - 0.9	2.5 - 2.9	
		Purata	LLD	0.8 ± 0.2	2.7 ± 0.3	
	SW-2	Julat	0.3 - 0.7	1.3 - 1.8	2.9 - 6.5	
		Purata	0.5 ± 0.3	1.5 ± 0.4	4.7 ± 2.6	
Purata bagi sampel SW			0.4	1.2	3.7	
Musim kedua	BH-1	Julat	LLD - 0.3	1.6 - 3.2	6.5 - 11.6	
		Purata	0.2 ± 0.1	2.4 ± 1.1	9.0 ± 3.6	
	BH-2	Julat	0.3 - 0.4	0.6 - 2.3	7.6 - 8.0	
		Purata	0.3 ± 0.0	1.5 ± 1.2	7.8 ± 0.3	
	BH-3	Julat	0.3 - 0.4	0.9 - 1.7	2.2 - 3.6	
		Purata	0.4 ± 0.0	1.3 ± 0.5	2.9 ± 1.0	
	BH-4	Julat	0.4 - 0.6	1.8 - 2.0	5.4 - 5.8	
		Purata	0.5 ± 0.2	1.9 ± 0.1	5.6 ± 0.3	
	BH-5	Julat	LLD	0.7 - 1.1	2.2 - 5.8	
		Purata	0.1* ± 0.0	0.9 ± 0.3	4.0 ± 2.6	
	Purata bagi sampel BH				1.6	5.9
	SW-1	Julat	0.3 - 0.4	1.7 - 2.9	6.1 - 10.1	
		Purata	0.4 ± 0.0	2.3 ± 0.9	8.1 ± 2.8	
	SW-2	Julat	LLD	0.5 - 1.3	4.7 - 5.8	
		Purata	LLD	0.9 ± 0.6	5.2 ± 0.8	
Purata bagi sampel SW				1.5	6.6	
Analisis statistik (nilai p) bagi sampel BH			0.31	0.27	0.38	
Analisis statistik (nilai p) bagi sampel SW			1.00	0.62	0.24	
16 sampel air di Utara Semenanjung Malaysia (Almayahi et al. 2012)			0.9 - 7.0	0.6 - 8.6	53.0 - 222.0	
Air paip, air sungai, tasik di Seberang perai, Malaysia (Alnassar et al. 2017)			3.3 - 4.3	0.9 - 2.2	134.8 - 172.4	
Air minuman di Malaysia (Asaduzzaman et al. 2015)			0.02 - 0.09	0.02 - 0.08	1.7 - 8.8	

*LLD : Di bawah nilai had pengesanan terendah

pengambilan radionuklid oleh tumbuhan (Greger 2004). Selain itu, penggunaan baja juga mampu mempengaruhi kepekatan radionuklid tabii dalam tumbuhan. IAEA (2013) melaporkan kepekatan aktiviti bagi ^{226}Ra dalam baja boleh mencecah sehingga 450 Bq kg⁻¹.

Selain itu, kajian ini juga mendapati terdapat perbezaan yang signifikan ($p < 0.05$) terhadap kepekatan aktiviti ^{40}K dalam sampel kenaf kawalan dengan sampel kenaf yang ditanam di atas tanah yang menggunakan *Condisoil*®

pada musim kedua penanaman. Purata kepekatan aktiviti ^{40}K dalam sampel kenaf yang ditanam di atas tanah yang menggunakan *Condisoil*® ialah 111.7 ± 1.2 Bq/kg, berbanding hanya 44.8 ± 3.1 Bq/kg bagi sampel kawalan. Di samping itu, kepekatan aktiviti ^{40}K dalam sampel tumbuhan didapati lebih tinggi berbanding kepekatan aktiviti ^{40}K dalam sampel tanah. Ini menunjukkan bahawa pertambahan kepekatan aktiviti ^{40}K dalam tumbuhan kenaf bukanlah disebabkan oleh penggunaan *Condisoil*®.

JADUAL 5. Kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam tumbuhan kenaf

Kitaran penanaman	ID sampel		Kepekatan aktiviti (Bq kg ⁻¹)			
			^{226}Ra	^{228}Ra	^{40}K	
Musim pertama	K-kawalan	Julat	8.3 – 8.5	1.1 - 1.5	116.8 - 146.4	
		Purata	8.4 ± 0.1	1.3 ± 0.3	131.6 ± 20.9	
	K-Condi	Julat	10.2 - 18.5	0.3 - 0.7	192.9 - 321.8	
		Purata	10.6 ± 11.3	0.5 ± 0.3	257.3 ± 91.1	
	Analisis statistik ANOVA (nilai p)			0.19	0.10	0.20
	Musim kedua	K-kawalan	Julat	7.2 - 12.4	0.6 - 1.2	42.7 - 47.0
Purata			9.8 ± 3.7	0.9 ± 0.4	44.8 ± 3.1	
K-Condi		Julat	5.0 - 9.5	0.1 - 0.4	110.9 - 112.5	
		Purata	7.2 ± 3.2	0.2 ± 0.2	111.7 ± 1.2	
Analisis statistik ANOVA (nilai p)			0.54	0.16	0.001	
Sayur-sayuran (Malaysia) (Aswood et al. 2013)			1.3 – 7.8*	0.4 – 4.1**	-	
Sayur-sayuran (Malaysia) (Priharti & Supian 2016)			0.6 – 5.64	-	398.9 – 1072.6	
Jagung (Malaysia) (Micheal et al. 2014)			0.1 – 19.2	0.1 – 3.2	26.1 – 129.0	
Padi (Malaysia) (Alsaffar et al. 2015)			0.5 – 2.8	0.5 – 1.6	43.5 – 108.5	
Sayur-sayuran (Iraq) (Ali et al. 2016)			4.0 – 7.0*	2.2 – 10.6**	109.0 – 319.2	

Pertambahan kepekatan ^{40}K mungkin disebabkan oleh faktor luaran yang lain seperti penggunaan baja NPK (baja nitrogen-fosfor-kalium), pestisid atau herbisid. Walau bagaimanapun, kajian lanjut perlu dilakukan bagi mengenal pasti punca pertambahan kepekatan aktiviti ^{40}K dalam tumbuhan kenaf.

INDEKS BAHAYA RADIOLOGI DAN FAKTOR PEMINDAHAN RADIONUKLID

Indeks kesetaraan radium (Ra_{eq}) ialah indeks bahaya radiologi yang digunakan untuk menilai bahaya radiologi yang berpunca daripada radionuklid tabii dalam sesuatu bahan. Nilai indeks kesetaraan radium dan faktor pemindahan radionuklid daripada tanah ke tumbuhan ditunjukkan dalam Jadual 6. Keputusan kajian mendapati julat nilai Ra_{eq} bagi kedua-dua musim penanaman ialah 42.7 hingga 50.7 Bq kg⁻¹, iaitu jauh lebih rendah berbanding nilai had yang dicadangkan iaitu 370 Bq kg⁻¹ bagi tanah

(UNSCEAR 1982). Oleh itu, risiko bahaya radiologi akibat penggunaan *Condisoil*® boleh diabaikan dan bahan ini dianggap sesuai untuk digunakan dalam pertanian.

Selain daripada itu, julat faktor pemindahan ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K bagi kedua-dua musim penanaman masing-masing ialah 0.42 - 0.71, 0.01 - 0.08 dan 0.85 - 5.34. Keputusan kajian mendapati nilai faktor pemindahan radionuklid yang ditentukan dalam kajian ini adalah setara dengan nilai yang dilaporkan bagi pelbagai jenis tanaman dalam kajian terdahulu (Almayahi et al. 2014; Asaduzzaman et al. 2015; Gaffar et al. 2014; Saeed et al. 2011; Solehah et al. 2016). Perbezaan kecil nilai faktor pemindahan radionuklid bagi tumbuhan mungkin disebabkan oleh proses pengangkutan serta kapasiti penyerapan yang berbeza (Solehah et al. 2016). Perbezaan faktor pemindahan radionuklid juga dipengaruhi oleh jenis tanah, tekstur tanah, kandungan tanah liat, pH dan kandungan bahan organik (Carini & Bengtsson 2001).

JADUAL 6. Nilai indeks bahaya radiologi dan faktor pemindahan radionuklid dari tanah ke tumbuhan

Kitaran penanaman	ID sampel	Raeq (Bq/kg)	Faktor pemindahan (Tanah ke tumbuhan)		
			^{226}Ra	^{228}Ra	^{40}K
Musim pertama	T-kawalan	43.2	0.54	0.08	2.88
	T-condi	43.2	0.71	0.03	5.34
Musim kedua	T-kawalan	42.7	0.70	0.05	0.85
	T-condi	50.7	0.42	0.01	2.12
Padi di Malaysia (Saeed et al. 2011)		-	0.04 – 0.20	0.02 – 0.15	0.09 – 4.14
Padi di Malaysia (Asaduzzaman et al. 2015)		9.9 – 27.7	0.01 – 0.40	0.01 – 0.60	0.10 – 1.30
Sayur-sayuran di Malaysia (Solehah et al. 2016)		-	0.03 – 0.09	0.001 – 0.01	1.59 – 5.20
Tanah di Semenanjung Malaysia (Almayahi et al. 2014)		63.2 – 414.4	-	-	-
Sayur-sayuran di India (Gaffar et al. 2014)		-	0.08 – 0.93	0.15 – 0.56	1.27 – 3.7

KESIMPULAN

Sebanyak 4 sampel tanah, 14 sampel air dan 4 sampel tumbuhan kenaf (*Hibiscus cannabinus*) telah dianalisis dalam kajian ini bagi menilai impak radiologi penggunaan *Condisoil*® sebagai bahan penambahbaikan tanah dalam industri pertanian. Sampel tanah telah diambil menggunakan teknik persampelan komposit pada kawasan kajian. Keputusan kajian mendapati kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{40}K dalam sampel tanah yang menggunakan *Condisoil*® adalah jauh lebih rendah daripada nilai purata kepekatan aktiviti yang dilaporkan oleh UNSCEAR (2000). Kepekatan aktiviti radionuklid tabii yang ditentukan dalam kajian ini juga adalah setara dengan kepekatan aktiviti radionuklid tabii yang dilaporkan dalam kajian terdahulu. Keputusan analisis juga mendapati tidak berlaku pertambahan radionuklid tabii ke dalam tanah akibat penggunaan *Condisoil*® sepanjang tempoh kajian dijalankan.

Keputusan analisis ke atas sampel air mendapati tiada resapan radionuklid tabii akibat penggunaan *Condisoil*® ke dalam air bawah tanah sepanjang tempoh kajian dijalankan. Analisis terhadap air sungai juga mendapati tidak berlaku pengumpulan (pelepasan) radionuklid tabii akibat penggunaan *Condisoil*® ke dalam air sungai.

Penentuan kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{228}Ra , dan ^{40}K dalam tumbuhan kenaf mendapati nilainya adalah setara dengan kepekatan aktiviti dalam pelbagai jenis tumbuhan seperti yang dilaporkan dalam kajian yang terdahulu. Selain itu, kepekatan aktiviti ^{40}K dalam sampel tumbuhan didapati lebih tinggi berbanding kepekatan aktiviti ^{40}K dalam tanah. Ini menunjukkan terdapat faktor lain seperti penggunaan baja yang mungkin menyebabkan berlakunya pertambahan kepekatan aktiviti ^{40}K dalam tumbuhan kenaf. Sehubungan dengan itu, kajian lanjut perlu dijalankan bagi mengesahkan punca pertambahan ^{40}K dalam tumbuhan kenaf.

Penilaian indeks bahaya radiologi mendapati nilai indeks kesetaraan radium bagi semua sampel tanah berada di bawah nilai 370 Bq kg^{-1} , iaitu nilai had yang dicadangkan bagi memastikan sesuatu bahan itu selamat untuk digunakan. Walaupun penggunaan *Condisoil*® didapati tidak menyebabkan berlakunya pertambahan radionuklid tabii dalam alam sekitar, pemantauan terhadap kesan penggunaan *Condisoil*® perlu dilakukan secara berkala apabila ia dikomersilkan. Selain itu, *Condisoil*® juga perlu dihasilkan dengan homogen sebelum ia digunakan bagi mengelakkan berlakunya pertambahan radionuklid tabii ke dalam alam sekitar.

Sehubungan dengan itu, berdasarkan keputusan kajian ini, dapat disimpulkan bahawa penggunaan *Condisoil*® dalam penanaman tumbuhan kenaf (*Hibiscus cannabinus*) tidak menyebabkan pertambahan radionuklid tabii ke dalam alam sekitar serta tidak mendatangkan bahaya radiologi kepada manusia sepanjang tempoh kajian dijalankan.

PENGHARGAAN

Setinggi penghargaan kepada pihak Lynas Advanced Material Plant (LAMP) di atas geran penyelidikan ST-2017-012 dan ST-2017-014 serta kakitangan Pusat Penyelidikan Teknologi Nuklear, UKM yang memberikan bantuan sepanjang penyelidikan ini dijalankan.

RUJUKAN

- Ali, A.A., Heiyam, N.H. & Zahrah, B.M. 2016. Natural radioactivity levels in some vegetables and fruits commonly used in Najaf Governorate, Iraq. *Journal of Bioenergy and Food Science* 3: 113-123.
- Al-Areqi, W.M., Majid, A.A. & Sarmani, S. 2014. Thorium, uranium and rare earth elements content in lanthanide concentrate (LC) and water leach purification (WLP) residue of Lynas advanced materials plant (LAMP). *AIP Conference Proceedings* 1584, American Institute of Physics, Melville, NY. pp. 93-96.
- Almayahi, B., Tajuddin, A. & Jaafar, M. 2014. Measurement of natural radionuclides in human teeth and animal bones as markers of radiation exposure from soil in the Northern Malaysian peninsula. *Radiation Physics and Chemistry* 97: 55-67.
- Almayahi, B., Tajuddin, A. & Jaafar, M. 2012. Radiation hazard indices of soil and water samples in Northern Malaysian Peninsula. *Applied Radiation and Isotopes* 70: 2652- 2660.
- Alsaffar, M.S., Jaafar, M.S., Kabir, N.A. & Ahmad, N. 2015. Distribution of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in rice plant components and physico-chemical effects of soil on their transportation to grains. *Radiation Research and Applied Sciences* 8: 300-310.
- Alnassar, N.A., Jaafar, M.S. & Kabir, N.A. 2017. Determination of concentrations of natural radionuclides in soil and water in non-cultivated sites in Seberang Perai, Malaysia. *IOSR-JAP* 9(2): 27-35.
- Alzubaidi, G., Fauziah, B.S.H. & Rahman, I.A. 2016. Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards in agricultural and virgin soil in the State of Kedah, North of Malaysia. *The Scientific World Journal* 2016: Article ID 6178103.
- Aswood, M.S., Jaafar, M.S. & Sabar, B. 2013. Assessment of radionuclide transfer from soil to vegetables in farms from Cameron Highlands and Penang. (Malaysia) using neutron activation analysis. *Applied Physics Research* 5(5): 85-92.
- Asaduzzaman, K., Khandaker, M.U., Amin, Y.M. & Mahat, R. 2015. Uptake and distribution of natural radioactivity in rice from soil in north and west part of Peninsular Malaysia for estimation of ingestion dose to man. *Annals of Nuclear Energy* 76: 85-93.
- Asaduzzaman, K., Mannan, F., Khandaker, M.U., Farook, M.S., Elkezza, A., Amin, Y.M. & Sharma, S. 2015. Natural radioactivity levels in commercialized bottled drinking water and their radiological quality assessment. *Desalination and Water Treatment* 57: 11999-12009.
- Aznan, F.I., Amran, A.M., Yasir, M.S., Redzuwan, Y. & Bahari, I. 2009. Hazard radiologi radionuklid tabii dalam simen Portland Semenanjung Malaysia. *Sains Malaysiana* 38(3): 407-411.
- Aznan, F.I., Amran, A.M., Yasir, M.S., Redzuwan, Y. & Bahari, I. 2010. Penilaian risiko radiologi bahan binaan konkrit di Semenanjung Malaysia. *Sains Malaysiana* 39(4): 607-613.

- Beretka, J. & Matthew, P.J. 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial waste and by products. *Health Physics* 48: 87-95.
- Carini, F. & Bengtsson, G. 2001. Post-deposition transport of radionuclides in fruit. *Journal of Environmental Radioactivity* 55(2-3): 215-236.
- Gaffar, S., Ferdous, M.J., Begum, A. & Ullah, S.M. 2014. Transfer of natural radionuclides from soil to plants in North Western Parts of Dhaka. *Malaysian Journal of Soil Science* 18: 61-64.
- Greger, M. 2004. Technical report TR-04-14: Uptake of nuclides by plants. SKB, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management.
- Hamzah, Z., Siti, A.A.R. & Saat, A. 2011. Measurement of ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K in soil in district of Kuala Krai using gamma spectrometry. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 15(2): 159-166.
- IAEA. 2013. Safety report Series No. 78. *Radiation Protection and Management of NORM Residues in the Phosphate Industry*. Vienna: IAEA.
- IAEA. 2010. Technical Report No. 472. *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environment*. Vienna: IAEA.
- IAEA. 1989. Technical Report No. 295. *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment*. Vienna: IAEA.
- Ismail, N.F. & Ibrahim, N. 2016. Natural radioactivity in groundwater and soils in Johor, Malaysia ARP. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 11(18): 10935-11039.
- La Torre, F.P. & Silari, M. 2015. Leaching of radionuclide from activated soil into groundwater. *Environmental Radioactivity* 143: 7-13.
- Majid, A.A., Aznan, F.I., Yasir, M.S., Redzuwan, Y. & Bahari, I. 2013. Radiological dose assessment of naturally occurring radioactive materials in concrete building materials. *Radiological Nuclear Chemistry* 297: 277- 284.
- Markkanen, M. 2001. Challenges in harmonising controls on the radioactivity of building materials within the European Union. *The Science of the Total Environment* 272: 3-7.
- Masitah, A., Zaini, H. & Saat, A. 2005. Determination of ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K in soil from jengka-15 oil palm plantation. *Journal of Analytical Sciences* 9(1): 126-132.
- Masitah, A., Zaini, H., Ahmad, S., Muhamat, O., W. Mohamad, W.A.K. & M. Rafi, M.S. 2004. Level of naturally occurring radioactive material, k-40 in oil palm's cultivated soil. *Journal of Nuclear and Related Technologies* 1(2): 1-11.
- Michael, A.O., Onosohwo, B.U., Mayeen, U.K., Amin, Y.M. & Faruq, G. 2014. Radiological study on newly developed composite corn advance lines in Malaysia. *Physica Scripta* 89: 125002.
- NEA-OECD. 1979. *Exposure to Radiation from Natural Radioactivity in Building Materials*. Report by NAE Group Expert, OECD: Paris.
- Priharti, W. & Supian, S. 2016. Radiological risk assessment from the intake of vegetables and fruits in Malaysia. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 20(6): 1247-1253.
- Pulhani, V.A., Dafauti, S. & Hegde, A.G. 2007. Leaching of uranium, radium and thorium from vertisol by ground water. *Radiological Nuclear Chemistry* 274: 341-343.
- Raffaella, T., Ricardo, L. & Mario, D.S. 2015. Radionuclide transport in shallow groundwater. *Progress in Nuclear Energy* 85: 277-290.
- RIA. 2011. *Radiological Impact Assessment of Lynas Advanced Materials Plant 2011: Executive Summary, Rev. 4, November (2011)*.
- Saeed, M.A., Siti, S.Y., Hossain, I., Ahmed, R., Hewa, Y.A., Shahid, M. & Ramli, A.T. 2011. Soil to rice transfer factor of the natural radionuclides in Malaysia. *Romanian Journal of Physics* 57: 1414-1424.
- SA-EPA. 2005. *EPA Guidelines: Composite Soil Sampling in Site Contamination Assessment and Management*. Government of South Australia.
- Shyamal, R.C., Rezaul, A., Rezaul, R.A.K.M. & Rashmi, S. 2013. Radioactivity concentrations in soil and transfer factors of radionuclides from soil to grass and plants in the Chittagong City of Bangladesh. *Journal of Physical Science* 24(1): 95-113.
- Solehah, A.R., Yasir, M.S. & Samat, S.B. 2016. Activity concentration, transfer factors and resultant radiological risk of ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K in soil and some vegetables consumed in Selangor, Malaysia. *AIP Conference Proceedings* 1784: 040016.
- Tawalbeh, A.A., Samat, S.B. & Yasir, M.S. 2013. Radionuclides level and its radiation hazard index in some drinks consumed in the central zone of Malaysia. *Sains Malaysiana* 42(3): 319-323.
- UNSCEAR. 2000. *Exposures from Natural Radiation Sources*. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to General Assembly, With Annexes. United Nations, New York.
- UNSCEAR. 1982. *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects*. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with annexes. New York: United Nations.
- US-EPA, 2002. *EPA QA/G-5S: Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Aznan Fazli Ismail*
Pusat Penyelidikan Teknologi Nuklear
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia
- Aznan Fazli Ismail* & Khairiah Rosli
Program Sains Nuklear
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia
- Wan Mohd Razi Idris & Sahibin Abd. Rahim
Pusat Pengajian Sains Sekitaran & Sumber Alam
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: aznan@ukm.edu.my

Diserahkan: 5 September 2017

Diterima: 27 November 2017