

Estimasi Dosis Radiasi ^{210}Po pada Ikan Laut Konsumsi dari Perairan Banda Aceh

Risa Chintia Balqis^{1*}, Febriani¹, Murdahayu Makmur²

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala
Jl. Syech Abdurrauf No.3. Kec. Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Aceh 23111 Indonesia

²Radioekologi Kelautan Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49. Jakarta Selatan, 12440 Indonesia
Email: rcbalqis@gmail.com

Abstract

The ^{210}Po Radiation Dose Estimation of Marine Fish Consumption from Banda Aceh Waters

The main idea of this study is to calculate ^{210}Po activity in marine biota from Banda Aceh waters and calculate dose estimates for marine biota consumers. Polonium analysis was carried out for Kaka Tua fish, Layur fish, Talang-talang fish, Kawet fish, and sharks using alpha spectrometer. The highest ^{210}Po activity was found in sharks at 16.90 Bq/kg and Kaka tua fish at 16.24 Bq/kg. This activity is slightly above the recommended value for seafood, which is 15 Bq / kg. Based on the calculation, the daily intake for adults is around 0.18-0.41 Bq, for children, it is 0.12-0.27 Bq, and infant are 0.06-0.14 Bq. The daily intake of adults and children exceeds the recommended annual intake limit. However, the annual intake of many countries in the Asian region, including Japan and China, also far exceeds the recommended value. The amount of marine fish consumed significantly influences this annual dose estimate. The estimated dosage of ^{210}Po yearly for adult consumers is 32.3-71.42 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ for children, it ranges from 46.65-103.16 $\mu\text{Sv}/\text{year}$, and for infants, it ranges from 78.95-174.58 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. These values are similar to the UNSCEAR recommended values: around 70, 100, and 180 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ for adults, children, and infants.

Keywords: polonium, marine life, fish, Banda Aceh Sea, doses estimation

Abstrak

Ide utama dari penelitian ini adalah untuk menghitung aktivitas ^{210}Po pada biota laut dari perairan Banda Aceh dan menghitung estimasi dosis terhadap konsumen ikan laut. Analisis polonium dilakukan terhadap sampel ikan kaka tua, ikan layur, ikan talang-talang, ikan kawet, dan ikan hiu menggunakan alfa spektrometer. Hasil penelitian menemukan aktivitas ^{210}Po tertinggi pada ikan hiu yaitu 16,90 Bq/kg, dan ikan Kaka tua sebesar 16,24 Bq/kg. Aktivitas ini sedikit diatas nilai yang direkomendasikan untuk makanan laut, yaitu sebesar 15 Bq/kg. Berdasarkan perhitungan, asupan harian terhadap orang dewasa sekitar 0,18–0,41 Bq, untuk anak-anak sebesar 0,12–0,27 Bq dan bayi sebesar 0,06–0,14 Bq. Asupan harian dewasa dan anak melebihi batas tahunan asupan yang direkomendasikan, namun asupan tahunan dari banyak Negara di kawasan Asia termasuk Jepang dan China juga jauh melebihi nilai yang direkomendasikan. Jumlah konsumsi ikan laut sangat berpengaruh terhadap estimasi dosis tahunan ini. Penghitungan estimasi dosis ^{210}Po tahunan terhadap konsumen dewasa adalah sebesar 32,3–71,42 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$, untuk anak-anak berkisar antara 46,65–103,16 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ dan untuk bayi berkisar antara 78,95–174,58 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Nilai ini mirip dengan nilai rekomendasi UNSCEAR, yaitu sekitar 70, 100 dan 180 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ untuk dewasa, anak-anak dan bayi.

Kata kunci: polonium, biota laut, ikan, perairan laut Banda Aceh, estimasi dosis

PENDAHULUAN

Kawasan Asia Tenggara, Indonesia merupakan negara terluas dengan luas lautan Indonesia dua kali lebih besar dibandingkan dengan luas daratannya. Indonesia mempunyai pulau sebanyak 17.504 buah, dengan panjang pantai mencapai 95.181 km, dengan luas perairan 5,8 juta km² yang terdiri atas laut teritorial seluas 0,3 juta km, perairan kepulauan dengan luas 2,8 juta km², dan perairan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) dengan luas 2,7 juta km² (Poerwadi, 2017).

Perairan laut Indonesia mempunyai potensi lestari sumber daya ikan atau *maximum sustainable yield (MSY)* sebesar 6,5 juta ton per tahun, dengan jumlah tangkapan yang diperbolehkan sebesar 5,2 juta ton/tahun (80% dari MSY). Berdasarkan data FAO pada tahun 2012 Indonesia menempati peringkat ke-2 untuk produksi perikanan tangkap dan peringkat ke-4 untuk produksi perikanan budidaya di dunia (Bappenas, 2014). Aceh, sebagai provinsi paling barat Indonesia, termasuk yang memiliki sumber daya laut berlimpah dengan kondisi hidro-oseanografi yang dinamis, menyediakan habitat utama bagi ikan yang tersebar di berbagai penjuru perairannya (Rizwan *et al.*, 2010).

Untuk menjaga dan melindungi potensi perikanan, baik untuk perikanan tangkap dan budidaya, sangat penting untuk menjaga kualitas lingkungannya serta tidak ada pencemaran baik yang berasal dari lingkungan luar yang masuk ke perairan laut (Bappenas, 2014). Salah satu pencemar yang belakangan ini menjadi perhatian adalah pencemar radioaktif yang berasal dari alam yaitu polonium yang banyak terakumulasi di laut (Kim *et al.*, 2017). Polonium-210 (²¹⁰Po) adalah radionuklida alami yang merupakan deret dari uranium-238 (²³⁸U) (Nelson *et al.*, 2017) yang dihasilkan dari buangan berbagai industri. Polonium memiliki aktivitas spesifik yang tinggi (1.66×10^{14} Bq/g), oleh karena itu, 1 µg dari ²¹⁰Po memancarkan partikel alfa per detik sebanyak 4,5 mg dari ²²⁶Ra (aktivitas spesifik - $3,66 \times 10^{10}$ Bq/g), 262 mg ²³⁸Pu, atau 446 kg ²³⁸U (Ram *et al.*, 2019).

Konsentrasi aktivitas polonium-210 dalam organisme laut sangat bervariasi pada berbagai spesies tertentu, dengan faktor konsentrasi dari 10³ hingga 10⁶ (Khan dan Wesley, 2016). Polonium tercatat memiliki konsentrasi tinggi di beberapa spesies laut dengan jumlah yang bervariasi tergantung jenis spesies (UNSCEAR, 2000). Studi tentang organisme akuatik, menunjukkan bahwa kontribusi polonium pada plankton dan ikan mencapai 80% dan bahkan 99% untuk krustasea (*Meganyctiphanes norvegica*) (Skwarzec & Fabisiak, 2007).

Keberadaan polonium di alam umumnya melalui proses industri atau pertambangan. Polonium terlepas ke air limbah tambang batu bara dan atau tambang lainnya (Nelson *et al.*, 2017). Air limbah tambang yang mengandung polonium dapat mencemari ekosistem air, terutama laut karena laut merupakan tujuan akhir dari aliran sungai dan rawa. Akibatnya, air laut dan sedimen menjadi sumber radionuklida bagi organisme laut yang hidup di dalamnya. Proses bioakumulasi pada biota laut dipengaruhi oleh peningkatan konsentrasi dan ketersediaan radionuklida pada spesies yang terdapat pada rantai makanan di laut (Khan & Wesley, 2016).

Oleh karena polonium memiliki tingkat radioaktivitas yang tinggi (Nathwani *et al.*, 2016), unsur ini menjadi salah satu masalah kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi makanan laut, seperti ikan yang telah tercemar oleh polonium (Carvalho, 2018). Kontaminasi unsur radioaktif dalam makanan laut dapat merugikan kesehatan masyarakat sehingga penting untuk mengetahui aktivitas ²¹⁰Po dalam makanan laut, termasuk menghitung estimasi dosis radiasi terhadap konsumen makanan laut dari ²¹⁰Po. Tujuan penelitian adalah menghitung aktivitas ²¹⁰Po pada biota laut dari perairan Banda Aceh dan menghitung estimasi dosis terhadap konsumen ikan laut.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium melalui beberapa tahapan. Tahap pertama yaitu pengumpulan sampel ikan dilakukan di

Pelabuhan Perikanan Samudra Kutaraja pada tanggal 15 Februari 2020. Sampel ikan yang dianalisis adalah ikan layur (*Trichiurus savala*), ikan hiu tikusan (*Alopias pelagicus*), ikan kaka tua (*Scarus chameleon*), ikan talang-talang (*Scomberomorus queenlandicus*), dan ikan kawet (*Naso lituratus*). Selanjutnya dilakukan preparasi sampel dengan menggunakan metode radiokimia *International Atomic Energy Agency (IAEA) dalam modul Guidelines for the Sampling, Preparation and Radio-Analysis of Marine Matrices* (IAEA, 2017).

Analisis ²¹⁰Po di laboratorium

Sebanyak 2 gram sampel ikan yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL, ditambahkan 8-10 mL HNO₃ pekat. Kemudian ditambahkan 300 µL ²⁰⁹Po tracer (~0,075 Bq), dan dibiarkan selama semalam. Kemudian ditambahkan 1 mL H₂O₂ ke dalam sampel dan dievaporasi sampai kering. Tambahkan 6 mL HNO₃ pekat dan 1 mL H₂O₂ ke dalam sampel dan dievaporasi sampai kering sebanyak 2 kali ulangan. Setelah itu, ditambahkan 2 mL HCl pekat dan kembali dievaporasi sampai kering.

Residu yang telah kering dilarutkan dalam 0,1 M HCl dan disaring. Gelas beaker dan saringan dibilas beberapa kali dengan sedikit 0,1 M HCl. Filtrat dikumpulkan dalam beaker 150 mL dengan volume sekitar 100 mL. Kemudian ditambahkan 0,5 gram asam askorbat. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 90°C sampai asam askorbat larut dengan sempurna. Setelah asam askorbat larut sempurna, sisipkan *silver disk* ke dalam larutan dan biarkan pada suhu 90°C selama 4 jam. *Silver disk* dipindahkan dari larutan dan dibilas dengan air deionisasi dan etanol. Aktivitas ²¹⁰Po dan ²⁰⁹Po dicacah dengan alfa spektrometer.

Tabel 1. Hasil analisis polonium pada sampel ikan

No.	Nama Ikan	Aktivitas ²¹⁰ Po Bq/kg (basah)
1	Kaka tua (<i>Scarus chameleon</i>)	16,24 ± 2,79
2	Hiu (<i>Alopias pelagicus</i>)	16,90 ± 2,89
3	Kawet (<i>Naso lituratus</i>)	7,64 ± 1,50
4	Talang talang (<i>Scomberomorus queenlandicus</i>)	9,26 ± 1,7
5	Layur (<i>Trichiurus savala</i>)	13,31 ± 2,36

Penghitungan dosis harian dan dosis tahunan ²¹⁰Po melalui konsumsi ikan

Penghitungan laju dosis menggunakan persamaan (Rani et al., 2014; Meli et al., 2014; Khan and Wesley, 2016) :

$$D = I \times Q \times C \times MF$$

Dimana D adalah laju dosis (µSv) perhari atau per tahun dan I adalah konsumsi ikan tahunan (kg/tahun). Nilai C adalah aktivitas ²¹⁰Po dalam ikan (Bq/kg), dengan rasio asupan untuk orang dewasa, anak-anak dan bayi adalah 3:2:1 (Meli et al., 2014). Q adalah faktor konversi dosis (µSv/Bq) dan berdasarkan ICRP (International Commission on Radiological Protection) konstanta konversi dosis untuk ²¹⁰Po, juga berbeda berdasarkan umur dan dikelompokkan menjadi 3 bagian, dewasa, anak-anak dan bayi. (Eckerman et al., 2013). Nilai M adalah faktor koreksi untuk waktu penangkapan dan konsumsi ikan (0.06) (Khan and Wesley, 2016) dan F adalah nilai fraksi konsumsi ikan laut (0.67) (Meli et al., 2014)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas ²¹⁰Po pada Ikan Laut

Aktivitas ²¹⁰Po ikan laut dari perairan laut Aceh dianalisis berdasarkan aktivitas tracer ²⁰⁹Po yang ditambahkan pada saat analisis dan dari hasil perhitungan didapatkan kisaran aktivitas ²¹⁰Po pada ikan sebesar 38, 22–84,5 Bq/kg kering. Dengan menggunakan asumsi faktor koreksi berat kering ke berat basah ikan sebesar 20%, maka didapatkan aktivitas ²¹⁰Po pada ikan berkisar antara 7,64-16,90 Bq/kg basah. Data hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengukuran aktivitas ^{210}Po yang dilakukan menghasilkan hasil yang berbeda untuk setiap ikan. Sampel ikan hiu mempunyai aktivitas ^{210}Po tertinggi yaitu 16,90 Bq/kg sedangkan yang terendah dimiliki oleh sampel ikan kawet yaitu 7,64 Bq/kg. Hasil review global untuk aktivitas ^{210}Po pada makanan laut merekomendasikan nilai batas sebesar 15 Bq/kg (UNSCEAR, 2000), dan aktivitas ikan hiu dan ikan kaka tua sedikit lebih tinggi dari aktivitas yang direkomendasikan. Namun demikian, jumlah konsumsi makanan laut yang sangat bervariasi dari negara negara dan antar individu dalam satu Negara akan berpengaruh terhadap kalkulasi dosis.

Aktivitas ^{210}Po pada ikan hiu (16,90 Bq/kg) tidak jauh berbeda dibandingkan dengan ikan kaka tua (16,24 Bq/kg). Ikan hiu termasuk ikan pelagis pada rantai makanan predator, dengan panjang badan mencapai 428 cm dengan siklus hidup yang panjang, merupakan spesies ikan hiu oseanik yang hidup dipermukaan perairan hingga kedalaman 152 m. Sebaran spesies hiu ini diketahui sangat luas di wilayah perairan Indo Pasifik (Almunawwarah, Ibrahim, dan Noviyanti, 2016). Ikan kaka tua (*Scarus chameleon*) merupakan famili dari *Scaridae* dengan genus *Scarus* dikenal sebagai *parrotfish*, hidup di perairan tropis dan subtropis pada kedalaman 1-25 m dari permukaan laut. Ikan ini biasanya mendapatkan alga dari substrat karang yang mati (Streelman *et al.*, 2002).

Aktivitas ^{210}Po lebih rendah pada ikan layur (13,31 Bq/kg), ikan kawet (7,64 Bq/kg) maupun ikan talang talang (9,26 Bq/kg). Ikan layur, termasuk ikan besar dengan panjang badan mencapai 2,5 meter, tetapi siklus hidup layur berkisar 8 tahun sehingga aktivitas ^{210}Po pada ikan layur lebih rendah dibandingkan dengan hiu. Ikan talang talang (*Scomberomorus queenlandicus*) atau dikenal juga dengan nama *Queenfish* dan ikan layur (*Trichiurus savala*) memiliki ordo dan famili yang sama dengan ikan tenggiri, yaitu ordo *Scombriformes* dan famili *Scombridae* yang mana salah satu dari sifat ikan tersebut adalah suka bergerombol, sehingga penyebarannya pada suatu perairan tidak merata. Ikan kawet (*Naso lituratus*) merupakan ikan yang tergolong ke dalam famili *Acanthuridae* dan termasuk

genus *Naso*, memakan alga dasar, zooplankton atau detritus (Sorenson *et al.*, 2013).

Hasil analisis ini dibandingkan dengan penelitian Makmur pada 2019 yang menganalisis aktivitas ^{210}Po di beberapa biota laut di Teluk Jakarta, yaitu sekitar 9,05-139 Bq/kg (Makmur *et al.*, 2020). Hasil penelitian lain yang dilakukan di perairan Arabian Gulf countries (negara-negara Arab di Teluk Persia) melaporkan aktivitas ^{210}Po pada beberapa biota laut sebesar 0,1-14,7 Bq/kg kering (Ababneh *et al.*, 2018). Analisis ^{210}Po pada ikan tuna dari perairan Kudankulam, India dengan aktivitas berkisar antara 40,9-92,5 Bq/kg basah (Khan and Wesley, 2016), di Korea, aktivitas ^{210}Po pada ikan teri berkisar antara 59 -392 Bq/kg (Kim *et al.*, 2017), dan di New Zealand, ^{210}Po pada kekerangan berkisar sekitar 4,7 sampai 324 Bq/kg (Guy *et al.*, 2020).

Bervariatifnya konsentrasi aktivitas ^{210}Po pada biota laut disebabkan karena faktor lingkungan dan juga tergantung ke jenis biota. Aktivitas ^{210}Po pada biota juga tergantung pada musim, dimana kerang dari pesisir Italia dan Slovenia mempunyai aktivitas yang lebih rendah pada musim semi pada bulan Maret sampai Juli (Kristan *et al.*, 2015). Aktivitas ^{210}Po dalam biota laut bervariasi dan tingkat radioaktivitasnya tidak berhubungan dengan jenis ekosistem maupun posisi geografis laut. Banyak penelitian kemudian difokuskan terhadap taksonomi dan tingkatan tropik biota laut (Carvalho *et al.*, 2017).

Radionuklida di lingkungan perairan laut, mengikuti dua mekanisme dasar yang mempengaruhi konsentrasinya pada biota laut, yaitu adsorpsi (dari air laut secara proses fisika kimia masuk ke permukaan eksternal organisme) dan absorpsi (uptake radionuklida melalui makanan, terserap ke dalam jaringan dan organ organisme). Hasil penelitian (Carvalho, 2018) menemukan bahwa penyerapan ^{210}Po oleh biota laut lebih banyak melalui makanan dibandingkan dari air laut karena lebih dari 97% persen terakumulasi di internal. Banyak penelitian membuktikan bahwa ^{210}Po lebih banyak terserap di organ dalam. Penelitian di Korea, dimana pada ikan teri, aktivitas ^{210}Po lebih tinggi di organ dalam (323 Bq/kg) dibandingkan dengan di otot

(38,9 Bq/kg). Demikian juga pada ikan makarel, aktivitas ^{210}Po lebih tinggi pada liver (429 Bq/kg) dibandingkan dengan kulit (12,6 Bq/kg) (Kim *et al.*, 2017).

Estimasi Dosis Harian dan Dosis Tahunan ^{210}Po melalui Konsumsi Ikan

Kajian dosis ^{210}Po dari makanan laut terhadap manusia sangat penting karena konsumsi makanan laut merupakan jalur kritis untuk akumulasi ^{210}Po di manusia, dimana dari hasil penelitian di Syria, aktivitas ^{210}Po pada ikan laut jauh lebih besar dibandingkan dengan ikan air tawar (Al-Masri *et al.*, 2000). Penghitungan dosis dilakukan untuk mengetahui perpindahan polonium dari lingkungan ke manusia, dimana dari hasil penelitian di Itali, 67% dosis yang masuk melalui makanan berasal dari konsumsi makanan laut (Meli *et al.*, 2014). Estimasi dosis ini dipengaruhi oleh besaran aktivitas ^{210}Po di dalam makanan laut dan jumlah konsumsi tahunan.

Data Badan pusat statistik pada survey Konsumsi Kalori dan Protein Penduduk Indonesia(BPS, 2020a), jumlah konsumsi ikan basah per kapita di Provinsi Aceh jauh lebih besar yaitu sebesar 29.82 kg/tahun (BPS Provinsi Aceh, 2020) dibandingkan dengan jumlah konsumsi nasional yaitu 17.8 kg/tahun (BPS, 2020b). Diasumsikan bahwa konsumsi ikan karang sebesar 30 persen, sehingga nilai konsumsi harian yang digunakan dalam perhitungan ini adalah sekitar 0.024 kg/hari.

Konstanta konversi dosis berdasarkan ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) untuk ^{210}Po , berbeda-beda

berdasarkan umur karena memperhitungkan kecepatan dalam penyerapan usus, massa tubuh dan organ, dan kecepatan ekskresi dari kandung kemih. Sehingga untuk kelompok umur dewasa, disepakati konstanta konversi sebesar $1,2 \times 10^{-6}$ Sv/Bq, untuk anak-anak (10 tahun) $2,6 \times 10^{-6}$ Sv/Bq dan bayi (< 1 tahun) sebesar $8,8 \times 10^{-6}$ Sv/Bq (Eckerman *et al.*, 2013; Meli *et al.*, 2014). Data hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Asupan harian dari ^{210}Po yang didapatkan dari penelitian ini adalah sekitar 0,18–0,41 Bq untuk dewasa, 0,12–0,27 Bq untuk anak-anak dan 0,06–0,14 Bq untuk bayi dengan akumulasi asupan pertahun berkisar Antara 66,95 – 148,05 Bq untuk dewasa, 44,64 – 98,70 untuk anak-anak dan 22,32–49,35 Bq untuk bayi. UNSCEAR merekomendasi jumlah asupan tahunan maksimal sebesar 58 Bq, dimana asupan tahunan untuk ^{210}Po dari Jepang sekitar 220 Bq, China antara 68 - 130 Bq dan India sekitar 20 Bq (UNSCEAR, 2000).

Berdasarkan perhitungan, maka dosis tahunan terhadap konsumen dewasa yang didapatkan dari konsumsi ikan adalah sebesar 32,3–71,42 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$, untuk anak-anak berkisar antara 46,65–103,16 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ dan untuk bayi berkisar antara 78,95–174,58 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Nilai ini mirip dengan nilai rekomendasi UNSCEAR, yaitu sekitar 70, 100 dan 180 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ untuk dewasa, anak-anak dan bayi (UNSCEAR, 2000; Meli *et al.*, 2014). Dibandingkan dengan data dosis tahunan untuk orang dewasa dari ikan, udang dan kerang dari Teluk Jakarta tahun 2017 yang berkisar antara 0.03–3.6 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ (Makmur, Prihatiningsih and Yahya, 2020), nilai estimasi dosis dari penelitian ini hampir sama dengan

Tabel 2. Asupan harian dan tahunan ^{210}Po dari ikan laut

Nama Ikan	Asupan (Bq) Harian			Asupan Tahunan		
	Dewasa	Anak-Anak	Bayi	Dewasa	Anak-Anak	Bayi
Kaka tua (<i>Scarus chameleon</i>)	0,39	0,26	0,13	142,28	94,85	47,43
Hiu (<i>Alopias pelagicus</i>)	0,41	0,27	0,14	148,05	98,70	49,35
Kawet (<i>Naso lituratus</i>)	0,18	0,12	0,06	66,95	44,64	22,32
Talang talang (<i>Scomberomorus queenlandicus</i>)	0,22	0,15	0,07	81,10	54,06	27,03
Layur (<i>Trichiurus savala</i>)	0,32	0,21	0,11	116,59	77,73	38,86

Tabel 3. Estimasi dosis harian dan tahunan ^{210}Po dari ikan laut

Nama Ikan	Dosis (μSv) Harian			Dosis (μSv) Tahunan		
	Dewasa	Anak-Anak	Bayi	Dewasa	Anak-Anak	Bayi
Kaka tua (<i>Scarus chameleon</i>)	0.19	0.27	0.46	68.63	99.14	167.77
Hiu (<i>Alopias pelagicus</i>)	0.20	0.28	0.48	71.42	103.16	174.58
Kawet (<i>Naso lituratus</i>)	0.09	0.13	0.22	32.30	46.65	78.95
Talang talang (<i>Scomberomorus queenlandicus</i>)	0.11	0.15	0.26	39.12	56.51	95.63
Layur (<i>Trichiurus savala</i>)	0.15	0.22	0.38	56.24	81.24	137.49

estimasi dosis dari makanan laut di Italia sekitar 104 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$, 150 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ dan 253 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ untuk dewasa, anak-anak dan bayi (Meli *et al.*, 2014).

Nilai estimasi dosis dewasa dibandingkan dengan dosis pada kekerangan di India sekitar 2,24 mSv/tahun (Macklin Rani *et al.*, 2014), kekerangan dari pantai selatan India sekitar 5,1–34,9 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ (Khan, Wesley and Rajan, 2014) dan pada ikan tuna di Kudamkulam India sebesar 62,7–126,4 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ (Khan and Wesley, 2016) serta pada konsumen makanan laut di New Zealand sekitar 1,87–3,61 mSv/tahun (Pearson *et al.*, 2016).

Setelah dikonsumsi, nuklida ^{210}Po didalam tubuh akan berpindah dari usus ke darah, dan proses penyerapannya akan tergantung ke usia konsumen. Sorpsi tertinggi, sekitar 100% akan terjadi pada bayi dan 50% penyerapan pada konsumen usia lain (Carvalho *et al.*, 2017) dan kemudian seiring waktu akan terdistribusi kedalam organ dan jaringan dan dalam jangka panjang akan terjadi pertukaran ^{210}Po antara ginjal, hati, dan kerangka.

Perkiraan nilai asupan dosis per organ, diasumsikan bahwa untuk ^{210}Po yang memasuki sirkulasi sistemik, disimpan di limpa, ginjal, sumsum tulang merah, hati dan seluruh tubuh dengan sebesar 0,05, 0,1, 0,1, 0,3 dan 0,45 selama waktu paruh 50 hari. Untuk ^{210}Po yang kemudian memasuki sistem ekskresi

dengan asumsi rasio ekskresi melalui urin banding feses sebesar 0,5 (Carvalho *et al.*, 2017)

KESIMPULAN

Hasil penelitian menemukan aktivitas ^{210}Po tertinggi pada ikan hiu yaitu 16,90 Bq/kg, dan ikan Kaka tua sebesar 16,24 Bq/kg, sedikit diatas nilai yang direkomendasikan untuk makanan laut, yaitu sebesar 15 Bq/kg. Berdasarkan perhitungan asupan harian terhadap orang dewasa sekitar 0,18 – 0,41 Bq, untuk anak-anak sebesar 0,12 – 0,27 Bq dan bayi sebesar 0,06–0,14 Bq, maka estimasi dosis ^{210}Po tahunan terhadap konsumen dewasa adalah sebesar 32,3 – 71,42 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$, untuk anak-anak berkisar antara 46,65 – 103,16 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ dan untuk bayi berkisar antara 78,95 – 174,58 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Nilai ini mirip dengan nilai rekomendasi UNSCEAR, yaitu sekitar 70, 100 dan 180 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ untuk dewasa, anak-anak dan bayi. Jumlah konsumsi ikan laut sangat berpengaruh terhadap estimasi dosis tahunan ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak dan Ibu Peneliti di Radioekologi Kelautan BATAN yang telah mengarahkan dan membimbing kegiatan penelitian di Laboratorium Radioekologi. Terima kasih juga kepada jurusan Kimia Universitas Syiah Kuala atas izin melakukan Kerja Praktek di BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

- Ababneh, Z.Q., Ababneh, A.M., Almasoud, F.I., Alsagabi, S., Alanazi, Y.J., Aljulaymi, A.A. & Aljarrah, K.M., 2018. Assessment of the committed effective dose due to the ²¹⁰Po intake from fish consumption for the Arabian Gulf population, *Chemosphere*, 210:511–515. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.045.
- Al-Masri, M.S., Mamish, S., Budeir, Y. & Nashwati, A., 2000. ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb concentrations in fish consumed in Syria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 49(3):345-352.
- Bappenas. 2014. Kajian Strategi Pengelolaan Perikanan Berkelanjutan, Kementerian PPN/Bapenas Direktorat Kelautan dan Perikanan.
- BPS. 2020a. Konsumsi Kalori dan Protein Penduduk Indonesia dan Provinsi, Maret 2020. Edited by A. Chamami and I. Sahara. Jakarta: Badan Pusat Statistik. Available at: <https://www.bps.go.id/publication/download.html>.
- BPS. 2020b. Perkembangan Beberapa Indikator Utama Sosial-Ekonomi Indonesia 2020. Jakarta: BPS-Statistics Indonesia.
- BPS Provinsi Aceh. 2020. Statistik Pengeluaran Rumah Tangga Provinsi Aceh.
- Carvalho, F., Fernandes, S., Fesenko, S., Holm, E., Howard, B., Martin, P., Phaneuf, M., Porcelli, D., Pröhl, G. & Twining, J., 2017. The environmental behaviour of polonium, *International Atomic Energy Agency*. doi: 10.1016/0883-2927(92)90073-c.
- Carvalho, F.P. 2018. Radionuclide concentration processes in marine organisms: A comprehensive review, *Journal of Environmental Radioactivity*, 186:124–130. doi: 10.1016/j.jenvrad.2017.11.002.
- Eckerman, K., Harrison, J., Menzel, H.G. & Clement, C.H., 2013. ICRP publication 119: Compendium of dose coefficients based on ICRP publication 60, *Annals of the ICRP*, 42(4):1-130. doi: 10.1016/j.icrp.2013.05.003.
- Guy, S., Gaw, S., Pearson, A.J., Golovko, O. & Lechermann, M. 2020. Spatial variability in Polonium-210 and Lead-210 activity concentration in New Zealand shellfish and dose assessment. *Journal of Environmental Radioactivity*. 211:p.106043. doi: 10.1016/j.jenvrad.2019.106043.
- IAEA. 2017. Guidelines for the Sampling, Preparation and Radio-Analysis of Marine Matrices. doi: 10.1177/0964663912467814.
- Khan, M.F. & Wesley, S.G. 2016. Baseline concentration of Polonium-210 (²¹⁰Po) in tuna fish, *Marine Pollution Bulletin*, 107(1):379-382. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.056.
- Khan, M.F., Wesley, S.G. & Rajan, M.P., 2014. Polonium-210 in marine mussels (bivalve molluscs) inhabiting the southern coast of India, *Journal of Environmental Radioactivity*. 138:410–416. doi: 10.1016/j.jenvrad.2014.06.023.
- Kim, S.H., Hong, G.H., Lee, H.M. & Cho, B.E. 2017. ²¹⁰Po in the marine biota of Korean coastal waters and the effective dose from seafood consumption, *Journal of Environmental Radioactivity*, 174:30–37. doi: 10.1016/j.jenvrad.2016.11.001.
- Kristan, U., Planinšek, P., Benedik, L., Falnoga, I. & Stibilj, V., 2015. Polonium-210 and selenium in tissues and tissue extracts of the mussel *Mytilus galloprovincialis* (Gulf of Trieste), *Chemosphere*, 119:231–241. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.05.017.
- Lasabuda, R. 2013. Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Lautan Dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia, *Jurnal Ilmiah Platax*, 1:92–101.
- Makmur, M., Prihatiningsih, W.R. & Yahya, M.N., 2020. Baseline concentration of Polonium-210 (²¹⁰Po) in several biota from Jakarta Bay, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429(1):p012061 doi: 10.1088/1755-1315/429/1/012061.
- Meli, M.A., Desideri, D., Roselli, C. & Feduzi, L., 2014. Assessment of ²¹⁰Po in Italian diet. *Food chemistry*, 155:87–90. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.049.
- Munawwarah, A., Sufi, I. & Noviyanti, A. 2016. Identifikasi Jenis-jenis Ikan yang Terdapat di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) di Gampong Lampulo Kecamatan Kuta Alam Banda Aceh, *Serambi Saintia : Jurnal Sains dan Aplikasi*, 4(1):44–50.
- Nathwani, A.C., Down, J.F., Goldstone, J., Yassin, J., Dargan, P.I., Virchis, A., Gent, N., Lloyd, D. & Harrison, J.D. 2016. Polonium-210 poisoning: a first-hand account, *The Lancet*, 388(10049):1075–1080. doi: 10.1016/S0140-6736(16)00144-6.
- Nelson, A.W., Eitheim, E.S., Knight, A.W., May, D., Wichman, M.D., Forbes, T.Z. & Schultz, M.K., 2017. Polonium-210 accumulates in

- a lake receiving coal mine discharges— anthropogenic or natural?, *Journal of Environmental Radioactivity*. 167:211–221. doi: 10.1016/j.jenvrad.2016.10.023.
- Pearson, A.J., Gaw, S., Hermanspahn, N. and Glover, C.N., 2016. Activity concentrations of ¹³⁷Caesium and ²¹⁰Polonium in seafood from fishing regions of New Zealand and the dose assessment for seafood consumers, *Journal of Environmental Radioactivity*. 151:542–550. doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.07.026.
- Poerwadi, B.S. 2017. Pokok-Pokok Kebijakan Kementerian Kelautan dan Perikanan tentang Pemberdayaan dan Potensi Ruang Laut dan Pulau-pulau terluar, Humas KKP. Available at: kkp.go.id › an-component › media › djprl › HUMAS.
- Rani, L.M., Jeevanram, R.K., Kannan, B.V. & Govindaraju, 2014. Estimation of Polonium-210 activity in marine and terrestrial samples and computation of ingestion dose to the public in and around Kanyakumari coast, India, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 7(2):207–213. doi: 10.1016/j.jrras.2014.02.006.
- Ram, R., Vaughan, J., Etschmann, B. & Brugger, J. 2019. The aqueous chemistry of polonium (Po) in environmental and anthropogenic processes, *Journal of Hazardous Materials*. 380:p120725. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.06.002.
- Rizwan, Purnawan, S., & Miswar, E. 2010. Study of oceanography and fisheries in Pulo Aceh Waters, *Jurnal Natural*, 10(2):35–42.
- Skwarzec, B. & Fabisiak, J. 2007. Bioaccumulation of polonium ²¹⁰Po in marine birds, *Journal of Environmental Radioactivity*, 93(2):119–126. doi: 10.1016/j.jenvrad.2006.12.005.
- Sorenson, L., Santini, F., Carnevale, G. and Alfaro, M.E., 2013. A multi-locus timetree of surgeonfishes (Acanthuridae, Percomorpha), with revised family taxonomy, *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 68(1):150–160. doi: 10.1016/j.ympev.2013.03.014.
- Streelman, J.T., Alfaro, M., Westneat, M.W., Bellwood, D.R. & Karl, S.A. 2002. Evolutionary history of the parrotfishes: Biogeography, ecomorphology, and comparative diversity, *Evolution*, 56(5): 961–971. doi: 10.1111/j.0014-3820.2002.tb01408.x.
- UNSCEAR. 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York.