

Penentuan Kepekatan Aktiviti Radionuklid Tabii ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam Ikan di Pesisiran Pantai Terengganu, Malaysia (Determination of Concentration Activity Natural Radionuclide ^{232}Th , ^{238}U and ^{40}K in Fish at the Coastal Area of Terengganu, Malaysia)

MNR ROSLI*, SB SAMAT, MS YASIR & MF MOHD YUSOF

ABSTRAK

Penentuan ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam 10 spesies ikan yang ditangkap dari 3 lokasi di kawasan pesisiran pantai Terengganu, Malaysia menggunakan teknik ICP-MS. Tahap kepekatan aktiviti (Bq kg^{-1} berat kering) didapati berbeza daripada $2.72 \times 10^{-4} \pm 1.96 \times 10^{-4}$ hingga $50.66 \times 10^{-4} \pm 34.57 \times 10^{-4}$ bagi ^{232}Th , $0.96 \times 10^{-3} \pm 0.37 \times 10^{-3}$ hingga $10.04 \times 10^{-3} \pm 5.09 \times 10^{-3}$ bagi ^{238}U dan 36.70 ± 17.53 hingga 82.38 ± 27.65 bagi ^{40}K . Berdasarkan kepekatan aktiviti radionuklid, dos berkesan tahunan dan risiko kanser telah dianggarkan. Keputusan kajian menunjukkan bahawa dos berkesan kolektif (mSv tahun^{-1}) dianggarkan 2.47×10^{-5} bagi ^{232}Th , 6.52×10^{-6} bagi ^{238}U dan 1.9×10^{-2} bagi ^{40}K adalah jauh lebih rendah daripada saranan UNSCEAR. Risiko kanser bagi orang dewasa yang dianggarkan daripada dos berkesan tahunan adalah 66.9×10^{-6} . Nilai ini adalah jauh lebih rendah daripada faktor risiko kanser UNSCEAR iaitu 8.4×10^{-3} dan faktor risiko kanser ICRP sebanyak 3.5×10^{-3} . Kajian ini menyimpulkan bahawa dos yang diterima oleh penduduk setempat hasil daripada pengambilan ikan agak rendah dan tidak membahayakan kesihatan manusia dan selamat untuk dimakan.

Kata kunci: Dos dedahan dalaman; kepekatan aktiviti; radionuklid tabii; risiko kanser; spektrometri jisim-plasma gandingan teraruh

ABSTRACT

Determination of ^{40}K , ^{232}Th and ^{238}U in 10 fish species caught from 3 locations in the coastal area of Terengganu, Malaysia were determined using ICP-MS technique. The activity concentration varies from 36.70 ± 17.53 to 82.38 ± 27.65 for ^{40}K , $2.72 \times 10^{-4} \pm 1.96 \times 10^{-4}$ to $50.66 \times 10^{-4} \pm 34.57 \times 10^{-4}$ for ^{232}Th and $0.96 \times 10^{-3} \pm 0.37 \times 10^{-3}$ to $10.04 \times 10^{-3} \pm 5.09 \times 10^{-3}$ for ^{238}U . Based on activity concentration, annual effective dose and cancer risk were estimated. The results showed that the collective effective doses (mSv year^{-1}) were estimated to be 2.47×10^{-5} for ^{232}Th , 6.52×10^{-6} for ^{238}U and 1.9×10^{-2} for ^{40}K is much lower than the UNSCEAR recommendation. Cancer risk for adults estimated from annual effective dose are 66.9×10^{-6} . This value are much lower than UNSCEAR cancer risk factor of 8.4×10^{-3} and ICRP cancer risk factor of 3.5×10^{-3} . The present study concludes that the dose received by the locals due to consumption of fish rather small and did not deteriorate human's health and safe for consumption.

Keywords: Activity concentration; cancer risk; inductive coupled plasma-mass spectrometry; ingestion dose; natural radionuclide

PENGENALAN

Keradioaktifan wujud secara semula jadi dalam air laut. Antara unsur radioaktif yang ketara yang melalui proses pereputan radioaktif spontan adalah ^{232}Th dan ^{238}U yang menghasilkan tenaga, zarah subatom dan selebihnya atau nukleus anak yang lebih kecil daripada yang asal (Broecker 1981). Namun begitu, aktiviti manusia seperti perlombongan minyak dan pelancongan yang menghasilkan hidrokarbon boleh mencemarkan dan meningkatkan kepekatan aktiviti radionuklid. Pelarutan radionuklid ke dalam air laut secara langsung atau tidak langsung menjejaskan keseimbangan ekologi alam sekitar dan aktiviti organisma akuatik kerana ketoksikan radionuklid yang tinggi dan tingkah laku terkumpul organisma tersebut (Matta et al. 1999).

Kepekatan radionuklid dalam air laut dan organisma marin adalah input yang penting bagi menilai impak radiologi terhadap kesihatan manusia dan ekologi marin (Templeton et al. 2009). Adalah diketahui umum bahawa organisma marin mempunyai sifat pengumpulan radionuklid tabii dan ianya boleh memberikan maklumat yang berguna untuk kajian radio-ekologi dan radiologi (Aarkrog et al. 1997; Narayana et al. 1995). Ikan dan hasil laut merupakan sumber makanan yang penting di pelbagai tempat di dunia dan mempunyai potensi besar sebagai sumber protein berharga bagi kebanyakan negara membangun (Young et al. 2002). Malaysia dianggap antara pengguna makanan laut yang paling tinggi di rantau Asia Tenggara mengikut tempoh pengambilan per kapita dan peratusan protein (Alam & Mohamed 2011).

Siri pereputan radionuklid uranium dan torium adalah sangat penting kerana mereka memasuki tubuh manusia terutamanya melalui pengambilan makanan dan hanya tahap yang jauh lebih kecil melalui penafasan (UNSCEAR 2000). Sementara itu, ^{40}K adalah penting kerana ia adalah radionuklid tabii jangka hayat panjang (1.25×10^9 tahun) dalam persekitaran marin (Iyegar 1990). Oleh itu, untuk menganggarkan risiko radiologi kepada alam sekitar, pengetahuan yang lebih luas mengenai kepekatan aktiviti radionuklid dalam beberapa rujukan organisma adalah sangat penting (Brown et al. 2004). Perindustrian dan pembangunan bandar menyebabkan banyak unsur radioaktif mengalir ke sungai dan seterusnya ke dalam laut, menyebabkan peningkatan kadar kandungan pelbagai radioaktif di kawasan sekitarnya (Aysun et al. 2002).

Kajian ini merupakan kajian terkini yang melibatkan ikan komersial daripada kawasan perairan pantai Terengganu, Malaysia. Tujuan utama kajian ini adalah untuk: menentukan kepekatan aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K ; menilai dos berkesan tahunan (daripada ketiga-tiga radionuklid) kepada orang dewasa; membandingkan aktiviti dan dos dengan kajian sebelum ini; dan menganggarkan risiko kesihatan disebabkan oleh kehadiran radionuklid dalam ikan. Keputusan daripada kajian ini boleh dijadikan data asas bagi penyelidik lain pada masa hadapan.

BAHAN DAN KAEDAH

SAMPEL DAN LOKASI PERSAMPELAN

Sampel ikan diperoleh dari tiga lokasi perikanan di kawasan pesisiran pantai Terengganu Malaysia seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Lokasi ini telah dikenal pasti sebagai kawasan penangkapan ikan utama untuk memenuhi bekalan makanan di negeri Terengganu dan Pahang. Ikan ini ditangkap pada Mac 2015, menggunakan pukat tunda yang digunakan oleh bot nelayan kelas C. Tiga puluh sampel ikan daripada 10 spesies yang berbeza telah dipilih berdasarkan ikan komersial yang terdapat di Malaysia. Butiran persampelan, spesies dan berat purata sampel ditunjukkan dalam Jadual 1.



RAJAH 1. Lokasi Persampelan L1 ($04^{\circ} 20.51' \text{ N}$, $104^{\circ} 34.48' \text{ E}$), L2 ($04^{\circ} 18.45' \text{ N}$, $104^{\circ} 30.50' \text{ E}$) dan L3 ($04^{\circ} 47.32' \text{ N}$, $103^{\circ} 53.60' \text{ E}$)

PERAWATAN SAMPEL

Sampel ikan yang diambil dibasuh menggunakan air suling dan disiang untuk mengasingkan kepala, isi perut, insang dan tisu daging ikan. Setelah dicuci menggunakan air suling, sampel ikan yang diketahui beratnya dikeringkan menggunakan ketuhar pada suhu 80°C sehingga beratnya menjadi malar. Sampel kering ini kemudiannya dikisar sekali lagi untuk mendapatkan butiran halus sekitar $500 \mu\text{m}$. Sebanyak 0.1 g sampel kemudiannya dicampurkan dengan 4.0 mL asid nitrik dan 6.0 mL asid hidroklorik. Campuran dihazam menggunakan kemudahan multigelombang selama 55 min sehingga membentuk larutan jernih. Larutan sampel yang terhasil kemudiannya dituras dan ditambah air suling sehingga isi padu larutan sampel mencecah 100 mL sebelum ditentukan kandungan radionuklidnya menggunakan peralatan ICP-MS. Proses perawatan sampel ini dipersetujui dengan proses yang dilakukan oleh Yasir et al. (2008).

JADUAL 1. Spesies ikan dan berat purata (g) setiap sampel

No Sampel	Spesies	Nama tempatan	Lokasi	Berat purata (g) ¹
1	<i>Decapterus maraudsi</i>	Selayang	L1	125.33 ± 17.13
2	<i>Megalaspis cordyla</i>	Cencaru	L1	243.33 ± 3.67
3	<i>Bramidae</i>	Bawal	L1	804.33 ± 76.04
4	<i>Selaroides leptolepis</i>	Selar	L1	152.25 ± 10.47
5	<i>Epinephelus lanceolatus</i>	Kerapu	L2	1270.25 ± 116.02
6	<i>Rastrelliger</i>	Kembung	L2	254.33 ± 21.15
7	<i>Nibea soldado</i>	Gelama	L2	340.25 ± 8.98
8	<i>Pristipomoides filamentosus</i>	Kerisi	L3	295.33 ± 93.45
9	<i>Priacanthus tayenus</i>	Lolong	L3	130.00 ± 5.16
10	<i>Siganus canaliculatus</i>	Dengkis	L3	215.33 ± 23.04

¹Dari tiga ekor ikan

ANALISIS SAMPEL

Sampel yang telah disediakan dalam bentuk larutan dianalisis menggunakan Spektrometer Jisim-Plasma Gandingan Teraruh (ICP-MS) yang telah dikalibrasi menggunakan piawai SRM MA-A-2 (TM) *Fish Flesh Homogenate* (Yasir et al. 2008). ICP-MS adalah gabungan sumber suhu tinggi ICP (Plasma Gandingan Teraruh) dengan spektrometer jisim. Sumber ICP menukarkan atom unsur-unsur dalam sampel kepada ion. Ion ini kemudiannya dipisahkan dan dikesan oleh spektrometer jisim (Ruth 2005). ICP-MS menghasilkan berat radionuklid (w) seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2 yang digunakan untuk menentukan kepekatan aktiviti radionuklid (A).

PENENTUAN KEPEKATAN AKTIVITI RADIONUKLID, DOS BERKESAN TAHUNAN DAN RISIKO KANSER

Kepekatan aktiviti radionuklid, A (Bq kg^{-1}) telah ditentukan dengan menggunakan (1) di bawah,

$$A = \frac{\lambda \theta N_A}{M} \times \frac{w}{W} \quad (1)$$

dengan λ adalah pemalar pereputan radionuklid; θ adalah kelimpahan radionuklid di alam semesta, N_A (mol^{-1}) adalah pemalar Avogadro; M (g mol^{-1}) adalah berat molekul radionuklid. W (g) adalah berat sampel (bersamaan dengan 0.1 g sepanjang kajian) dan w (mg kg^{-1}) adalah kandungan radionuklid tabii di dalam sampel yang diperoleh daripada ICP-MS (Yasir et al. 2008). Nilai-nilai w dan A untuk tiga radionuklid ditunjukkan dalam Jadual 2.

Daripada aktiviti ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K , dos berkesan tahunan D (mSv tahun^{-1}) dikira menggunakan (2),

$$D = I \times A \times E \quad (2)$$

dengan I (kg tahun^{-1}) adalah kadar pengambilan ikan tahunan iaitu $57.3 \text{ kg tahun}^{-1}$ (Warr et al. 2008), A (Bq kg^{-1}) adalah kepekatan aktiviti radionuklid dan E (mSv Bq^{-1}) adalah faktor penukaran aktiviti radionuklid kepada dos untuk dewasa (> 17 tahun) (ICRP 2012). Jika diandaikan

bahawa jangka hayat seseorang individu ialah 70 tahun, risiko kanser R dianggarkan menggunakan (3),

$$R = D \times 70 \times (5 \times 10^{-5}) \quad (3)$$

dengan 5×10^{-5} (mSv^{-1}) adalah faktor risiko kanser bagi dos yang rendah (IAEA 2004). Penyelidikan ini tertumpu kepada penduduk bagi kategori umur > 17 (dewasa) kerana orang dewasa adalah pengguna utama ikan Malaysia (Warr et al. 2008). Dos berkesan tahunan D (mSv tahun^{-1}) dan risiko kanser R adalah seperti dalam Jadual 4.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KANDUNGAN RADIONUKLID TABII ^{232}Th , ^{238}U DAN ^{40}K DALAM SAMPEL

ICP-MS menunjukkan kandungan purata radionuklid tabii ^{232}Th , ^{238}U dan ^{40}K dalam sampel seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2. Tahap ^{40}K dalam semua spesies ikan telah dikaji agak tinggi berbanding ^{232}Th dan ^{238}U . ^{232}Th bagi sampel kerisi, lolong dan dengkis tidak dikesan kerana ia adalah di bawah had pengesanan teknik analisis yang digunakan (ICP-MS). Perbezaan tahap kandungan radionuklid tabii di dalam ikan mungkin disebabkan oleh perbezaan dalam spesies, metabolisma, corak pemakanan dan pendedahan terhadap variasi pencemaran daripada sumber berasaskan laut (Al-Masri et al. 2000). Daripada kandungan radionuklid tabii dalam sampel yang diperoleh daripada ICP-MS, pengiraan dilakukan menggunakan (1) bagi menganggarkan kepekatan aktiviti radionuklid seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.

KEPEKATAN AKTIVITI ^{232}Th , ^{238}U DAN ^{40}K

Kepekatan radionuklid dalam ikan adalah berbeza antara spesies walaupun mereka telah ditangkap dalam kawasan yang sama, menunjukkan berlakunya biopengumpulan radionuklid di dalam ikan (Jadual 2). Purata kepekatan aktiviti radionuklid ialah $18.75 \times 10^{-4} \pm 10.21 \times 10^{-4} \text{ Bq}$

JADUAL 2. Kandungan radionuklid di dalam sampel, w (mg kg^{-1}) dan kepekatan aktiviti radionuklid, A (Bq Kg^{-1})

No sampel	Kandungan radionuklid di dalam sampel, w (mg kg^{-1})			Kepekatan aktiviti radionuklid, A (Bq Kg^{-1})		
	^{232}Th ($\times 10^{-4}$)	^{238}U ($\times 10^{-3}$)	^{40}K	^{232}Th ($\times 10^{-4}$)	^{238}U ($\times 10^{-3}$)	^{40}K
1	4.55 ± 1.77	1.06 ± 0.58	16.04 ± 5.94	18.4 ± 12.4	1.30 ± 0.71	49.28 ± 18.26
2	1.56 ± 0.43	0.93 ± 0.18	21.70 ± 8.36	6.32 ± 2.99	1.13 ± 0.22	66.69 ± 25.69
3	12.52 ± 8.53	1.91 ± 0.49	20.60 ± 5.97	50.66 ± 34.57	2.34 ± 0.60	63.29 ± 18.35
4	8.89 ± 6.70	8.20 ± 4.15	18.76 ± 6.13	35.99 ± 27.13	10.04 ± 5.09	57.65 ± 18.84
5	1.89 ± 0.52	2.57 ± 2.09	18.86 ± 8.28	7.65 ± 3.65	3.14 ± 2.57	57.94 ± 25.44
6	2.34 ± 0.74	1.53 ± 0.34	13.45 ± 4.08	9.48 ± 5.22	1.87 ± 0.42	41.32 ± 12.55
7	0.67 ± 0.48	1.16 ± 0.05	12.99 ± 4.22	2.72 ± 1.96	1.42 ± 0.06	39.90 ± 12.96
8	-	70.78 ± 0.52	13.83 ± 5.48	-	0.96 ± 0.37	42.50 ± 16.84
9	-	1.67 ± 0.65	11.94 ± 5.71	-	2.04 ± 0.80	36.70 ± 17.53
10	-	0.89 ± 0.48	26.81 ± 9.00	-	1.09 ± 1.02	82.38 ± 27.65

JADUAL 3. Perbandingan kepekatan aktiviti radionuklid, A (Bq Kg⁻¹) dengan kajian terdahulu

Lokasi	Spesies	²³² Th (×10 ⁻⁴)	²³⁸ U (×10 ⁻³)	⁴⁰ K	Rujukan
Persisiran Terengganu, Malaysia	p.s	18.75 ± 10.21	2.53 ± 1.57	53.76 ± 14.51	Kajian semasa (purata)
Persisiran Terengganu, Malaysia	p.s	2.72 - 50.66	0.96 - 10.04	36.70 - 82.38	Kajian semasa (julat)
Laut Atlantik Utara	p.s	-	2.0 - 30.2	32 - 149	Carvalho et al. (2011)
Laut Irish	p.s	250 - 310	1070 - 1150	470 - 486	IAEA (2013)
India	p.s	-	-	11.5 - 360.7	Feroz & Godwin (2009)
India	p.s	87.25	-	73.81	NandhaKumar et al. (2014)
Hong Kong	p.s	-	-	40 - 110	Yu (1997)
Brazil	p.s	200 - 1400	20 - 80	-	Wagner et al. (2009)

p.s - pelbagai spesies

Kg⁻¹ bagi ²³²Th, $2.53 \times 10^{-3} \pm 1.57 \times 10^{-3}$ Bq Kg⁻¹ bagi ²³⁸U dan 53.76 ± 14.51 Bq Kg⁻¹ bagi ⁴⁰K. Secara amnya, kepekatan aktiviti purata ⁴⁰K adalah yang tertinggi berbanding dengan aktiviti ²³²Th dan ²³⁸U, seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3. Terdapat dua sebab utama yang menyebabkan ikan dicemari oleh ⁴⁰K, iaitu, melalui pemendapan permukaan atau melalui rantai makanan ikan. Pemendapan permukaan boleh berlaku apabila terdapat pemindahan kalium daripada komponen ekosistem laut seperti sedimen dan plankton (Carvalho et al. 2011). Di samping itu, penyebaran ⁴⁰K, ²³²Th dan ²³⁸U dalam ekosistem akuatik boleh berlaku melalui penggantungan pepejal yang seterusnya melibatkan komponen akuatik yang lain seperti plankton dan terumbu karang. Sifat kimia air, fisiologi ikan termasuk tingkah laku pemakanan dan penghadaman makanan oleh ikan juga boleh memberi kesan kepada jumlah radionuklid terkumpul di dalam badan ikan.

Secara khusus, pengesanan ⁴⁰K dalam semua sampel telah dijangka kerana kelimpahan semula jadinya yang tinggi (Samat et al. 1997). Tahap tertinggi kepekatan aktiviti ⁴⁰K ialah 82.38 ± 27.65 Bq kg⁻¹ dalam sampel ikan dengkis, manakala yang terendah adalah 36.70 ± 17.53 Bq kg⁻¹ dalam sampel ikan lolong. Fenomena ini berlaku kerana kedudukan tinggi ikan tropika lalu menyebabkan tahap kepekatan ⁴⁰K yang tinggi. Sementara itu, ²³²Th tidak dapat dikesan dalam tiga spesies ikan, iaitu kerisi, lolong dan dengkis kerana nilai yang didapati berada di bawah tahap pengesanan ICP-MS. Tahap tertinggi kepekatan aktiviti ²³²Th ialah $50.66 \times 10^{-4} \pm 34.75 \times 10^{-4}$ Bq kg⁻¹ dalam sampel ikan bawal, manakala yang terendah adalah $2.72 \times 10^{-4} \pm 1.96 \times 10^{-4}$ Bq kg⁻¹ dalam sampel ikan gelama. Tahap tertinggi kepekatan aktiviti ²³⁸U pula ialah $10.04 \times 10^{-3} \pm 5.09 \times 10^{-3}$ Bq kg⁻¹ dalam sampel ikan selar, manakala yang terendah adalah $0.96 \times 10^{-3} \pm 0.37 \times 10^{-3}$ Bq kg⁻¹ dalam sampel ikan kerisi. Ia boleh dilihat bahawa kepekatan aktiviti radionuklid yang diperoleh dalam kajian ini bertindih dengan julat hasil yang dilaporkan oleh penyelidik sebelumnya. Ini menunjukkan bahawa keputusan yang diperoleh dalam kertas ini adalah dalam persetujuan dengan keputusan kajian terdahulu seperti ditunjukkan dalam Jadual 3.

DOS BERKESAN TAHUNAN

Secara purata, manusia terdedah kepada radiasi yang timbul daripada sumber semula jadi berkadar 2.4 mSv

tahun⁻¹ (Ramli 2007; UNSCEAR 2000). Purata pendedahan pengambilan tahunan 0.17 mSv tahun⁻¹ untuk ⁴⁰K dan 0.12 mSv tahun⁻¹ untuk siri radionuklid Uranium dan Thorium, yang berjumlah 0.29 mSv tahun⁻¹ (Samat & Evans 2011; UNSCEAR 2000). Walau bagaimanapun, tahap dedahan bagi manusia adalah berbeza daripada segi geologi, lokasi dan cuaca. Tahap ini juga dipengaruhi oleh kehadiran logam berat dan radioaktif semula jadi.

Kehadiran antropogen, radionuklid dalam ikan dan penyerapan radionuklid melalui diet menambahkan lagi dos berkesan kepada manusia (Carvalho et al. 2011). Jadual 4 menunjukkan bahawa ⁴⁰K menyumbang jumlah dos berkesan tahunan tertinggi iaitu 1.91×10^{-2} mSv tahun⁻¹. Walau bagaimanapun, kandungan ⁴⁰K dalam badan adalah dikawal ketat homeostatik dengan jumlah yang dikekalkan secara aktif yang dikawal selia oleh badan untuk mencapai julat normal yang diperlukan untuk fungsi sistem dan ia tidak dipengaruhi oleh variasi tahap radionuklid dalam alam sekitar (John et al. 2009; Samat & Evans 2011). Oleh itu, kandungan ⁴⁰K dalam badan adalah tetap, dengan lelaki dewasa mempunyai kira-kira 3700 Bq. Isotop ini memberikan dos sebanyak 0.18 mSv tahun⁻¹ kepada tisu lembut dan 0.14 mSv tahun⁻¹ kepada tulang (ICRP 1990).

Manakala dos berkesan tahunan yang disumbangkan oleh ²³²Th adalah 2.47×10^{-5} mSv tahun⁻¹ dan 6.52×10^{-6} mSv tahun⁻¹ oleh ²³⁸U. Dos berkesan tahunan yang terhasil daripada pengambilan radionuklid ²³²Th dan ²³⁸U adalah sangat rendah berbanding dengan kajian yang dilaporkan oleh penyelidik sebelum ini (Brown et al. 2004; Carvalho et al. 2011). Keputusan kajian ini juga menunjukkan bahawa purata dos berkesan tahunan adalah lebih rendah daripada dos berkesan tahunan terhasil daripada sumber semula jadi yang dilaporkan oleh UNSCEAR (2.4 mSv tahun⁻¹) dan ICRP (1.0 mSv tahun⁻¹) (ICRP 1990; UNSCEAR 2000).

RISIKO KANSER

Jadual 4 menunjukkan bahawa risiko kanser, *R* untuk orang dewasa berdasarkan jumlah dos dedahan. Ia adalah jauh lebih rendah daripada faktor risiko kanser UNSCEAR iaitu 8.4×10^{-3} (dianggarkan daripada UNSCEAR jumlah dos sinaran semula jadi 2.4 mSv tahun⁻¹) dan faktor

JADUAL 4. Dos Dedahan, D and risiko kanser, R

No sampel	D (mSv tahun ⁻¹)				R ($\times 10^{-6}$)
	²³² Th ($\times 10^{-5}$)	²³⁸ U ($\times 10^{-6}$)	⁴⁰ K ($\times 10^{-2}$)	Jumlah ($\times 10^{-2}$)	
1	2.42	3.35	1.75	1.75	61.4
2	0.83	2.91	2.37	2.37	83.0
3	6.68	6.03	2.25	2.26	78.9
4	4.74	2.58	2.05	2.05	71.9
5	1.01	8.10	2.06	2.06	72.1
6	1.25	4.82	1.47	1.47	51.4
7	0.36	3.66	1.42	1.42	49.6
8	-	2.47	1.51	1.51	52.8
9	-	5.26	1.30	1.30	45.6
10	-	2.81	2.93	2.93	102.4
Julat	0.36 - 6.68	2.47 - 8.10	1.30 - 2.93	1.30 - 2.93	45.6 - 102.4
Purata	2.47	6.52	1.91	1.91	66.9

risiko kanser oleh ICRP sebanyak 3.5×10^{-3} (dianggarkan daripada tahap yang disyorkan pengambilan dos 1.0 mSv tahun⁻¹). Berdasarkan Jadual 4, purata penduduk dalam satu juta orang dewasa makan ikan sampel dalam kajian ini, hanya kira-kira 67 orang dianggarkan mempunyai risiko kematian akibat kanser berbanding dengan 3500 orang, seperti yang diramalkan oleh ICRP (1990) dan 8400 orang, seperti yang diramalkan oleh UNSCEAR (2000).

KESIMPULAN

Kajian ini memberikan gambaran umum mengenai kepekatan aktiviti radionuklid tabii ²³²Th, ²³⁸U dan ⁴⁰K di kawasan pesisiran pantai Terengganu Malaysia. Kepekatan aktiviti ²³²Th ($18.75 \times 10^{-4} \pm 10.21 \times 10^{-4}$ Bq Kg⁻¹), ²³⁸U ($2.53 \times 10^{-3} \pm 1.57 \times 10^{-3}$ Bq Kg⁻¹) dan ⁴⁰K (53.76 ± 14.51 Bq Kg⁻¹) dalam pelbagai sampel ikan berada dalam perjanjian dengan nilai-nilai yang dilaporkan sebelum ini oleh penyelidik lain dan UNSCEAR. Jumlah dos pengambilan diperoleh adalah dalam lingkungan 13.0 - 29.3 μ Sv tahun⁻¹ dan nilai purata 19.1 μ Sv tahun⁻¹. Risiko kanser bagi orang dewasa yang dianggarkan daripada dos berkesan tahunan adalah 66.9×10^{-6} . Nilai ini adalah jauh lebih rendah daripada faktor risiko kanser UNSCEAR iaitu 8.4×10^{-3} dan faktor risiko kanser ICRP sebanyak 3.5×10^{-3} . Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa ikan dalam kajian ini adalah secara radiologi selamat untuk kegunaan penduduk berhampiran. Keputusan daripada kajian ini boleh dijadikan data asas bagi penyelidik lain pada masa hadapan.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia (KPT) bagi bantuan kewangan, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) dan Lembaga Kemajuan Ikan Malaysia (LKIM) untuk menyediakan kemudahan infrastruktur.

RUJUKAN

- Aarkrog, A., Baxter, M.S., Bettencourt, A.O., Bojanowski, R., Bologna, A., Charmasson, S. & Cunha, I. 1997. A comparison of doses from ¹³⁷Cs and ²¹⁰Po in marine food: A major international study. *Journal of Environmental Radioactivity* 34(1): 69-90.
- Alam, L. & Mohamed, C.A.R. 2011. Natural radionuclide of ²¹⁰Po in the edible seafood affected by coal-fired power plant industry in Kapar coastal area of Malaysia. *Environmental Health* 10: 43.
- Al-Masri, M.S., Mamish, S., Budeir, Y. & Nashwati, A. 2000. ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb concentration in fish consumed in Syria. *Journal of Environmental Radioactivity* 49: 345-53.
- Aysun, U., Gungor, Y. & Asiye, B. 2002. Trace metals and ²¹⁰Po (²¹⁰Pb) concentration in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) consumed at western Anatolia. *Applied Radiation and Isotopes* 57: 565-71.
- Broecker, W.S. 1981. *Geochemical Tracers and Ocean Circulation in Evolution of Physical Oceanography*, edited by Warren, B.A. and Wunsch, C. Cambridge, MA: MIT Press.
- Brown, J.E., Jones, S.R., Saxen, R., Thorring, H., Vives, I. & Battle, J. 2004. Radiation doses to organisms from natural radionuclides. *Journal Radiological Protection* 24: A63-A77.
- Carvalho, F.P., Oliveira, J.P. & Margarida, M. 2011. Radionuclides in deep-sea fish and other organisms from the North Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science* 68(2): 333-340.
- Feroz, K.M. & Godwin, W.S. 2009. Assessment of health safety from ingestion of natural radionuclides in seafood from tropical coast of India. *Marine Pollution Bulletin* 62: 399-404.
- 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. 2013. *Certified Reference Material for Radionuclides in Fish Flesh Sample IAEA-414 (Mixed Fish from the Irish Sea and North Sea)*. Vienna: IAEA.
- ICRP. 2012. *Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60: ICRP Publication 119*. Oxford: Pergamon Press.
- ICRP. 1990. *Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60*. Oxford: Pergamon Press.

- Iyengar, M.A.R. 1990. *The Environmental Behaviour of Radium. Technical Report Series, 310*. International Atomic Energy Agency, Vienna Vol. II. pp. 59-128.
- John, P., Margaret, M., Lynne, H. & Fred, M. 2009. *Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas*. Argonne National Laboratory, Environmental Science Division. pp. 28-36.
- Matta, J., Milad, M., Manger, R. & Tosteson, T. 1999. Heavy metals, lipid peroxidation, and cigateratoxicity in the liver of the Caribben barracuda (*Sphyraena barracuda*). *Biological Trace Element Research* 70(1): 69-79.
- NandhaKumar, P., TamilSelvi, A., Sarojini, V. & Palavesam, A. 2014. Analysis of radioactivity content in sediment, water and fish collected from Rajakkamangalam estuary of Kanyakumari district in Tamilnadu, India. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* 8(12): 1-3.
- Narayana, Y., Radhakrishna, A.P., Somashekarappa, H.M., Karunakara, N., Balakrishna, K.M. & Sidappa, K. 1995. Distribution of some natural and artificial radionuclides in the environment of Coastal Karnataka of South India. *Journal of Environmental Radioactivity* 28: 113-139.
- Ramli, A.T. 2007. *Kajian Radiologi ke atas Kesan Amang di Negeri Perak*. Laporan Akhir Projek Penyelidikan. VOT 68876, Universiti Teknologi Malaysia dan Lembaga Perlesenan Tenaga Atom Malaysia. pp. 61-72.
- Ruth, E.W. 2005. *Introduction to ICP-MS*. Crustal Geophysics and Geochemistry Science Center, U.S. Geological Survey. pp. 21-52.
- Samat, S.B. & Evans, C.J. 2011. Determination of radiation hazard arising from the ⁴⁰K content of bottled mineral water in Malaysia. *Sains Malaysiana* 40(12): 1355-1358.
- Samat, S.B., Green, S. & Beddoe, A.H. 1997. The ⁴⁰K activity of one gram of potassium. *Physics in Medicine and Biology* 42(2): 407-413.
- Templeton, W., Harrison, F., Knezovich, J., Fisher, N. & Layton, D. 2009. *Bioconcentration of Radionuclides in Marine Food-Web Organism*. Richland: Battelle Pacific Northwest Laboratories. pp. 49-61.
- UNSCEAR. 2000. *Source and Effects of Ionizing Radiation*. New York: United Nation Scientific Committee. pp. 76-15.
- UNSCEAR. 1993. *Dose Assessment Methodologies*. New York: United Nation Scientific Committee.
- Wagner, S.P., Delcy, A.P.J. & Alphonse, K. 2009. *Concentration Activities of Natural Radionuclides in Three Fish Species in Brazilian Coast and Their Contributions to the Absorbed Dose*. Rio de Janeiro: International Nuclear Atlantic Conference. pp. 165-175.
- Warr, S., Rodriguez, G. & Penm, J. 2008. *Changing Food Consumption and Imports in Malaysia*. Canberra: Australian Government, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. pp. 1-29.
- Yasir, M.S., Ab. Majid A., Ahmad Kabir, N. & Yahya, R. 2008. Kandungan logam berat dan radionuklid tabii dalam ikan, air, tumbuhan dan sedimen di bekas tapak lombong. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* 12(1): 172-178.
- Young, A.K., Mc Cubbin, D. & Camplin, W.C. 2002. *Natural Radionuclides in Seafood*. Food Standard Agency Report, CEFAS, FSA Project R 03010.
- Yu, K.N., Mao, S.Y., Young, E.C. & Stokes, M.J. 1997. A study of radioactivity in six types of fish consumed in Hong Kong. *Journal of Applied Radiation and Isotopes* 48: 515-519.
- MNR Rosli*, SB Samat & MS Yasir
 Pusat Pengajian Fizik Gunaan
 Fakulti Sains dan Teknologi
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
 Malaysia
- MF Mohd Yusof
 Pusat Pengajian Sains Kesihatan
 Kampus Kesihatan
 Universiti Sains Malaysia
 16150 Kubang Kerian, Kelantan Darul Naim
 Malaysia
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: racd919@gmail.com
- Diserahkan: 3 Ogos 2017
 Diterima: 9 Mei 2018