

Penilaian Kepekatan Aktiviti Radionuklid Tabii ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dalam Makanan di Kawasan Tengah Malaysia (Evaluation of Natural Radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K Activity Concentration in Food at the Central Area of Malaysia)

W. PRIHARTI & S.B. SAMAT*

ABSTRAK

Tujuan kajian ini adalah untuk menilai kepekatan aktiviti radionuklid tabii (^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K) dalam makanan asas, sayur-sayuran, buah-buahan dan lauk-pauk di kawasan tengah Malaysia. Kepekatan aktiviti purata (Bq/kg) diukur menggunakan spektrometer gama berketulenan tinggi (HPGe). Tiga radionuklid ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K masing-masing memberikan keputusan 0.64 ± 0.17 , 1.23 ± 0.14 dan 96.61 ± 1.87 (bagi sampel makanan asas); 2.07 ± 0.31 , 2.12 ± 0.24 dan 791.51 ± 3.66 (bagi sampel sayur-sayuran); 2.44 ± 0.34 , 1.54 ± 0.25 dan 288.63 ± 2.83 (bagi sampel buah-buahan) dan 0.72 ± 0.25 , 0.80 ± 0.25 dan 195.67 ± 2.54 (bagi sampel lauk-pauk). Keputusan kajian ini didapati berada di dalam julat keputusan kajian terdahulu sekaligus menunjukkan kepekatan aktiviti purata ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K berada pada aras yang selamat dan dapat diterima.

Kata kunci: HPGe; kepekatan aktiviti; makanan; Malaysia; radionuklid semula jadi

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the natural radionuclide activity concentration (^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K) in staple food, vegetables, fruits and dishes at the central area of Malaysia. The average activity concentration (Bq/kg) was measured using high purity germanium detector (HPGe). The average activity concentration of three radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K , respectively, were 0.64 ± 0.17 , 1.23 ± 0.14 and 96.61 ± 1.87 (for staple food samples); 2.07 ± 0.31 , 2.12 ± 0.24 and 791.51 ± 3.66 (for vegetable samples); 2.44 ± 0.34 , 1.54 ± 0.25 and 288.63 ± 2.83 (for fruit samples) and 0.72 ± 0.25 , 0.80 ± 0.25 and 195.67 ± 2.54 (for dish samples). The results of this study were found to be lied within the range of the previous results hence it showed that the average activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K were in the safe limit and can be accepted.

Keywords: Activity concentration; food; HPGe; Malaysia; natural radionuclide

PENGENALAN

Manusia terdedah kepada sinaran mengion sebanyak 3.01 mSv setiap tahun. Sebanyak 79.73% daripada bilangan ini disumbangkan oleh sumber tabii (2.4 mSv/tahun) dan baki 20.27% oleh sumber buatan manusia (IAEA 2004). Daripada fakta ini, jelas bahawa sumber tabii merupakan penyumbang terbesar terhadap dos berkesan tahunan yang terdedah kepada manusia.

Sumber tabii dan dos berkesan tahunan yang dilaporkan oleh UNSCEAR (2000) adalah seperti berikut: sinaran kosmik (0.39 mSv/tahun), sinaran daratan (0.48 mSv/tahun), pendedahan daripada penyedutan udara (1.26 mSv/tahun) dan pendedahan daripada pengambilan makanan (0.29 mSv/tahun). Pendedahan daripada pengambilan makanan pula dilaporkan berasal daripada dos yang disumbangkan oleh radionuklid tabii siri ^{238}U dan ^{232}Th (0.12 mSv/tahun) dan ^{40}K (0.17 mSv/tahun). Oleh kerana dos berkesan tahunan daripada pengambilan makanan dipengaruhi oleh kepekatan aktiviti radionuklid yang terkandung di dalam makanan (Khan 2013), maka

penilaian kepekatan aktiviti radionuklid dalam makanan ini adalah penting dilakukan.

Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM 1999) telah membahagikan makanan kepada enam kategori iaitu makanan asas, sayur-sayuran, buah-buahan, lauk-pauk, air dan susu. Kajian terdahulu di peringkat antarabangsa telah melaporkan julat kepekatan aktiviti radionuklid ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K (dalam Bq/kg) untuk enam kategori makanan ini sebagai berikut: Makanan asas (0.003-30.10, 0.067-4.720, 25.99-1313.95); sayur-sayuran (0.049-25.36, 0.001-48.80, 48.15-1190.45); buah-buahan (0.009-80.95, 0.001-83.53, 20.94-1691.00); lauk-pauk (0.007-67.98, 0.001-86.52, 81.60-647.54); air (0.022-0.440, 0.005-0.870, 0.11-24.50) dan susu (0.001-12.35, 0.006-9.640, 34.35-577.50). Rujukan dan negara tempat kajian-kajian ini dilakukan ditunjukkan oleh jadual di dalam kertas kerja ini.

Pengarang telah melaporkan keputusan kepekatan aktiviti radionuklid tabii untuk dua kategori makanan di atas, iaitu susu dan air (Priharti et al. 2016, 2015). Kajian ini bertujuan untuk menilai kepekatan aktiviti bagi baki empat

kategori makanan iaitu makanan asas, sayur-sayuran, buah-buahan dan lauk-pauk bagi melengkapkan kajian pengarang terdahulu. Kawasan persampelan makanan masih sama, iaitu kawasan tengah Malaysia.

BAHAN DAN KAEDAH

Jenis sampel daripada empat kategori makanan yang dikaji ditunjukkan pada Jadual 1. Kesemua sampel ini diperolehi sepanjang tempoh April 2014 hingga Mac 2015. Sampel diambil dari beberapa pasar dan pasaraya besar di kawasan tengah Malaysia iaitu Selangor, Putrajaya dan Kuala Lumpur. Pasar dan pasaraya besar ini dipilih dengan anggapan bahawa sampel yang berada di tempat ini juga dapat dijumpai di negeri lain di Malaysia. Jumlah penduduk pelbagai etnik yang ramai di ketiga-tiga kawasan ini juga merupakan justifikasi pemilihan kawasan agar hasil yang diperolehi daripada kajian ini juga dapat mewakili keseluruhan penduduk Malaysia.

Penyediaan sampel bagi tujuan pengukuran perlu menyamai bentuk sampel piawai yang ada, iaitu sampel silika berbentuk serbuk. Prosedur untuk mendapatkan serbuk daripada sampel pepejal seperti yang dilaporkan oleh IAEA (1989) digunakan. Mula-mula, setiap sampel dibasuh dan dipotong-potong terlebih dahulu. Bahagian yang tidak diperlukan seperti kulit (untuk buah-buahan) dan tulang (untuk daging, ayam dan ikan) dibuang. Sampel kemudian dikeringkan di dalam relau (WTC Binder) pada suhu 80°C selama 48 jam atau sehingga jisim sampel mencapai keadaan malar. Sampel yang telah kering ini kemudian dijadikan serbuk menggunakan lesung dan alu. Untuk mendapatkan serbuk sampel yang lebih homogen, alat pengisar digunakan. Sampel serbuk ini kemudian disimpan selama 30 hari (untuk mencapai keseimbangan sekuler) dalam bekas polietilena bertutup rapat setinggi 4 cm (mengikut ketinggian sampel piawai). Bagi setiap jenis sampel, sebanyak tiga sampel disediakan bertujuan untuk mendapatkan nilai purata kepekatan aktiviti. Ini bermakna, sebanyak 72 sampel (= 24 jenis × 3 sampel) telah disediakan untuk empat kategori makanan ini.

Kepekatan aktiviti diperolehi dengan mengukur bilangan yang direkodkan oleh pengesan spektrometer gama berketulunan tinggi (HPGe). Spesifikasi spektrometer ini telah diuraikan dalam kertas kerja terdahulu (Samat & Priharti 2015). Pengukuran bilangan dilakukan dalam tempoh 12 jam. Bilangan ini dihasilkan daripada garis tenaga yang dipancarkan secara langsung oleh radionuklid berkaitan (bagi ^{40}K) ataupun oleh anak radionuklid (bagi ^{226}Ra dan ^{232}Th). Garis tenaga yang digunakan adalah 352 dan 609 keV untuk ^{226}Ra ; 239, 583 dan 911 keV untuk ^{232}Th ; dan 1460 keV untuk ^{40}K (Tawalbeh et al. 2013). Persamaan yang digunakan untuk mengira kepekatan aktiviti diberikan oleh IAEA (1989). Had pengesanan kepekatan aktiviti (MDA) dikira menggunakan persamaan yang diberikan oleh Currie (1968). Had pengesanan dalam kajian ini adalah 0.30, 0.40 dan 2.88 Bq/kg masing-masing untuk ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K .

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Keputusan kepekatan aktiviti tiga radionuklid ^{226}Ra , ^{40}K dan ^{232}Th yang diperolehi untuk empat kategori sampel makanan iaitu makanan asas, sayur-sayuran, buah-buahan dan lauk-pauk masing-masing ditunjukkan oleh Rajah 1 - 4. Pada setiap rajah, kepekatan aktiviti purata setiap radionuklid (daripada setiap jenis sampel) juga ditunjukkan. Daripada rajah ini, nilai sebenar kepekatan aktiviti purata tidak jelas kelihatan. Oleh itu, nilai sebenar purata kepekatan aktiviti ini diberikan pada Jadual 2 beserta dengan julat.

Empat kategori sampel makanan yang ditunjukkan oleh Rajah 1 - 4 mengandungi 24 jenis sampel. Daripada 24 jenis sampel ini, 20 sampel berasal daripada sumber asas tumbuhan dan 4 sampel daripada sumber asas haiwan (seperti yang ditunjukkan pada Jadual 1). Dapat dilihat, untuk keempat-empat rajah ini, kepekatan aktiviti ^{40}K sentiasa lebih besar daripada kepekatan ^{226}Ra dan ^{232}Th . Ini jelas ditunjukkan pada skala kanan kesemua rajah ini. Kepekatan aktiviti ^{40}K tertinggi ini terjadi kerana sumber

JADUAL 1. Jenis sampel dari empat kategori makanan yang dikaji

Kategori	Jenis Sampel	Kategori	Jenis Sampel
Makanan asas	Nasi ¹	Buah-buahan	Epal ¹
	Roti ¹		Pisang ¹
	Mihun ¹		Limau ¹
	Mi kuning ¹		Pear ¹
	Ubi kentang ¹		Betik ¹
	Ubi keledek ¹		Mangga ¹
Sayur-sayuran	Bayam ¹	Lauk-pauk	Daging ²
	Lobak merah ¹		Ayam ²
	Brokoli ¹		Ikan ²
	Labu ¹		Telur ²
	Tomato ¹		Tauhu ¹
	Timun ¹		Tempe ¹

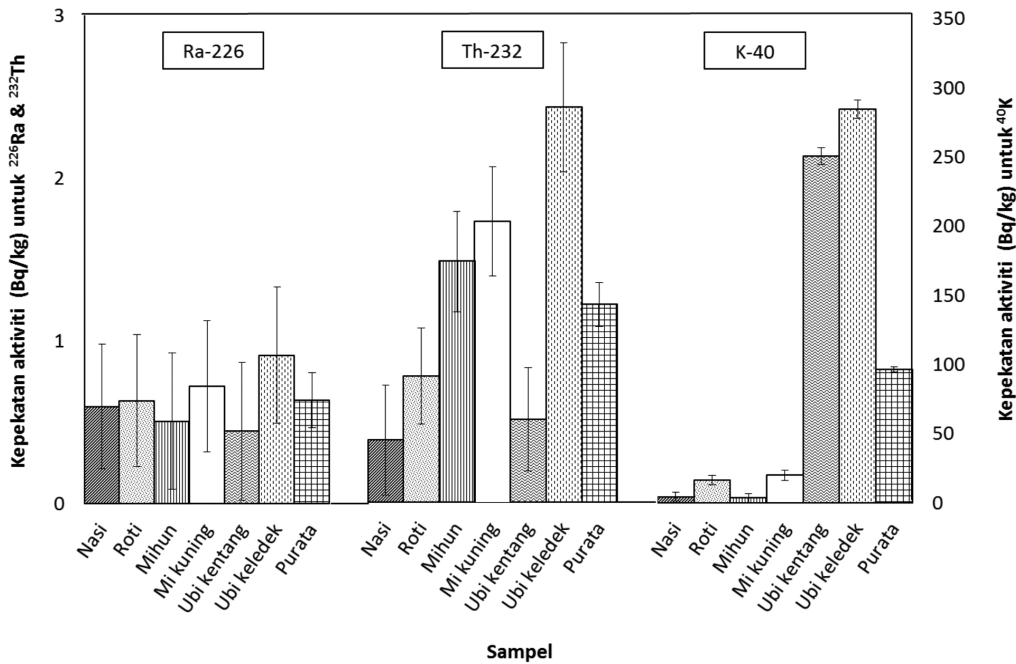
¹Berasal dari sumber asas tumbuhan

²Berasal dari sumber asas haiwan

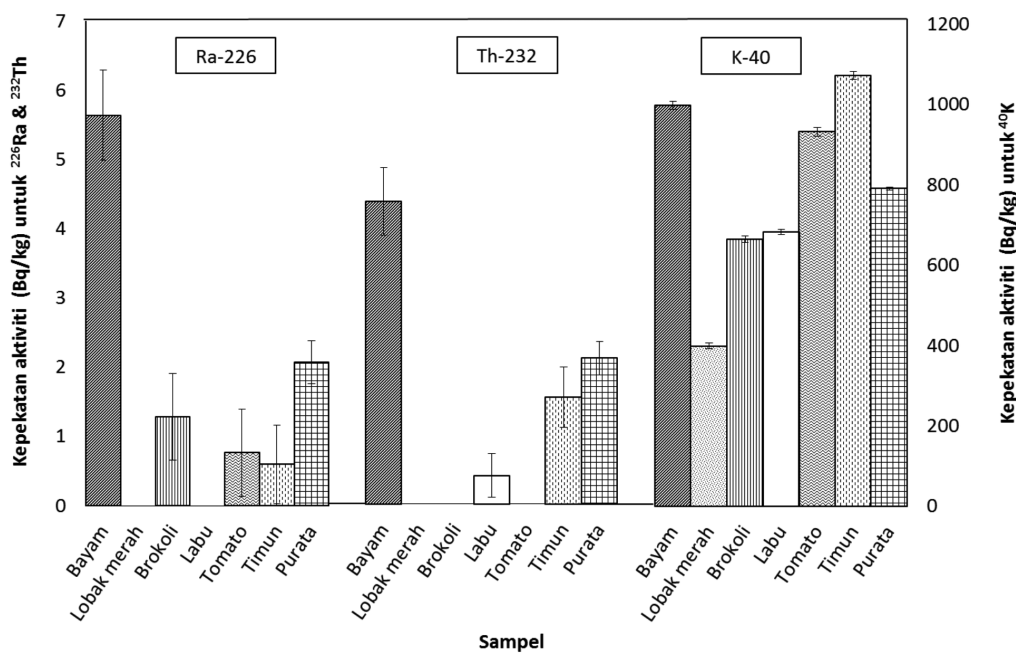
asad makanan (daripada tumbuhan dan haiwan) lebih menyerap potassium semula jadi (Addo et al. 2013) dan potassium ini pula mengandungi 0.012% radionuklid ⁴⁰K.

Kepekatan aktiviti tiga radionuklid bagi enam sampel daripada jenis makanan asas ditunjukkan pada Rajah 1. Didapati kepekatan aktiviti tertinggi radionuklid ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K direkodkan oleh ubi keledek sahaja dengan nilai masing-masing 0.91 ± 0.42 , 2.44 ± 0.40 dan 284.60 ± 6.53 Bq/kg. Kepekatan aktiviti terendah radionuklid ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K pula direkodkan oleh ubi kentang

(0.45 ± 0.42 Bq/kg), nasi (0.39 ± 0.34 Bq/kg) dan mihun (3.57 ± 3.24 Bq/kg). Didapati sampel yang berasal daripada beras (nasi dan mihun) mempunyai kepekatan aktiviti yang lebih rendah berbanding sampel yang berasal daripada gandum (roti dan mi kuning) dan juga ubi-ubian (ubi kentang dan keledek). Hal ini disokong oleh keputusan serupa yang dilaporkan oleh Shanti et al. (2009). Kepekatan aktiviti yang tinggi pada ubi keledek mungkin dipengaruhi oleh radionuklid daratan yang banyak terdapat di dalam tanah.



RAJAH 1. Kepekatan aktiviti ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K bagi sampel makanan asas



RAJAH 2. Kepekatan aktiviti ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K bagi sampel sayur-sayuran

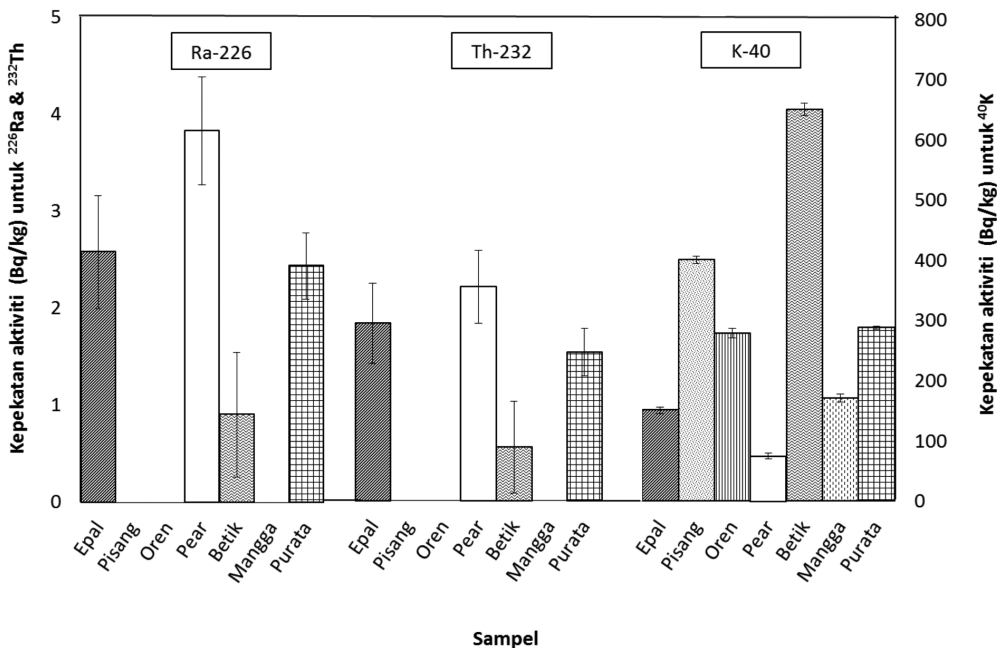
Rajah 2 menunjukkan keputusan kepekatan aktiviti tiga radionuklid bagi enam sampel sayur-sayuran. Daripada rajah ini didapati, kepekatan radionuklid ^{226}Ra dan ^{232}Th tertinggi direkodkan oleh bayam (sayuran berdaun) dengan nilai masing-masing 5.64 ± 0.65 dan 4.40 ± 0.49 Bq/kg. Untuk ^{40}K , walaupun bayam merekodkan kepekatan kedua tertinggi (998.04 ± 9.13 Bq/kg), secara keseluruhannya bayam merupakan penyerap tertinggi ketiga radionuklid ini. Kepekatan aktiviti radionuklid yang tinggi pada sayuran berdaun (seperti bayam ini) mungkin berlaku kerana radionuklid lebih banyak terkumpul pada daun dibandingkan dengan akar (Badran et al. 2003). Ini bermakna bahawa daun boleh menyimpan hampir semua radionuklid yang disalurkan melalui akar dari tanah (Chibowski et al. 2000). Pernyataan ini disokong oleh keputusan kajian ini iaitu kepekatan aktiviti radionuklid ^{40}K terendah direkodkan pada lobak merah (sayuran berakar) dengan nilai 398.85 ± 6.89 Bq/kg, sedangkan kepekatan aktiviti ^{226}Ra dan ^{232}Th tidak dapat dikesan.

Keputusan kepekatan aktiviti radionuklid ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K bagi enam sampel buah-buahan pula ditunjukkan pada Rajah 3. Didapati dari rajah ini, kepekatan aktiviti tertinggi ^{226}Ra dan ^{232}Th direkodkan oleh pir dengan nilai masing-masing 3.83 ± 0.56 dan 2.22 ± 0.38 Bq/kg. Manakala kepekatan aktiviti tertinggi ^{40}K direkodkan oleh betik dengan nilai 651.64 ± 9.75 Bq/kg. Untuk kepekatan aktiviti terendah pula, betik merekodkan nilai 0.90 ± 0.64 Bq/kg untuk ^{226}Ra dan 0.56 ± 0.48 Bq/kg untuk ^{232}Th dan pir merekodkan nilai 75.39 ± 4.78 Bq/kg untuk ^{40}K . Menurut Carini (2000), perbezaan kepekatan aktiviti antara beberapa jenis buah-buahan ini dapat berlaku kerana beberapa faktor iaitu (a) pemendapan radionuklid secara langsung pada kulit buah seterusnya

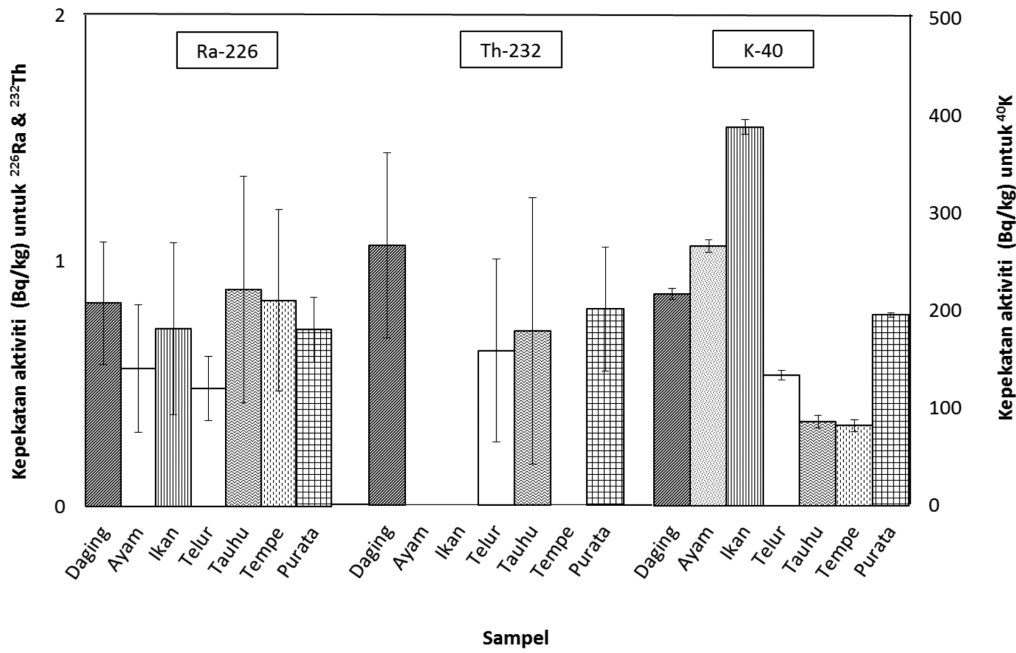
dipindahkan kepada isi buah; (b) pemendapan radionuklid pada bahagian atas tanaman (daun dan batang) seterusnya dipindahkan kepada isi buah dan (c) pemendapan radionuklid pada akar seterusnya disalurkan kepada isi buah. Pemendapan ini pula bergantung kepada jenis radionuklid, jenis tanaman, tahap pertumbuhan dan juga musim semasa pemendapan berlaku.

Rajah 4 memaparkan keputusan kepekatan aktiviti bagi enam sampel lauk-pauk. Daripada rajah ini didapati kepekatan aktiviti tertinggi radionuklid ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K masing-masing direkodkan oleh tauhu (0.88 ± 0.76 Bq/kg), daging (1.06 ± 0.38 Bq/kg) dan ikan (388.52 ± 7.52 Bq/kg). Manakala kepekatan aktiviti terendah radionuklid ^{226}Ra (0.48 ± 0.53 Bq/kg) dan ^{232}Th (0.63 ± 0.37 Bq/kg) direkodkan oleh telur dan ^{40}K (82.02 ± 5.87 Bq/kg) oleh tempe. Untuk ^{226}Ra , didapati taburan nilai kepekatan aktiviti hampir sama pada kesemua enam sampel, manakala untuk ^{232}Th , tiga sampel (ayam, ikan dan tempe) didapati tidak merekodkan bilangan kepekatan aktiviti. Untuk ^{40}K pula, didapati sampel yang berasal daripada sumber asas haiwan (terutama ikan) merekodkan nilai kepekatan aktiviti lebih tinggi berbanding sumber yang berasal daripada tumbuhan. Tingginya kepekatan aktiviti pada ikan ini mungkin disebabkan oleh pencemaran lautan yang semakin meningkat kerana perkembangan industri yang semakin pesat di negara ini (Khandaker et al. 2013).

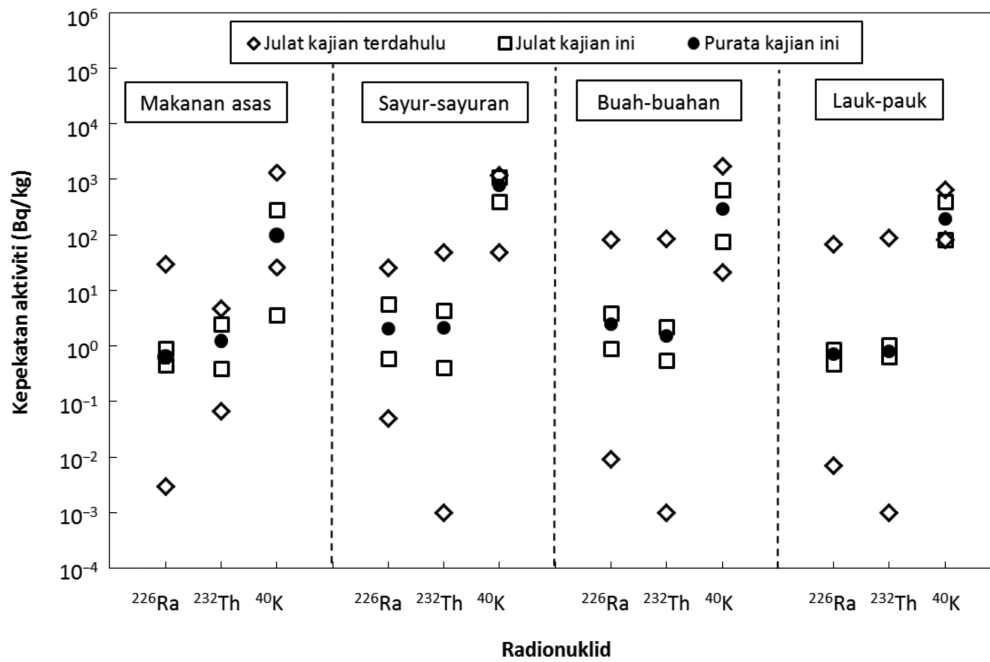
Keputusan pengukuran kepekatan aktiviti tiga radionuklid daripada empat kategori makanan dapat dibandingkan dengan nilai keputusan yang diperoleh oleh penyelidik lain (di dalam dan di luar negara). Untuk tujuan ini, nilai purata dan julat kepekatan aktiviti untuk setiap radionuklid digunakan. Jadual 2 dan Rajah 5



RAJAH 3. Kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K bagi sampel buah-buahan



RAJAH 4. Kepekatan aktiviti ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K bagi sampel lauk-pauk



RAJAH 5. Perbandingan keputusan julat dan purata kepekatan aktiviti ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K bagi empat kategori makanan terhadap keputusan kajian terdahulu

membandingkan keputusan penyelidik terdahulu dengan nilai purata dan julat keputusan kajian ini, masing-masing secara angka dan visual. Daripada jadual dan rajah ini didapati bahawa untuk empat kategori makanan, julat dan purata kepekatan aktiviti kajian ini berada di dalam julat kajian terdahulu.

Trend kepekatan aktiviti berikut diperhatikan pada Rajah 5 iaitu untuk ²²⁶Ra: buah-buahan > sayur-sayuran >

lauk pauk > makanan asas; untuk ²³²Th: sayur-sayuran > buah-buahan > makanan asas > lauk-pauk dan untuk ⁴⁰K: sayur-sayuran > buah-buahan > lauk-pauk > makanan asas. Trend seperti ini juga dapat diperhatikan pada keputusan yang diperoleh oleh penyelidik lain. Secara keseluruhannya, keputusan yang diperoleh daripada kajian ini bersetuju dengan keputusan yang dilakukan oleh penyelidik lain sebelum ini.

JADUAL 2. Perbandingan keputusan kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K hasil kajian ini dengan kajian luar negara dan Malaysia bagi empat kategori makanan

Kategori makanan	Kepekatan aktiviti, $A \pm \Delta A$ (Bq/kg)			Negara	Rujukan
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K		
Makanan asas	0.105	0.360	58.63	Iran	Hosseini et al. (2006)
	–	0.790	25.99	Mesir	Saleh et al. (2007)
	0.022	0.067	–	China	Quan et al. (2008)
	0.003	0.166	–	Korea	Choi et al. (2008)
	30.13	4.720	261.33	India	Shantia et al. (2009)
	0.025	0.028	1313.95	Jordan	Tawalbeh et al. (2011)
	0.620	0.480	48.60	Kuwait	Alrefae et al. (2013)
	4.420	3.000	144.10	Itali	Desideri et al. (2014)
	7.00	–	554.00	Thailand	Kranrod et al. (2015)
	0.021	0.046	85.07	Malaysia	Saeed et al. (2011)
	0.970	0.920	50.74	Malaysia	Tawalbeh (2013)
	0.003–30.10	0.067–4.720	25.99–1313.95	–	Julat kajian terdahulu
	0.45–0.91	0.39–2.44	3.57–284.60	Malaysia	Julat kajian ini
0.64 ± 0.17	1.23 ± 0.14	96.61 ± 1.87		Purata kajian ini	
Sayur-sayuran	0.180	0.200	–	Iran	Hosseini et al. (2006)
	1.000	–	–	Mesir	Saleh et al. (2007)
	0.075	0.012	–	China	Quan et al. (2008)
	0.049	0.001	–	Korea	Choi et al. (2008)
	0.510	1.330	48.15	India	Shanti et al. (2009)
	2.400	1.900	116.04	India	Khandaker et al. (2012)
	2.600	2.920	–	Itali	Desideri et al. (2014)
	7.670	20.24	68.39	Indonesia	Syarbaini et al. (2014)
	12.00	–	570.00	Thailand	Kranrod et al. (2015)
	0.281	0.126	114.65	Mesir	Harb (2015)
	2.660	0.710	–	Malaysia	Aswood et al. (2013)
	1.950	1.220	1190.45	Malaysia	Tawalbeh (2013)
	25.36	48.80	1017.94	Malaysia	Saeed et al. (2014)
0.049–25.36	0.001–48.80	48.15–1190.45	–	Julat kajian terdahulu	
0.60–5.64	0.41–4.40	398.85–1072.59	Malaysia	Julat kajian ini	
2.07 ± 0.31	2.12 ± 0.24	791.51 ± 3.66		Purata kajian ini	
Buah-buahan	0.740	–	42.00	Mesir	Saleh et al. (2007)
	0.027	0.001	–	China	Quan et al. (2008)
	0.009	0.001	20.94	Korea	Choi et al. (2008)
	0.460	1.620	69.88	India	Shanti et al. (2009)
	1.300	1.560	111.00	Itali	Desideri et al. (2014)
	80.95	83.53	1691.00	Bangladesh	Islam et al. (2014)
	8.150	32.30	75.55	Indonesia	Syarbaini et al. (2014)
	3.00	–	486.00	Thailand	Kranrod et al. (2015)
	0.116	0.068	79.98	Mesir	Harb (2015)
	1.610	1.220	439.53	Malaysia	Tawalbeh (2013)
	0.009–80.95	0.001–83.53	20.94–1691.00	–	Julat kajian terdahulu
	0.90–3.83	0.56–2.22	75.39–651.64	Malaysia	Julat kajian ini
	2.44 ± 0.34	1.54 ± 0.25	288.63 ± 2.83		Purata kajian ini
Lauk-pauk	0.274	0.142	89.80	Iran	Hosseini et al. (2006)
	1.420	–	181.94	Mesir	Saleh et al. (2007)
	0.007	0.093	–	China	Quan et al. (2008)
	0.032	0.001	81.60	Korea	Choi et al. (2008)
	67.98	86.52	647.54	Nigeria	Ademola (2014)
	1.090	1.130	221.76	Malaysia	Tawalbeh (2013)
	0.007–67.98	0.001–86.52	81.60–647.54	–	Julat kajian terdahulu
	0.48–0.88	0.63–1.06	82.02–388.52	Malaysia	Julat kajian ini
	0.72 ± 0.25	0.80 ± 0.25	195.67 ± 2.54		Purata kajian ini

KESIMPULAN

Kepekatan aktiviti tiga radionuklid tabii ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dalam empat kategori makanan iaitu makanan asas, sayur-sayuran, buah-buahan, lauk-pauk telah dikaji. Didapati keputusan kepekatan aktiviti empat kategori makanan ini bersetuju dengan keputusan yang dilaporkan oleh penyelidik di 12 negara luar dan Malaysia dari tahun 2006-2015.

RUJUKAN

- Addo, M.A., Darko, E.O., Gordon, C. & Nyarko, B.J.B. 2013. A preliminary study of natural radioactivity ingestion from cassava grown and consumed by inhabitants around a cement production facility in the Volta region, Ghana. *International Journal of Environmental Sciences* 3(6): 2312-2323.
- Badran, H.M., Sharshar, T. & Elnimer, T. 2003. Levels of ^{137}Cs and ^{40}K in edible parts of some vegetables consumed in Egypt. *Journal of Environmental Radioactivity* 67(3): 181-190
- Carini, F. 2000. Uptake of radionuclides by fruits. *Radiation Protection Dosimetry* 92(1-3): 39-44.
- Chibowski, S. 2000. Studies of radioactive contaminations and heavy metal contents in vegetables and fruit from Lublin, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* 9(4): 249-253.
- Currie, L.A. 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Analytical Chemistry* 40(3): 586-693.
- IAEA. 2004. *Radiation, People and the Environment: A Broad View of Ionising Radiation, Its Effects and Uses as well as the Measures in Place to it Safely*. Vienna: IAEA.
- IAEA. 1989. *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment: A Guidebook*. Technical Reports No. 295. Vienna: IAEA.
- Khan, H., Chaudhry, Z., Ismail, M. & Khan, K. 2010. Assessment of radionuclides, trace metals and radionuclide transfer from soil to food of Jhangar Valley (Pakistan) using gamma-ray spectrometry. *Water, Air, & Soil Pollution* 213(1-4): 353-362.
- Khandaker, M.U., Norfadira Binti Wahib, Yusoff Mohd. Amin & Bradley, D.A. 2013. Committed effective dose from naturally occurring radionuclides in shellfish. *Radiation Physics and Chemistry* 88: 1-6.
- KKM. 1999. *Malaysian Dietary Guidelines*. Putrajaya: Ministry of Health Malaysia.
- Priharti, W., Samat, S.B., Yasir, M.S. & Garba, N.N. 2016. Assessment of radiation hazard indices arising from natural radionuclides content of powdered milk in Malaysia. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 307: 297-303.
- Priharti, W., Samat, S.B. & Yasir, M.S. 2015. Measurement of natural radionuclides in Malaysian bottled mineral water and consequent health risk estimation. *AIP Proceeding* 1678: 1-5.
- Saleh, Ibrahim H., Hafez, Abdelfatah F., Elanany, Nadia H., Motaweh, Hussein A. & Naim, Mohammed A. 2007. Radiological study on soils, foodstuff and fertilizers in the Alexandria region, Egypt. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* 31: 9-17.
- Samat, S.B. & Priharti, W. 2015. Determination of fano factor and pre-amplifier noise from the measurement of energy resolution of a HPGe detector. *Sains Malaysiana* 44(5): 761-764.
- Tawalbeh, A.A., Samat, S.B. & Yasir, M.S. 2013. Radionuclides level and its radiation hazard index in some drinks consumed in central zone of Malaysia. *Sains Malaysiana* 42(3): 319-323.
- UNSCEAR. 2000. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. New York: United Nations.

School of Applied Physics
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

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

Diserahkan: 26 April 2016

Diterima: 16 November 2016