

PENENTUAN KEPEKATAN RADIONUKLID TABII DAN LOGAM BERAT DALAM SAMPEL KEKACANG YANG TERDAPAT DI MALAYSIA SERTA KESAN RADIOLOGI TERHADAP MANUSIA

Nur Lidiya Abdul Aziz, Norsyahidah Mohd Hidzir*, Nur Ain Mohd Radzali, dan Syazwani Mohd Fadzil

Nuclear Technology Research Centre, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

Department of Applied Physics, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

*Corresponding author: syahidah@ukm.edu.my

ABSTRAK

Radionuklid tabii dan logam berat hadir secara semulajadi dalam tanaman-tanaman dan seterusnya boleh memasuki badan manusia melalui pemakanan atau pernafasan. Namun, kepekatan yang tinggi boleh memberi kesan buruk terhadap kesihatan manusia. Kekacang adalah satu jenis kudapan makanan yang seringkali diambil oleh masyarakat. Kekacang mengandungi nutrien-nutrien yang baik untuk badan. Secara umumnya, kapasiti pengambilan radionuklid adalah berbeza bagi kekacang yang berlainan. Justeru, kajian ini dilakukan bagi mengetahui kandungan radionuklid tabii dan logam berat dalam sampel kekacang yang berlainan jenis, serta menentukan kesan radiologi terhadap kesihatan manusia. Penentuan kepekatan radionuklid tabii di dalam sampel kekacang dilakukan menggunakan spektrometri sinar gama berketulenan tinggi (HPGe) manakala spektrometer jisim gandingan plasma teraruh (ICP-MS) digunakan bagi penentuan kandungan logam berat. Hasil kajian menunjukkan bahawa kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U dan ^{226}Ra adalah rendah berbanding had yang disyorkan, iaitu masing-masing berjulat antara $0.83 \pm 0.05 - 1.30 \pm 0.05$ Bq/kg bagi ^{232}Th , $210.03 \pm 4.09 - 323.14 \pm 7.64$ Bq/kg bagi ^{40}K , $9.16 \pm 1.32 - 13.39 \pm 1.25$ Bq/kg bagi ^{238}U dan $2.02 \pm 0.41 - 3.68 \pm 0.18$ Bq/kg bagi ^{226}Ra . Anggaran dos dedahan tahunan adalah berjulat antara $0.35-3.67$ $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$, lebih rendah berbanding had dos dedahan untuk orang awam iaitu 1 mSv/tahun. Indeks hazard dalaman adalah berjulat antara $0.06-0.08$, indeks hazard luaran berjulat antara $0.06 - 0.08$ dan indeks gamma adalah berjulat antara $0.17 - 0.24$; dimana kesemua nilai indeks ini adalah dibawah nilai selamat iaitu tidak melebihi 1 . Indeks setara radium bagi kesemua sampel adalah berjulat antara $20.99 - 28.51$ Bq/kg, lebih rendah berbanding had yang dicadangkan oleh UNSCEAR iaitu 370 Bq/kg. Nilai risiko kanser yang diperolehi adalah lebih rendah daripada nilai risiko kanser yang ditetapkan oleh ICRP (2007). Sementara, logam berat hadir di dalam sampel kekacang dengan kepekatan yang rendah.

ABSTRACT

Naturally occurring radioactive material (NORM) and heavy metals are present naturally in plants and can enter the human body through ingestion or inhalation. However, high concentrations of them can

negatively affect human health. Nuts are a type of snack that is often consumed by society. Nuts contain good nutrients for the body. Generally, radionuclide intake capacity is different for different types of nuts. Therefore, this study was conducted to determine the concentration of NORM (^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U dan ^{226}Ra) and heavy metals in different types of nuts, as well as to determine the radiological effects for consuming these nuts to human health. Determination of the concentration of NORM in the nuts samples was performed using high purity gamma ray (HPGe) spectrometry while the inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) was used for the determination of heavy metal contents. The results showed that the concentration of ^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U and ^{226}Ra was lower than the recommended limit, which ranged from $0.83 \pm 0.05 - 1.30 \pm 0.05$ Bq/kg for ^{232}Th , $210.03 \pm 4.09 - 323.14 \pm 7.64$ Bq/kg for ^{40}K , $9.16 \pm 1.32 - 13.39 \pm 1.25$ Bq/kg for ^{238}U and $2.02 \pm 0.41 - 3.68 \pm 0.18$ Bq/kg for ^{226}Ra . The estimated annual exposure dose ranges from $0.35-3.67$ $\mu\text{Sv/year}$, lower than the general exposure dose limit of 1 mSv/year. The internal hazard index ranges from $0.06-0.08$, the external hazard index ranges from $0.06 - 0.08$ and the gamma index ranges from $0.17 - 0.24$; where all of these index values are below the safe value (< 1). The radium equivalent index for all samples ranges between $20.99 - 28.51$ Bq/kg, lower than the UNSCEAR's recommended limit of 370 Bq/kg. The derived cancer risk value is lower than the cancer risk value set by the ICRP (2007). Meanwhile, heavy metals are present in nuts samples with low concentrations.

Keywords: ^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U and ^{226}Ra , plasma mass spectrometer

PENGENALAN

Dedahan terhadap bahan keradioaktif tabii di dalam badan manusia boleh berlaku melalui proses pengambilan makanan dan pernafasan. Dedahan manusia terhadap sinaran mengion yang masuk ke dalam sistem penghadaman boleh memberi risiko terhadap kesihatan manusia. Selain radionuklid tabii, manusia juga menerima dedahan terhadap logam berat melalui pengambilan makanan dan minuman. Seseengah logam berat adalah bersifat toksik dan membahayakan kesihatan.

Radionuklid tabii yang berlainan yang memasuki badan boleh terkumpul di organ yang berlainan. Sebagai contoh, ^{238}U boleh terkumpul di paru-paru dan ginjal, ^{232}Th terkumpul di paru-paru, hati dan tisu tulang manakala ^{40}K terkumpul di otot [1]. Dedahan yang lama dan dos yang tinggi terhadap radium pula menyebabkan peningkatan risiko terhadap beberapa penyakit kronik seperti leukemia, kanser tulang, dan kanser tiroid [2]. Selain itu, kandungan logam berat di dalam makanan mampu memberikan kesan buruk terhadap kesihatan manusia. Sebagai contoh, plumbum yang bersifat sangat toksik akan memberi kesan terhadap periferi, sistem saraf serta fungsi ginjal [3].

Makanan jenis kekacang sangat popular sama ada di Malaysia atau luar negara sebagai kudapan sampingan. Kekacang adalah makanan yang kaya dengan nutrien seperti lemak tak tepu, protein, fiber, mineral, tokoferol, fitosterol dan fenolik [4]. Dengan komposisi nutrien yang pelbagai ini, kekacang sering diambil oleh manusia kerana khasiatnya baik untuk kesihatan. Kini, banyak penyelidikan telah dilakukan bagi mengetahui kandungan NORM dan logam berat dalam kekacang. Kajian yang telah dilakukan oleh Ezzulddin et al. (2017) [5] di bandar Erbil, Iraq dan kajian oleh Al-Ghamdi (2018) [6] di Arab Saudi mendapati radionuklid bagi ^{40}K dikesan di dalam semua sampel kekacang yang dikaji. Radionuklid ^{232}Th , ^{226}Ra , dan ^{137}Cs dikesan hadir dengan kepekatan yang rendah dalam sampel-sampel kekacang dan biji benih yang dijual di pasar Bandar Erbil, Iraq berbanding dengan nilai purata dunia [5].

Selain itu, penyelidikan terhadap kehadiran logam berat dalam sampel rempah ratus, buah kering dan kekacang di Pakistan juga telah dilakukan oleh Abdus Sattar et al. [7]. Hasil kajian tersebut mendapati sampel kekacang mempunyai jumlah logam berat yang lebih tinggi berbanding jumlah logam berat di dalam buah-buahan kering

[7]. Sementara, Mahmoud et al. [8] telah melaporkan kehadiran logam berat kromium dan plumbum dalam sampel kacang badam.

Pengambilan makanan yang mengandungi kepekatan radionuklid dan logam berat yang tinggi perlu dielakkan bagi mengurangkan risiko untuk mendapat sebarang penyakit. Maka, kepekatan radionuklid tabii dan kandungan logam berat dalam kekacang yang diambil oleh masyarakat Malaysia perlu diambil perhatian untuk mengetahui kesannya. Justeru, kajian ini dijalankan bagi menentukan kepekatan radionuklid tabii (^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U dan ^{226}Ra) dan logam berat dalam sampel kekacang, serta mengenalpasti kesan radiologi terhadap manusia daripada pengambilan kekacang.

BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Sampel kekacang diperolehi dari pasaraya di sekitar Malaysia. Sebanyak empat jenis kekacang digunakan iaitu kacang merah, kacang dhal, kacang hijau (jenama Giant dan Cap Udang Bumi), dan kacang tanah (jenama Giant dan Tesco). Jadual 1 menunjukkan jenis kekacang dan jenama yang digunakan dalam kajian ini.

Jadual 1. Senarai jenama dan tempat pengeluar sampel kekacang.

Jenis Kekacang	Kod Sampel	Jenama	Negara Pengeluar
Kacang Merah	S1	Giant	China
	S2	Cap Udang Bumi	China
Kacang Dhall	S3	Giant	India
	S4	Cap Udang Bumi	Australia
Kacang Hijau	S5	Giant	China
	S6	Cap Udang Bumi	Australia
Kacang Tanah	S7	Giant	India
	S8	Tesco	Malaysia

Kaedah perawatan sampel dilakukan mengikut prosedur kajian yang dilakukan oleh Bahri et al. 2014 [9] dan Liang et al. 2015 [10]. Sampel yang telah kering dikisar sehingga halus. Kemudian, sampel diayak menggunakan pengayak bersaiz 500 μm untuk mendapatkan sampel yang homogen. Proses penyediaan sampel dilakukan seperti dalam kajian yang pernah dilaporkan [11]. Botol plastik polietilena yang digunakan ditimbang untuk mendapatkan jisim botol. Kemudian, sampel kekacang yang telah homogen dimasukkan ke dalam botol plastik polietilena mengikut ketinggian piawai iaitu 4 cm dan ditimbang semula untuk mendapatkan jisim sampel dan botol. Sampel piawai yang digunakan untuk kajian ini adalah piawai jenis silika. Botol plastik polietilena yang dimasukkan dengan sampel ditutup rapat dengan penutupnya dan dikedapkan dengan menggunakan pita pelekat. Sampel disimpan dan dibiarkan selama 30 hari bagi mencapai keseimbangan sekular. Sampel kekacang serta sampel piawai jenis silika seterusnya dibilang selama 12 jam untuk penentuan radionuklid menggunakan sistem spektrometri sinar gamma dengan pengesan germanium berketulenan tinggi (HPGe). Penentuan aktiviti dilakukan dengan melakukan perbandingan tenaga puncak foton sampel dan piawai. Radionuklid ^{226}Ra diperolehi secara tidak langsung melalui pengukuran puncak foton 609.3 KeV, manakala puncak tenaga 1764 keV (^{214}Bi) digunakan bagi mengesan ^{238}U , 2614 keV (^{208}Tl) bagi ^{232}Th , dan 1460 keV bagi ^{40}K . Bagi penentuan logam berat, sampel kekacang dihantar ke Jisim Gandingan Plasma Teraruh (ICP-MS) sama seperti prosedur yang dilaporkan oleh Liang et al. [10].

Dos dedahan tahunan dikira daripada kepekatan aktiviti radionuklid dalam kekacang. Persamaan dos dedahan tahunan adalah seperti berikut [12]:-

$$ED = A_s \times D \times DC \quad \dots(1)$$

Dimana, ED adalah dos berkesan tahunan (mSv/tahun), A_s adalah kepekatan radionuklid dalam makanan (Bq/kg), D adalah purata pengambilan makanan (iaitu 1.83 kg/tahun [6], dan DC adalah pekali dos untuk pengambilan radionuklid (Sv/Bq) iaitu 6.2×10^{-9} , 4.5×10^{-8} , 2.3×10^{-7} , dan 2.8×10^{-7} masing-masing bagi ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th dan ^{226}Ra [13].

Pengiraan risiko kanser dari pengambilan kekacang bagi rakyat Malaysia boleh dianggarkan dengan mendarabkan dos dedahan dalaman (Sv^{-1}) dengan faktor risiko dan jangka hayat kehidupan iaitu 50 tahun bagi orang dewasa. Faktor risiko kanser bagi dos orang awam adalah 0.055 Sv^{-1} [14]. Risiko kanser dikira menggunakan persamaan berikut [14]:-

$$\text{Risiko kanser} = \text{Dos dedahan tahunan (Sv/tahun)} \times \text{Faktor risiko (Sv}^{-1}) \times 50 \text{ tahun} \quad \dots(2)$$

Indeks setara radium (R_{eq}) digunakan untuk membandingkan kesan radiologi atau aktiviti sesuatu bahan yang mengandungi ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K dengan kuantiti tunggal, dengan mengambil kira hazard radiasi [15]. Indeks setara radium (R_{eq}) bagi setiap sampel kacang dikira dengan menggunakan rumus yang dicadangkan oleh UNSCEAR seperti dalam persamaan (3).

Indeks hazard digunakan untuk menganggarkan tahap bahaya sinaran gamma yang berkait dengan radionuklid tabii yang terdapat di dalam sampel kekacang [5]. Indeks hazard dalaman (H_{in}) dan indeks hazard luaran (H_{ex}) dikira menggunakan persamaan (4) dan (5)[12]:

Seterusnya, indeks gamma (I_γ) untuk kesemua sampel kacang ditentukan menggunakan persamaan (6) [5]:

$$R_{\text{eq}}(\text{Bq/kg}) = A_{\text{Ra}} + 1.43A_{\text{Th}} + 0.077A_{\text{K}} \leq 370 \text{ Bq/kg} \quad \dots(3)$$

$$H_{\text{in}} = \frac{A_{\text{Ra}}}{185} + \frac{A_{\text{Th}}}{259} + \frac{A_{\text{K}}}{4810} \leq 1 \quad \dots(4)$$

$$H_{\text{ex}} = \frac{A_{\text{Ra}}}{370} + \frac{A_{\text{Th}}}{259} + \frac{A_{\text{K}}}{4810} \leq 1 \quad \dots(5)$$

$$I_\gamma = \frac{A_{\text{Ra}}}{150} + \frac{A_{\text{Th}}}{100} + \frac{A_{\text{K}}}{1500} \leq 1 \quad \dots(6)$$

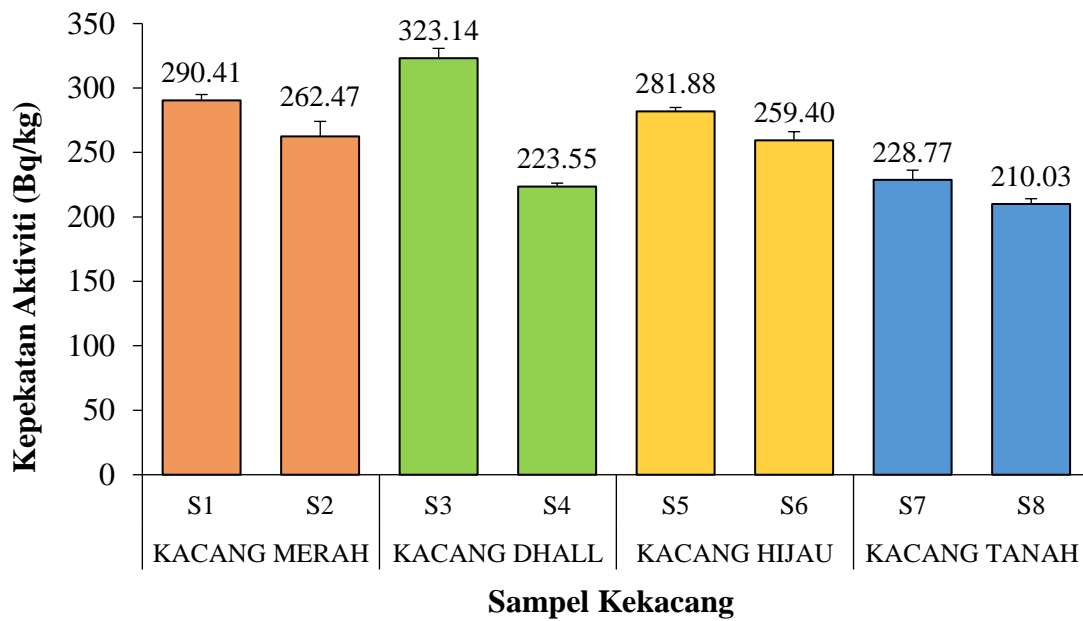
Dimana, A_{Ra} , A_{Th} dan A_{K} adalah masing-masing merupakan kepekatan aktiviti ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K di dalam unit Bq/Kg.

HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN

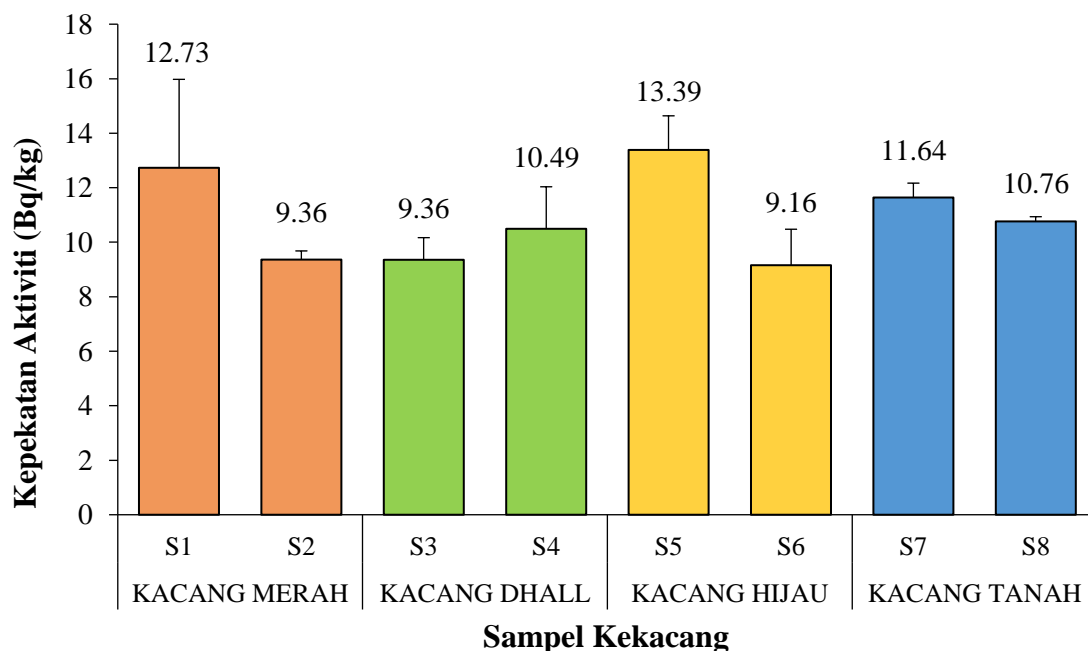
Kehadiran Radionuklid Tabii

Hasil kajian mendapati ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , dan ^{238}U (Rajah 1 – 4) hadir dalam kesemua sampel kekacang yang dikaji. Secara keseluruhan, ^{40}K hadir di dalam kesemua sampel dengan kepekatan yang tinggi berbanding radionuklid yang lain. Hal ini adalah kerana ^{40}K merupakan mikroelemen penting untuk organisma hidup, dan radionuklid ini wujud dalam semua sampel di alam sekitar [16], selain ^{40}K juga adalah komponen utama yang

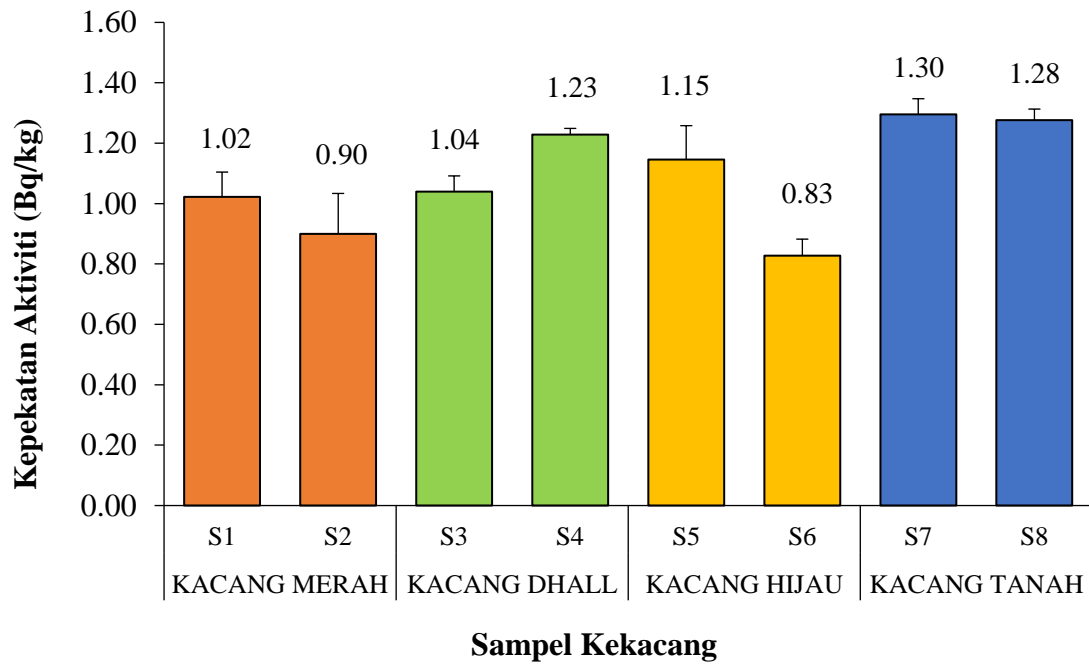
terdapat dalam baja fosfat. Kepekatan ^{232}Th , ^{40}K , dan ^{238}U antara kekacang yang berlainan jenis tidak menunjukkan perbezaan yang ketara iaitu dengan julat $210.03 \pm 4.09 - 323.14 \pm 7.64$ Bq/kg bagi ^{40}K , $9.16 \pm 1.32 - 13.39 \pm 1.25$ Bq/kg bagi ^{238}U , dan $0.83 \pm 0.05 - 1.30 \pm 0.05$ Bq/kg bagi ^{232}Th . Manakala terdapat perbezaan kepekatan ^{226}Ra dalam kekacang yang berlainan dengan kepekatan yang tertinggi direkodkan bagi sampel kacang tanah (S7) (3.68 ± 0.18 Bq/kg), dan terendah dalam kacang dhal (S4) dengan kepekatan 2.02 ± 0.41 Bq/kg. Perbandingan kepekatan radionuklid dalam kajian ini dengan nilai purata global kepekatan radionuklid di dalam tanah yang disyorkan oleh UNSCEAR 2008 [13] mendapati kesemua nilai yang diperolehi adalah dibawah had purata global yang disyorkan iaitu 33 Bq/kg untuk ^{238}U , 45 Bq/kg untuk ^{232}Th , 32 Bq/kg untuk ^{226}Ra dan 412 Bq/kg untuk ^{40}K . Hasil kajian yang diperolehi dalam kajian ini juga didapati berada dalam julat kajian yang telah dilaporkan oleh Ezzulddin et al. (2017) [5] (iaitu $207.63 - 533.88$ Bq/kg untuk ^{40}K) kecuali bagi ^{232}Th dan ^{226}Ra iaitu ($0.10 - 0.55$ Bq/kg untuk ^{232}Th , dan $0.03 - 0.52$ Bq/kg untuk ^{226}Ra dalam kajian beliau).



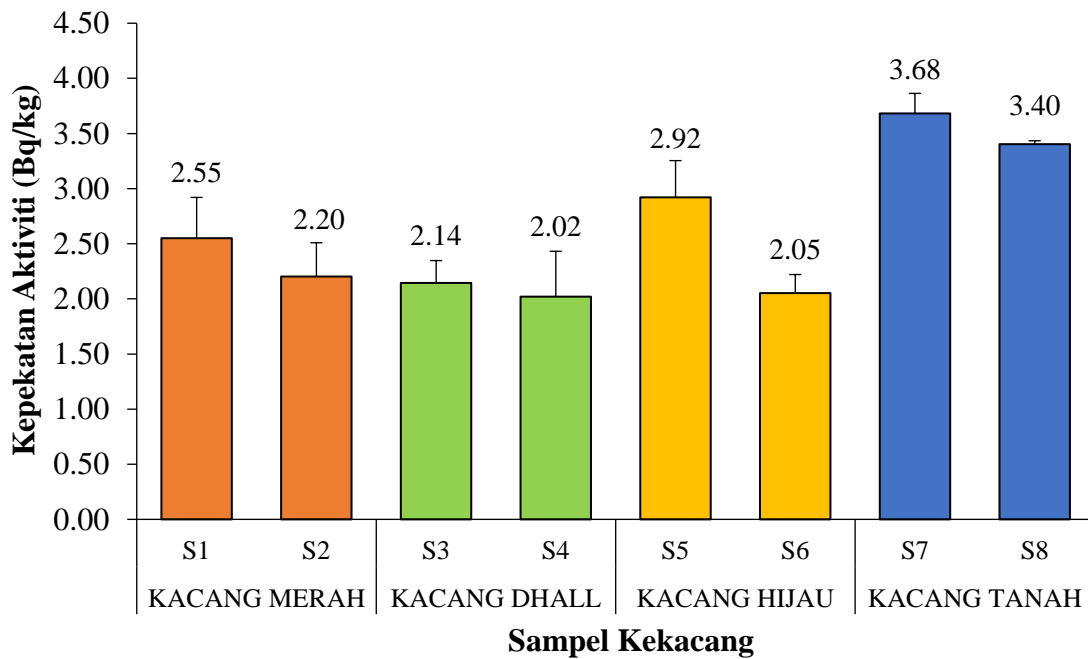
Rajah 1. Kepekatan Aktiviti K-40 (Bq/kg).



Rajah 2. Kepekatan Aktiviti U-238 (Bq/kg).



Rajah 3. Kepekatan Aktiviti Th-232 (Bq/kg).



Rajah 4. Kepekatan Aktiviti Ra-226 (Bq/kg).

Dos dedahan tahunan terhadap kesemua radionuklid melalui pengambilan kekacang yang dikaji (Rajah 5) adalah rendah dan berada dibawah dos yang disarankan oleh ICRP 1996 iaitu 1 mSv/tahun . Dos dedahan radionuklid K-40 melalui pengambilan kekacang menunjukkan nilai yang paling tinggi berbanding radionuklid yang lain iaitu

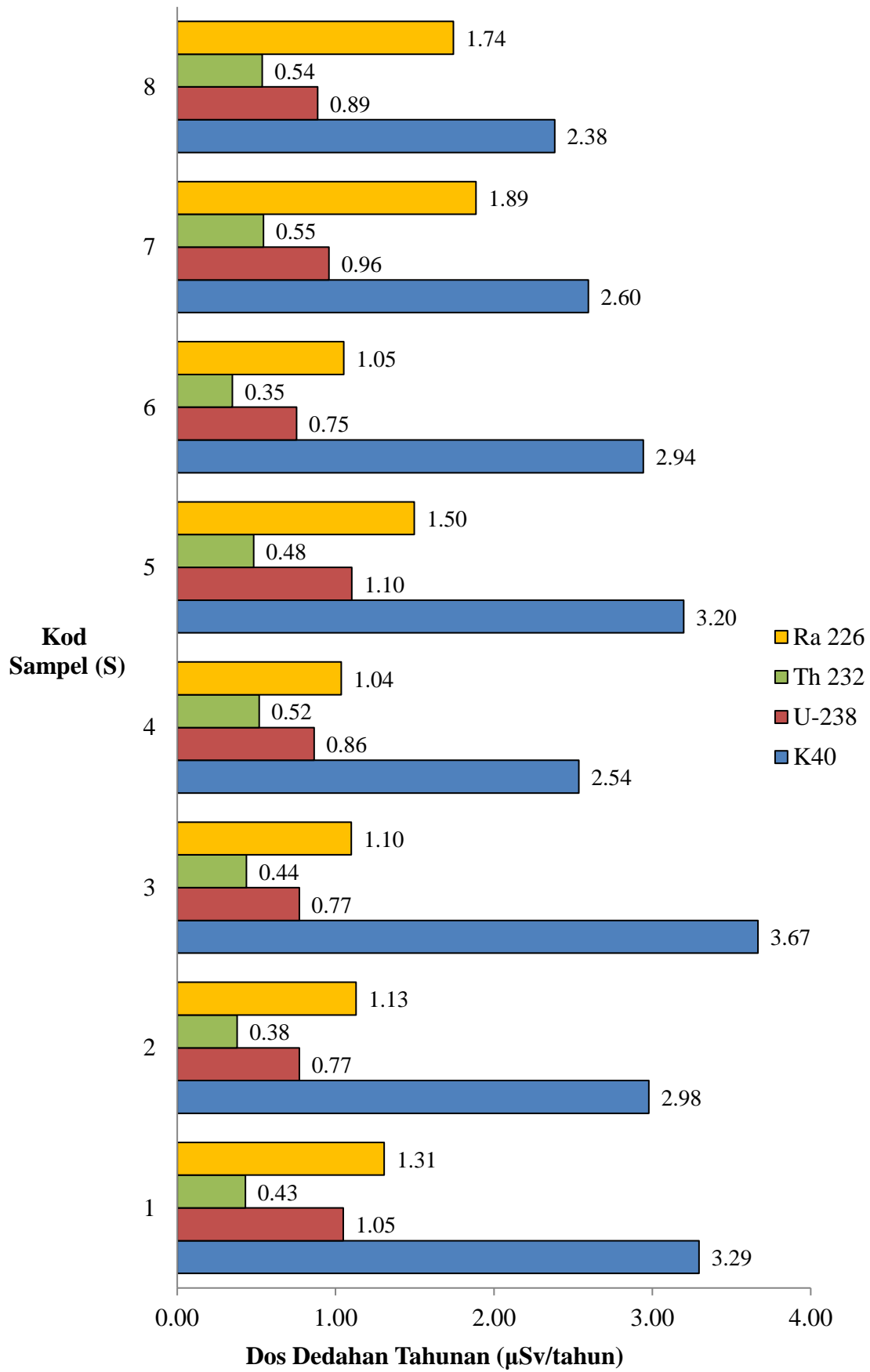
antara 2.38 – 3.67 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Dos dedahan kumulatif untuk setiap kacang adalah dalam julat 4.59 – 6.28 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ (Jadual 2).

Indeks setara radium, indeks hazard dalaman, indeks hazard luaran serta indeks gamma (Jadual 2) untuk kesemua sampel kekacang didapati berada dibawah had yang ditetapkan oleh UNSCEAR iaitu 370 Bq/kg bagi indeks setara radium, dan nilai 1 bagi indeks hazard dalaman dan luaran, serta indeks gama [16].

Kebarangkalian kumulatif risiko kanser (Jadual 2) pengambilan kacang merah, kacang dhal, kacang hijau dan kacang tanah dalam kajian ini adalah dalam julat 13×10^{-6} - 17×10^{-6} . Nilai risiko yang diperoleh bagi pengambilan kesemua jenis kekacang dalam kajian ini adalah lebih rendah daripada nilai risiko kanser yang ditetapkan oleh ICRP (2007) iaitu 6×10^{-3} yang dianggarkan berdasarkan had dos tahunan 2.4 mSv yang ditetapkan ke atas orang awam [14].

Jadual 2. Indeks setara radium, indeks gama, indeks hazard luaran, indeks hazard dalaman, dan dos berkesan tahunan kumulatif sampel kekacang.

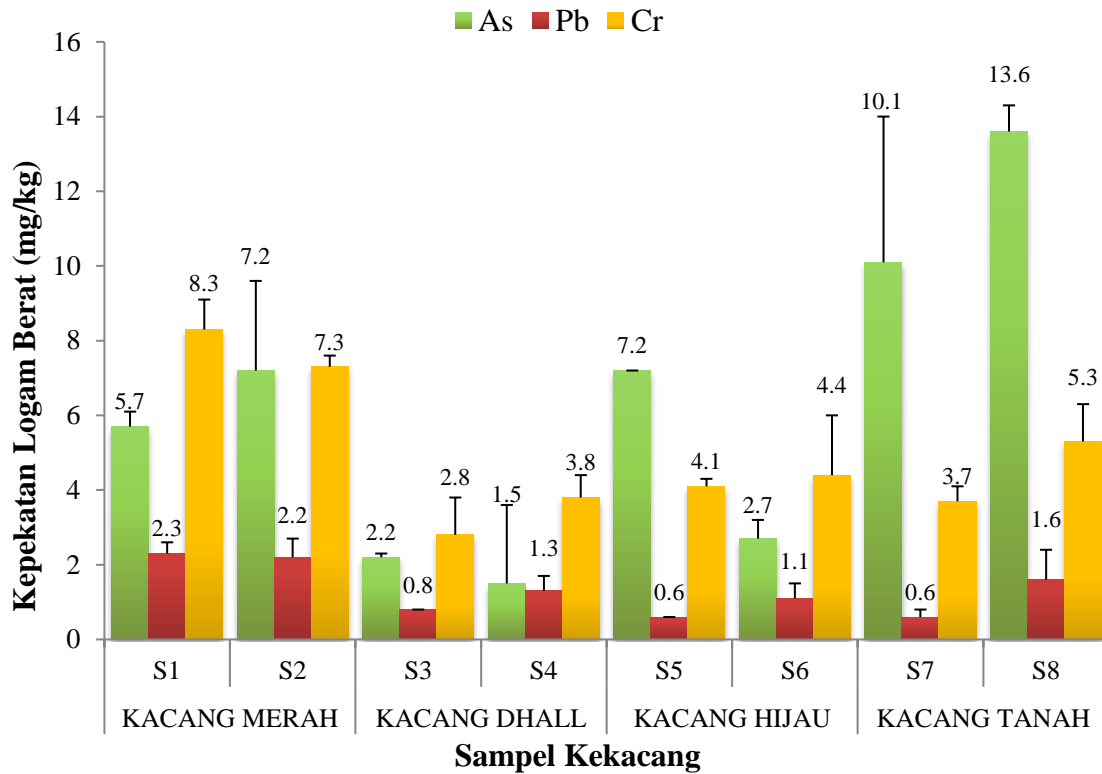
Sampel	Ra_{eq} (Bq/kg)	I_γ (Bq/kg)	H_{ex}	H_{in}	ED kumulatif ($\mu\text{Sv}/\text{tahun}$)	Risiko kanser kumulatif (10^{-6})
S1	26.37	0.22	0.07	0.08	6.08	16.7
S2	23.70	0.20	0.06	0.07	5.26	14.5
S3	28.51	0.24	0.08	0.08	5.97	16.4
S4	20.99	0.17	0.06	0.06	4.95	13.6
S5	26.26	0.22	0.07	0.08	6.28	17.3
S6	23.21	0.19	0.06	0.07	5.10	14
S7	23.15	0.19	0.06	0.07	5.99	16.5
S8	21.40	0.18	0.06	0.07	5.55	15.3



Rajah 5. Dos dedahan tahunan bagi kesemua radionuklid dalam sampel kekacang.

Kepekatan Logam Berat

Arsenik menunjukkan nilai kepekatan yang paling tinggi (purata 6.28 mg/kg) berbanding logam berat lain seperti plumbum (purata 1.31 mg/kg) dan kromium (4.96 mg/kg) (Rajah 6). Manakala logam berat seperti kadmium dan merkuri tidak dapat dikesan dalam sampel kekacang. Kepekatan logam berat seperti plumbum yang dikesan dalam sampel kekacang kajian ini adalah hampir sama dengan kepekatan logam berat yang pernah dilaporkan oleh Sattar et al. iaitu 1.02 mg/kg dalam kekacang almond [7]. Walau bagaimanapun kehadiran kadmium tidak dapat dikesan dalam kajian ini berbanding 0.24 mg/kg yang dilaporkan dalam kajian Sattar et al. [7]



Rajah 6. Kepekatan logam berat dalam sampel kekacang.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, hasil kajian mendapati sampel kekacang iaitu kacang merah, kacang dhall, kacang hijau (jenama Giant dan Cap Udang Bumi), dan kacang tanah (jenama Giant dan Tesco) mengandungi radionuklid tabii (^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U dan ^{226}Ra) dan logam berat (arsenik, plumbum dan kromium), namun kepekataannya adalah amat rendah daripada had yang telah ditetapkan oleh UNSCEAR bagi radionuklid tabii. Justeru, pengambilan kekacang tersebut tidak memberikan kesan buruk yang signifikan ke atas penduduk Malaysia berdasarkan kepada nilai risiko kanser yang rendah. Oleh itu, kekacang yang berada di pasaran Malaysia adalah selamat untuk dimakan.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada semua pihak yang terlibat, sokongan dana GUP-2017-085 daripada Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) dan geran FRGS/1/2019/STG02/UKM/02/6 daripada Kementerian

Pengajian Tinggi Malaysia, seterusnya Jabatan Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi (FST), serta Pusat Pengurusan Penyelidikan dan Instrumentasi (CRIM) untuk kemudahan yang disediakan.

RUJUKAN

1. Tawalbeh, A.A., et al., *A study of natural radionuclide activities and radiation hazard index in some grains consumed in Jordan*. Malaysian Journal of Analytical Sciences, 2011. **15**(1): p. 61-69.
2. Njinga, R.L., S.A. Jonah, and M. Gomina, *Preliminary investigation of naturally occurring radionuclides in some traditional medicinal plants used in Nigeria*. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2015. **8**: p. 208-215.
3. Assi, M.A., et al., *The detrimental effects of lead on human and animal health*. Veterinary World, 2016. **9**(6): p. 660-671.
4. Ros, E., *Health Benefits of Nut Consumption*. Nutrients, 2010. **2**(7): p. 652-682.
5. Ezzulddin, S.K., et al. *Radioactivity measurement of nuts and seeds available in Erbil city markets*. in *6th International Conference and Workshops on Basic and Applied Sciences*. 2017. AIP Conference Proceedings.
6. Alghamdi, A., *Determination of natural radioactivity concentration in consumed nuts and seeds and their implications in the human body*. Universal Journal of Public Health, 2018. **6**(4): p. 198-202.
7. Sattar, A., M. Wahid, and S.K. Durrani, *Concentration of selected heavy metals in spices, dry fruits and plant nuts*. Plant Foods for Human Nutrition, 1989. **39**(3): p. 279-286.
8. Mahmoud, K.M. and R.T. Yasin, *Quantitative analysis of some metals in almond kernel in Erbil City*. International Journal of Pharma Sciences and Research 2016. **7**(1): p. 32-37.
9. Bahri, C.N.A.C.Z., et al., *Assessments of cancer risk from soil samples in Gebeng Industrial Estate, Pahang and amang samples in Perak*. The Malaysian Journal of Analytical Sciences, 2014. **18**(2): p. 337-343.
10. Liang, Y., et al., *Determination of trace elements in edible nuts in the Beijing market by ICP-MS*. Biomedical and Environmental Sciences 2015. **28**(6): p. 449-454.
11. Kamal, N.N.H.N., et al., *Determination of radionuclide activity and radiological impact from the intake of milk, wheat flour, tea and coffee*. Malaysian Journal of Analytical Sciences, 2015. **19**(2): p. 300-308.
12. Tufail, M., M. Iqbal, and S.M. Mirza, *Radiation doses due to the natural radioactivity in Pakistan marble*. Radioprotection, 2000. **35**(3): p. 299-310.
13. UNSCEAR, *Sources and effects of ionizing radiation*, UNSCEAR, Editor. 2008.
14. ICRP, *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. 2007.
15. Thabayneh, K.M. and M.M. Jazzar, *Natural radioactivity levels and estimation of radiation exposure in environmental soil samples from Tulkarem Province-Palestine*. Open Journal of Soil Science, 2012. **2**: p. 7-16.
16. UNSCEAR, Annex B-Exposures from natural radiation sources. 2000: New York.