

PENENTUAN AKTIVITI RADIONUKLID SERTA IMPAK RADIOLOGI MELALUI PENGAMBILAN SUSU TEPUNG, TEPUNG GANDUM, TEH DAN KOPI

(Determination of Radionuclide Activity and Radiological Impact from the Intake of Milk,
Wheat Flour, Tea and Coffee)

Nik Nadia Hazwani Nek Kamal^{1*}, Norafatin Khalid², Che Nor Aniza Che Zainul Bahri², Amran Ab Majid²

¹Program Pengimejan Diagnostik,
Fakulti Perubatan & Sains Kesihatan,
Universiti Sultan Zainal Abidin Kampus Gong Badak, 21300 Terengganu
²Program Sains Nuklear, Pusat Pengajian Fizik Gunaan,
Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia.

*Corresponding author: niknadiahazwani@gmail.com

Received: 23 January 2014; Accepted: 20 November 2014

Abstrak

Pengambilan makanan yang mengandungi radionuklid boleh menyumbang kepada dos dalaman. Kajian berkaitan kandungan radionuklid dalam beberapa jenis makanan perlu dilakukan untuk melihat kesan yang bakal diterima oleh manusia. Objektif penyelidikan ini dijalankan adalah i) menentukan kepekatan aktiviti di dalam susu tepung, teh, tepung gandum dan kopi, ii) mengira dos dedahan tahunan melalui produk makanan tersebut dan risiko kanser sepanjang hayat rakyat Malaysia. Kepekatan aktiviti radionuklid ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th dan ^{40}K ditentukan menggunakan kaedah spektrometri sinar gama. Hasil kajian mendapati purata kepekatan aktiviti dalam susu tepung, teh, tepung gandum dan kopi masing-masing adalah 1.6 ± 0.8 , 3.3 ± 0.4 , 1.2 ± 0.2 , $2.1 \pm 0.7 \text{ Bq kg}^{-1}$ bagi ^{226}Ra , 1.6 ± 0.2 , 10.7 ± 3.3 , 2.1 ± 0.6 dan $1.8 \pm 0.2 \text{ Bq kg}^{-1}$ bagi ^{238}U , 1.8 ± 0.5 , 9.5 ± 2.2 , 1.9 ± 0.1 , $2.2 \pm 0.3 \text{ Bq kg}^{-1}$ bagi ^{232}Th dan 190.2 ± 49.6 , 395.4 ± 11.9 , 57.4 ± 28.5 , $429.4 \pm 305.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ bagi ^{40}K . Dos dedahan dalaman tahunan bagi kanak-kanak melalui pengambilan susu tepung masing-masing adalah $63.5 \mu\text{Sv}$ bagi ^{226}Ra , $32.2 \mu\text{Sv}$ bagi ^{232}Th , $2.8 \mu\text{Sv}$ bagi ^{238}U dan $326.5 \mu\text{Sv}$ bagi ^{40}K . Manakala, dos dedahan dalaman tahunan bagi orang dewasa melalui pengambilan tepung gandum, teh dan kopi masing-masing adalah $13.7 \mu\text{Sv}$ bagi ^{226}Ra , $18.0 \mu\text{Sv}$ bagi ^{232}Th , $5.1 \mu\text{Sv}$ tahun⁻¹ bagi ^{238}U dan $24.2 \mu\text{Sv}$ tahun⁻¹ bagi ^{40}K . Dos dedahan kesemua radionuklid adalah $425 \mu\text{Sv}$ tahun⁻¹ bagi kanak-kanak dan $61.0 \mu\text{Sv}$ tahun⁻¹ bagi orang dewasa. Nilai ini memberikan faktor risiko kanser sebanyak 1.8×10^{-3} bagi kanak-kanak dan 1.7×10^{-4} bagi orang dewasa. Ia bermaksud kebarangkalian peningkatan risiko kanser sepanjang hayat sebanyak 0.18 % bagi kanak-kanak (18 orang dalam 10 000) dan 0.017 % bagi orang dewasa (1.7 orang dalam 10 000). Nilai-nilai ini adalah lebih rendah berbanding faktor risiko kanser ICRP bagi orang awam iaitu 2.5×10^{-3} dan jumlah risiko daripada semua sumber sinaran berdasarkan purata nilai dos tahunan dunia 2.4 mSv tahun⁻¹ iaitu 6×10^{-3} . Oleh itu, kajian ini menunjukkan bahawa pengambilan susu tepung, tepung gandum, teh dan kopi tidak memberikan bahaya kesihatan yang signifikan dan dianggap selamat secara radiologi untuk diambil oleh manusia.

Kata kunci: radionuklid, kepekatan aktiviti, dos dedahan dalaman, risiko kanser, kanak-kanak, orang dewasa

Abstract

Consumption of food containing radionuclides may contribute to internal dose. Studies on radionuclide content in several types of food should be done to determine effects to human. The objectives of this research are to i) determine the activity concentration in milk powder, tea, flour and coffee samples, ii) to calculate the annual exposure dose in food products and iii) to determine the lifetime cancer risk amongst Malaysians. The concentrations of ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K were determined using gamma ray spectrometry. The study found that the mean activity concentration in milk powder, tea, flour and coffee are 1.6 ± 0.8 , 3.3 ± 0.4 , 1.2 ± 0.2 , $2.1 \pm 0.7 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{226}Ra , 1.6 ± 0.2 , 10.7 ± 3.3 , 2.1 ± 0.6 and $1.8 \pm 0.2 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{238}U , 1.8 ± 0.5 , 9.5 ± 2.2 , 1.9 ± 0.1 , $2.2 \pm 0.3 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{232}Th and 190.2 ± 49.6 , 395.4 ± 11.9 , 57.4 ± 28.5 , $429.4 \pm 305.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{40}K . The mean annual internal dose for children through milk powder intake is $63.5 \mu\text{Sv}$ for ^{226}Ra , $32.2 \mu\text{Sv}$ for ^{232}Th , $2.8 \mu\text{Sv}$ for ^{238}U and $326.5 \mu\text{Sv}$ for ^{40}K . Meanwhile, the mean annual internal dose for adults through flour, tea and coffee intake is $13.7 \mu\text{Sv}$ for ^{226}Ra , $18.0 \mu\text{Sv}$ for ^{232}Th , $5.1 \mu\text{Sv}$ year⁻¹ for ^{238}U and $24.2 \mu\text{Sv}$ year⁻¹ for ^{40}K . The total annual internal dose for all radionuclides is $425 \mu\text{Sv}$ year⁻¹ for children and $61.0 \mu\text{Sv}$ year⁻¹ for adults. This value gives a cancer risk factor of 1.8×10^{-3} for children and 1.7×10^{-4} for adults. It means the probability of cancer increase throughout life is 0.18 % for children (18 people in 10 000) and 0.017 % for adults (1.7 people in 10 000). These values are lower than the ICRP cancer risk factor for the general public which is 2.5×10^{-3} and the total risk from all radiation sources based on the average annual world dose of 2.4 mSv year⁻¹ is 6×10^{-3} . Therefore, this study shows that the intake of milk powder, flour, tea and coffee does not pose a significant health hazard and is considered safe from a radiological point of view for human consumption.

, 3.3 ± 0.4 , 1.2 ± 0.2 , 2.1 ± 0.7 Bq kg⁻¹ for ²²⁶Ra, 1.6 ± 0.2 , 10.7 ± 3.3 , 2.1 ± 0.6 and 1.8 ± 0.2 Bq kg⁻¹ for ²³⁸U, 1.8 ± 0.5 , 9.5 ± 2.2 , 1.9 ± 0.1 , 2.2 ± 0.3 Bq kg⁻¹ for ²³²Th and 190.2 ± 49.6 , 395.4 ± 11.9 , 57.4 ± 28.5 , 429.4 ± 305.5 Bq kg⁻¹ for ⁴⁰K, respectively. The annual internal exposure dose for children through consumption of milk powder are 63.5 µSv for ²²⁶Ra, 32.2 µSv for ²³²Th, 2.8 µSv for ²³⁸U and 326.5 µSv for the ⁴⁰K, respectively. Whereas, the annual internal exposure dose for adults through consumption of wheat flour, tea and coffee are 13.7 µSv for ²²⁶Ra, 18.0 µSv for ²³²Th, 5.1 µSv year⁻¹ for ²³⁸U and 24.2 µSv year⁻¹ for ⁴⁰K, respectively. All radionuclide exposure doses are 425 µSv year⁻¹ for children and 61.0 µSv year⁻¹ for adults. This value provides a risk factor of 1.8×10^{-3} cancer for children and 1.7×10^{-4} for adults. It means that the probability of lifetime cancer risk increment of 0.18 % for children (18 people in 10 000) and 0.017 % for adults (1.7 people in 10 000). These values are lower than the ICRP cancer risk factors for the public of 2.5×10^{-3} and the total risk from all sources of radiation dose based on the global annual dose of 2.4 mSv year⁻¹ which is 6×10^{-3} . The study revealed that the intake of milk powder, flour, tea and coffee do not contribute a significant health hazard and is considered radiological safe to be taken by humans.

Keywords: radionuclides, specific activity, annual exposure dose, cancer risk, children, adult

Pengenalan

Keperluan asas bagi manusia untuk hidup adalah makanan dan minuman selain udara, cahaya matahari serta tempat tinggal. Tanpa makanan dan minuman, manusia tidak dapat menjalankan kehidupannya dengan lengkap. Dalam makanan dan minuman terkandung sebahagian radionuklid tabii terutamanya ⁴⁰K, ²³⁸U dan ²³²Th yang hadir secara semulajadi, daripada sinaran kosmik juga secara buatan manusia seperti kemalangan reaktor nuklear. IAEA menganggarkan bahawa secara purata, pendedahan sinaran daripada kesemua sumber sinaran (alfa, beta dan gama) berjumlah kira-kira 2.4 mSv setahun [1].

Apabila lebihan radioisotop yang beradioaktif seperti ¹³¹I dan ¹³⁷Cs disebar ke alam sekitar, radioisotop tersebut boleh memberi kesan kepada makanan sama ada jatuh ke permukaan makanan seperti buah-buahan dan sayur-sayuran melalui udara atau melalui bahan tercemar daripada air hujan. Radioisotop di dalam air juga boleh berkumpul di dalam sungai dan laut lalu mendepositkan radioisotop itu pada ikan dan makanan laut. Bahan radioaktif tersebut juga boleh hadir dalam makanan kerana bahan radioaktif tersebut diambil oleh tumbuh-tumbuhan, makanan laut atau ditelan oleh haiwan. Akhir sekali radioisotop akan sampai kepada manusia melalui pengambilan makanan tersebut.

Di dalam tubuh manusia itu sendiri mempunyai sejumlah kepekatan aktiviti radionuklid secara semulajadi. Terutamanya, kalium (⁴⁰K) iaitu berada dalam 63 Bq kg⁻¹, karbon (¹⁴C) iaitu 66 Bq kg⁻¹, tritium (³H) iaitu 133 Bq kg⁻¹, polonium (²¹⁰Po) iaitu 0.0002 Bq kg⁻¹ dan radium (²²⁶Ra) iaitu 2.7×10^{-5} Bq kg⁻¹ [2]. Makanan dan minuman yang mengandungi radionuklid semulajadi yang diambil oleh manusia akan menyumbang kepada dos efektif dalaman setelah ditelan. Sekurang-kurangnya satu perlatan daripada min dos efektif tahunan disumbangkan oleh sumber semulajadi daripada pengambilan produk makanan [3].

Kanak-kanak dan orang dewasa mengambil makanan dan minuman mengikut keperluan badan mereka. Jenis makanan yang digemari dan diambil oleh kanak-kanak ialah susu tepung manakala golongan dewasa mengambil nasi, roti, tepung gandum, teh dan kopi. Kepentingan menentukan nilai radionuklid yang berada dalam makanan harus di ambil berat. Ini kerana kehadiran radionuklid dalam makanan akan mempengaruhi kesan kesihatan yang bakal diterima oleh manusia pada jangka masa yang panjang melalui dos terkumpul dan akhirnya boleh mendatangkan kebarangkalian risiko kanser sepanjang hayat.

Oleh yang demikian, bagi mencapai matlamat kajian, penentuan aktiviti radionuklid dalam beberapa sampel makanan iaitu tepung gandum, susu tepung, teh dan kopi dijalankan. Seterusnya, pengiraan dos dedahan radionuklid tahunan dan risiko kanser sepanjang hayat rakyat Malaysia yang diperolehi melalui produk-produk makanan tersebut dapat menilai impak radiologi.

Bahan dan Kaedah

Sampel kajian

Dalam kajian ini 4 jenis susu tepung, 4 jenis teh, 3 jenis kopi dan 4 jenis tepung gandum berdasarkan negara pengeluar telah dipilih sebagai sampel kajian. Sampel susu tepung yang dipilih ialah susu tepung keluaran Malaysia, New Zealand, Singapura dan Belanda. Sampel teh yang dipilih pula ialah empat jenis serbuk teh tempatan. Sampel

kopi yang digunakan adalah empat jenis dari jenama tempatan. Manakala, sampel tepung gandum yang dipilih adalah dua berjenama tempatan, dan dua berjenama luar negara.

Perawatan sampel

Sampel teh, kopi, susu tepung dan tepung gandum ditimbang sebelum dikeringkan. Kemudian, sampel makanan dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 100°C sehingga mencapai jisim malar. Selepas itu, sampel makanan diabukan di dalam ketuhar pada suhu 450°C. Setelah diabukan, sampel tersebut dimasukkan ke dalam bekas polietilena bertutup merah yang dibalut sehingga kedap dan disimpan selama sebulan untuk mencapai keseimbangan sekular. Rajah 1 menunjukkan kesemua sampel yang digunakan dan dirawat mengikut prosedur kajian yang dinyatakan.



Rajah 1. Sampel bahan makanan asal dan sampel sedia untuk dibilang (dalam bekas polietilena).

Penentuan Kepekatan Aktiviti

Selepas melepasi tempoh keseimbangan sekular semua sampel dan piawai jenis silika dibilang aktivitiya menggunakan sistem spektrometri sinar gama dengan pengesan germanium hiper tulen (HPGe). Hablur HPGe berdiameter 5.0 cm dengan ketinggian 3.1 cm digunakan. Pengesan HPGe diletakkan di dalam perisai plumbum model Canberra 747 setebal 10.0 cm dan dilapisi dengan lapisan timah dan kuprum dengan masing-masing berketebalan 1.0 mm dan 1.6 mm. Penggunaan perisai ini dapat mengurangkan gangguan daripada sinar latar belakang yang berpunca dari bangunan dan sinar kosmik [4]. Pembilangan aktiviti dilakukan selama 12 jam dengan perbandingan tenaga puncak foton sampel dan piawai. Tenaga puncak foton yang diguna untuk pengenalanpastian radionuklid ialah 351.8 keV bagi ^{238}U , 609.1 keV bagi ^{226}Ra , 1460 keV bagi ^{40}K dan 238 keV bagi ^{232}Th [5].

Perkiraan Keradioaktifan

Setelah piawai silika dibilang, graf peratus kecekapan pembilang diplot bagi membolehkan pengiraan kepekatan aktiviti radionuklid dilakukan. Oleh kerana faktor geometri, masa pembilangan dan jisim sampel pembilangan adalah sama antara sampel dan piawai, maka kandungan radionuklid boleh dikira secara perbandingan menggunakan formula persamaan 1 berikut:

$$A = C/\epsilon P_{\gamma} M_s \quad (1)$$

di mana C adalah aktiviti sinar gama (bilangan per saat), ϵ adalah nilai keberkesanan pengesanan spesifik sinar gama, P_γ adalah nilai kebarangkalian pereputan gama dan M_s adalah jisim sampel dalam kg.

Pengiraan dos dedahan tahunan

Hasil daripada kepekatan aktiviti radionuklid dalam sampel susu tepung, teh, kopi dan tepung gandum dos penelanan boleh dikira. Dos dedahan tahunan dikira melalui pengambilan radionuklid bergantung kepada kadar pengambilan produk makanan dan kepekatan radionuklid yang terlibat. Dos dedahan tahunan ($\mu\text{Sv tahun}^{-1}$) dikira berdasarkan persamaan 2 berikut:

$$H_{T,r} = \sum (U^i C_r^i) g_{T,r} \quad (2)$$

di mana i adalah kumpulan produk makanan, U^i adalah kadar pengambilan setahun (kg) dan C_r^i adalah kepekatan aktiviti radionuklid (Bq kg^{-1}) bergantung kepada pemalar masing-masing dan $g_{T,r}$ pemalar penukaran dos bagi radionuklid (Sv Bq^{-1}) [6].

Risiko Tambahan Kanser Sepanjang Hayat

Akhir sekali, risiko tambahan kanser sepanjang hayat boleh dianggarkan dengan mendarabkan dos dedahan dalaman (Sv^{-1}) dengan faktor risiko dan jangka hayat kehidupan iaitu 75.2 tahun bagi kanak-kanak dan 50 tahun bagi orang dewasa. Faktor risiko kanser bagi dos orang awam adalah 0.055 Sv^{-1} . Risiko kanser dikira menggunakan persamaan 3 dan 4 yang dicadangkan oleh ICRP [7] seperti berikut:

$$\text{Risiko} = \text{Dos dedahan tahunan (Sv/tahun)} \times \text{Faktor risiko (Sv}^{-1}) \times (75.2 \text{ tahun}) \quad (3)$$

$$\text{Risiko} = \text{Dos dedahan tahunan (Sv/tahun)} \times \text{Faktor risiko (Sv}^{-1}) \times (50 \text{ tahun}) \quad (4)$$

Hasil dan Perbincangan

Kepekatan aktiviti dalam makanan

Berdasarkan kajian yang dijalankan, kepekatan aktiviti radionuklid yang terdapat di dalam susu tepung, tepung gandum, kopi dan teh boleh dibandingkan dengan kepekatan aktiviti radionuklid yang terdapat dalam kajian-kajian yang dijalankan sebelum ini. Jadual 1 menunjukkan julat kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra dan ^{40}K dalam sampel susu tepung, tepung gandum, kopi dan teh dengan menggunakan piawai silika sebagai rujukan.

Jadual 1. Julat kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra dan ^{40}K dalam sampel susu tepung, tepung gandum, kopi dan teh

Jenis sampel	Jenis Piawai	Kepekatan aktiviti (Bq/kg)			
		^{232}Th	^{238}U	^{226}Ra	^{40}K
Susu Tepung	Silika	1.1 – 2.1	1.2 – 2.0	0.9 – 2.4	126.8 – 246.9
Tepung gandum		1.8 – 2.1	1.5 – 3.0	1.0 – 1.4	3.9 – 99.4
Kopi		2.0 – 2.5	1.6 – 2.1	1.2 – 2.5	221.3 – 780.2
Teh		6.5 – 11.6	5.9 – 12.9	2.9 – 3.8	381.1 – 407.4

Kajian ini mendapati purata kepekatan radionuklid ^{226}Ra yang paling tinggi ditemui di dalam sampel teh dengan kepekatan sebanyak $3.3 \pm 0.4 \text{ Bq kg}^{-1}$ berbanding sampel susu, tepung gandum dan kopi. Sementara itu, tepung gandum mengandungi kandungan radionuklid ^{226}Ra yang paling rendah dengan kepekatan sebanyak $1.2 \pm 0.2 \text{ Bq kg}^{-1}$. Selain radionuklid ^{226}Ra , teh juga mencatatkan kandungan radionuklid ^{238}U yang paling tinggi berbanding

sampel makanan yang lain diikuti tepung gandum, kopi dan susu dengan jumlah 10.7 ± 3.3 dan 2.1 ± 0.6 , 1.8 ± 0.2 dan 1.6 ± 0.2 Bq kg⁻¹. Kandungan radionuklid ²³²Th dicatatkan paling tinggi di dalam sampel teh, diikuti kopi, tepung gandum, dan susu tepung dengan purata kepekatan aktiviti sebanyak 10 ± 2.4 , 2.4 ± 0.3 , 1.7 ± 0.7 dan 1.8 ± 0.5 Bq kg⁻¹. ⁴⁰K merupakan radionuklid yang mempunyai kepekatan aktiviti yang paling tinggi di dalam kesemua sampel. Purata kepekatan aktiviti radionuklid ⁴⁰K adalah tertinggi di dalam sampel kopi iaitu sebanyak 429.4 ± 305 Bq kg⁻¹ dan paling rendah di dalam sampel tepung gandum dengan kepekatan sebanyak 57.4 ± 28.5 Bq kg⁻¹.

Jumlah pengambilan makanan tahunan.

Secara umumnya, pengambilan makanan oleh kanak-kanak dan bayi dikira mengikut jisim yang diambil selama setahun. Berdasarkan kepekatan kepekatan aktiviti jumlah pengambilan radionuklid tahunan melalui makanan berasaskan susu tepung, teh, kopi dan tepung gandum dapat ditentukan. Jadual 2 menunjukkan pengambilan makanan bagi kesemua sampel kajian dikalangan rakyat di Malaysia.

Jadual 2. Statistik pengambilan makanan rakyat Malaysia

Jenis makanan	Min pengambilan (kg/sehari)	Kandungan sampel dalam makanan (kg/setahun)
Susu tepung	0.112	40.88
Air teh	0.247	1.8
Kopi	0.171	3.47
Tepung gandum	0.13	29.74

Sumber: Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM) [8]

Dos Dedahan Radionuklid Melalui Pengambilan Makanan

Hasil analisis kepekatan aktiviti (Bq kg⁻¹) dan jumlah pengambilan makanan tahunan (kg tahun⁻¹) dalam sampel susu tepung, teh, kopi dan tepung gandum digunakan bagi menentukan dos dedahan setiap radionuklid seperti yang dicatatkan dalam Jadual 3.

Jadual 3. Dos dedahan radionuklid (²³⁸U, ²²⁶Ra, ²³²Th dan ⁴⁰K) melalui pengambilan makanan dalam sampel kajian

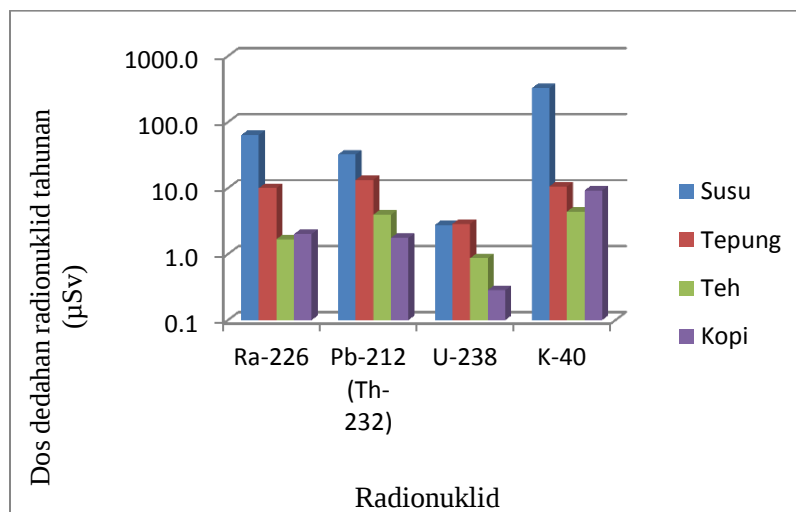
Sampel	Dos dedahan radionuklid (μSv tahun ⁻¹)			
	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Susu tepung	2.8	63.5	32.2	326.5
The	0.9	1.7	3.9	4.4
Kopi	1.3	2.0	0.8	9.2
Tepung gandum	2.9	10.0	13.3	10.6

Melalui pengambilan susu tepung dos dedahan radionuklid yang dikira adalah lebih tinggi berbanding dos dedahan radionuklid ²²⁶Ra dan ⁴⁰K dos yang dilaporkan oleh Ababneh et al., iaitu 17.91 μSv tahun⁻¹ dan 219.43 μSv tahun⁻¹ [9]. Nilai yang tinggi ini adalah disebabkan jumlah pengambilan susu tepung di dalam kajian Ababneh et al.

hanyalah 15 kg berbanding 40.88 kg di dalam kajian ini. Jumlah dos dedahan radionuklid ^{40}K juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan jumlah dos dedahan radionuklid melalui pengambilan susu di Argentina iaitu dengan purata 143 μSv [10]. Berdasarkan kandungan radionuklid dalam teh seperti dilaporkan menunjukkan kandungan ^{226}Ra lebih tinggi daripada kajian yang dijalankan oleh Hosseini et al. yang melaporkan kandungan ^{226}Ra yang lebih rendah di dalam teh iaitu sebanyak 0.48 $\mu\text{Sv tahun}^{-1}$ [11]. Kandungan radionuklid yang lebih tinggi di dalam sampel teh berkemungkinan disebabkan kedudukan geografi ladang-ladang teh yang berada pada altitud yang tinggi di mana semakin tinggi altitud semakin meningkat paras sinaran latar belakang disebabkan oleh pengaruh sinaran kosmik. Untuk sampel tepung gandum, dos dedahan radionuklid melalui kepekatan aktiviti radionuklid ^{226}Ra yang diperolehi di dalam kajian ini adalah lebih tinggi daripada dos dedahan radionuklid ^{226}Ra diperolehi di Tehran iaitu 2.15 $\mu\text{Sv tahun}^{-1}$.

Jumlah keseluruhan dos dedahan radionuklid ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th dan ^{40}K melalui pengambilan tepung gandum, teh dan kopi adalah 13.7 ± 5.9 , 18.0 ± 6.6 , 5.1 ± 1.4 dan 24.2 ± 3.2 $\mu\text{Sv tahun}^{-1}$. Jumlah dos dedahan dalaman melalui pengambilan radionuklid ^{226}Ra adalah jauh lebih tinggi berbanding yang dilaporkan oleh Choi et al. dimana jumlah dos dedahan radionuklid ini melalui pengambilan makanan di Korea adalah 1.81 $\mu\text{Sv tahun}^{-1}$ [12].

Secara keseluruhannya, jumlah dos dedahan dalaman tahunan bagi orang dewasa adalah sebanyak 61.0 μSv dan 425 $\mu\text{Sv tahun}^{-1}$ bagi kanak-kanak. Jumlah ini adalah jauh lebih besar daripada dos dedahan dalaman tahunan yang dilaporkan melalui pengambilan beras di Malaysia iaitu sebanyak 0.02 $\mu\text{Sv tahun}^{-1}$ [13]. Walaubagaimanapun jumlah ini masih kecil dan berada dibawah dos yang disarankan oleh UNSCEAR iaitu 1 mSv tahun^{-1} . Namun begitu kajian ini hanya mengkaji empat jenis sampel sahaja [14]. Dos dedahan radionuklid dari makanan lain juga perlu di ambil kira untuk mendapatkan dos dedahan radionuklid tahunan melalui pengambilan makanan yang lebih tepat. Perbandingan dos dedahan tahunan mengikut jenis makanan ditunjukkan di dalam Rajah 2.



Rajah 2. Perbandingan Dos Dedahan Dalaman Tahunan Melalui Pengambilan Susu Tepung, Tepung Gandum, Teh Dan Kopi.

Risiko Kanser Tambahan Sepanjang Hayat

Pengiraan risiko kanser tambahan sepanjang hayat dikira dalam sampel susu tepung, teh, kopi dan tepung gandum. Nilai kebarangkalian risiko kanser melalui pengambilan susu tepung, tepung gandum, teh dan kopi ditunjukkan dalam Jadual 4 manakala jumlah kebarangkalian peningkatan risiko kanser melalui pengambilan makanan ditunjukkan di dalam Jadual 5.

Jadual 4. Kebarangkalian peningkatan risiko kanser sepanjang hayat melalui pengambilan susu tepung, tepung gandum, teh dan kopi.

Radionuklid	Kebarangkalian risiko kanser (10^{-4})			
	Susu tepung	Tepung gandum	Teh	Kopi
^{226}Ra	2.63	0.28	0.05	0.05
^{232}Th	1.33	0.37	0.10	0.05
^{238}U	0.11	0.08	0.02	0.01
^{40}K	13.50	0.30	0.12	0.30

Jadual 5. Jumlah kebarangkalian peningkatan risiko kanser melalui pengambilan makanan

Makanan	Kebarangkalian peningkatan risiko kanser sepanjang hayat (10^{-4})
Kopi	0.30
Teh	0.40
Tepung gandum	1.01
Susu tepung	17.60

Kajian ini mendapati risiko kanser melalui pengambilan radionuklid ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K di dalam susu tepung masing-masing adalah 2.6×10^{-4} , 1.33×10^{-4} , 1.1×10^{-5} dan 1.4×10^{-3} . Jumlah keseluruhan risiko kanser melalui pengambilan radionuklid di dalam susu tepung adalah 1.8×10^{-3} . Nilai ini bermaksud kebarangkalian peningkatan risiko kanser sepanjang hayat bagi kanak-kanak adalah sebanyak 0.18 % dan bersamaan dengan kebarangkalian kejadian kanser 1.8 orang dalam 1000 orang penduduk Malaysia.

Jumlah keseluruhan risiko kanser melalui pengambilan radionuklid di dalam tepung gandum, teh dan kopi adalah 1.7×10^{-4} . Nilai ini menunjukkan kebarangkalian peningkatan risiko kanser adalah sebanyak 0.017 % dan bermaksud kebarangkalian kejadian kanser adalah 1.7 orang bagi setiap 10,000 orang penduduk Malaysia. Jumlah ini adalah lebih rendah daripada yang dilaporkan dalam kajian Akhter et al. [15] yang menganggarkan jumlah risiko kanser melalui pengambilan makanan dikalangan populasi penduduk Pakistan iaitu sebanyak 4.5×10^{-4} [14]. Sekiranya susu tepung yang sama diambil oleh orang dewasa, risiko kanser keseluruhan melalui pengambilan radionuklid di dalam susu tepung, tepung gandum, teh dan kopi adalah 1.9×10^{-4} dengan kebarangkalian peningkatan risiko kanser sebanyak 0.019 %. Nilai ini menandakan kebarangkalian kejadian kanser adalah 1.9 orang bagi setiap 10,000 orang penduduk Malaysia.

Nilai risiko kanser yang diperolehi di dalam kajian ini boleh dikira kecil jika dibandingkan dengan jumlah risiko kanser dari kesemua sumber semulajadi iaitu 6.0×10^{-3} berdasarkan purata dos tahunan dunia kepada manusia iaitu 2.4 mSv setahun.

Kesimpulan

Kajian ini telah dijalankan menggunakan empat jenis makanan iaitu susu tepung, tepung gandum, teh dan kopi. Kepekatan aktiviti radionuklid, dos dedahan tahunan kepada penduduk Malaysia melalui pengambilan radionuklid semulajadi dalam makanan dan risiko kanser telah diperolehi melalui kajian ini.

Dos dedahan dalaman tahunan melalui pengambilan radionuklid ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K di dalam susu tepung adalah 63.5, 32.2, 2.8 dan 326.5 μSv . Nilai ini memberikan jumlah dos dedahan tahunan bagi kanak-kanak adalah sebanyak 425 μSv dan mengakibatkan risiko kanser 1.6×10^{-3} . Oleh itu, kebarangkalian peningkatan risiko kanser sepanjang hayat melalui pengambilan susu tepung bagi kanak-kanak adalah sebanyak 0.0016%. Manakala, dos dedahan dalaman tahunan melalui pengambilan ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K di dalam makanan bagi orang dewasa adalah 13.7, 19, 4 dan 24.2 μSv . Impak radiologi bagi kesemua radionuklid tersebut adalah sebanyak 61.0 μSv . Jumlah ini mengakibatkan risiko kanser sebanyak 1.5×10^{-4} .

Jumlah ini menandakan kebarangkalian peningkatan risiko kanser melalui pengambilan makanan adalah sebanyak 0.00015%. Kedua-dua nilai risiko kanser yang didapati di dalam kajian ini adalah kecil jika dibandingkan dengan jumlah risiko kanser melalui akibat sumber sinaran semulajadi berdasarkan purata dos sinaran dunia iaitu 2.4 mSv setahun. Dos dedahan dalaman tahunan yang diperolehi di dalam kajian ini tidak memberi kesan bahaya kesihatan dan diet penduduk Malaysia juga masih selamat berdasarkan piawai antarabangsa.

Penghargaan

Setinggi – tinggi penghargaan dan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas geran penyelidikan GUP-2012-083 yang diberikan untuk projek ini juga kepada semua kakitangan makmal Sains Nuklear, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) di atas sokongan, bantuan dan bimbingan sepanjang tempoh kerja makmal dijalankan.

Rujukan

1. International Atomic Energy Agency (IAEA). (1989). Measurement of radionuclides in food and environment. A guidebook Technical Series 295. Vienna: International Atomic Energy Agency.
2. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2002). Natural and induced radioactivity in food. IAEA-TECDOC-1287. Vienna: International Atomic Energy Agency. 1-131
3. Hernandez, F., Hernandez-Armas, J., Catalan, A., Fernandez-Aldecoa, J.C. & Landeras, M.I. (2004). Activity concentrations and mean annual effective dose of foodstuffs on the Island of Tenerife, Spain. *Radiation Protection Dosimetry* 111:205-210.
4. Aznan F. I., Amran A.M., Muhammad S. Y., Redzuwan Y. & Ismail, B. (2010). Penilaian risiko radiologi bahan binaan konkrit di Semenanjung Malaysia. *Sains Malaysiana*. 39 (4): 607-613.
5. Che Nor Aniza Binti Che Zainul Bahri, Khoo Kok Siong, Amran Ab. Majid, Norafatin Khalid. (2014). Penilaian Risiko Kanser dari Sampel Tanah di Sekitar Kawasan Perindustrian Gebeng, Pahang dan Sampel Amang di Perak. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 18(2): 337 – 343.
6. Canbazoglu, C. & Dogru, M. (2012). A preliminary study on ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs concentrations in vegetables and fruits frequently consumed by inhabitants of Elazig Region, Turkey. *Journal Radioanalytical Nuclear Chemistry*.
7. International Commission Radiation Protection (ICRP). (2007). Recommendations of the ICRP: Annals of the ICRP volume 37/2-4.
8. Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM). (2003). Laporan Tahunan Kementerian Kesihatan Malaysia. 1-192.
9. Ababneh, Z.Q., Alyassin, A.M., Aljarrah, K.M. & Ababneh, A.M. (2009). Measurement of natural radioactivity in powdered milk consumed in Jordan and estimates of the corresponding annual effective dose. *Radiation Protection Dosimetry* 138:278-283.
10. Desimoni, J., Sives, F., Errico, L., Mastrantonio, G. & Taylor, M.A. (2009). Activity levels of gamma emitters in Argentina cow milk. *Journal of Food and Analysis* 22:250-253.
11. Hosseini, T., Fathivand, A. A., Abbasizadeh F., Karimi, M & Barati, H. (2008). Assessment of annual effective dose from ^{238}U and ^{226}Ra due to consumption of foodstuffs by inhabitants of Tehran City, Iran. *Radiation Protection Dosimetry* 121:330-332.
12. Choi, M.S., Lin, X.J., Lee, S.A., Kim W., Kang, H.D., Doh, S.H., Kim, D.S. & Lee, D.M. (2008). Daily intakes of naturally occurring radioisotopes in typical Korean foods. *Journal of Environmental Radioactivity* 99:1319-1323.
13. Saeed, M.A., Wahab, N.A.A., Hossain, I., Ahmed, R., Abdullah, H.Y., Ramli, A.T. & Ahmed, T.B. (2011). Measuring radioactivity level in various types of rice using hyper pure germanium (HPGe) detector. *International Journal of the Physical Sciences* 6(32): 7335-7340.

14. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. 1: Sources. 1-439.
15. Akhter, P., Rahman, K., Orfi, S.D. & Ahmad, N. (2007). Radiological impact of dietary intake of naturally occurring radionuclides on Pakistani adults. *Food and Chemical Toxicology* 45:272-277.