

## Analisis Dosis efektif cemaran $^{210}\text{Po}$ pada Krustasea dan Moluska di Lamongan dan Sukabumi

### *Analysis of Effective Dose of $^{210}\text{Po}$ Contamination on Crustacea and Molluscs in Lamongan and Sukabumi*

Angelina Br Hombing<sup>1\*</sup>, Elvira Deswita<sup>2</sup>, Murdahayu Makmur<sup>3</sup>, Istanto<sup>4</sup>, Deddy Irawan Permana Putra<sup>3</sup>, Wahyu Retno Prihatiningsih<sup>3</sup>, Refinel<sup>2</sup>, dan Yogi Priasetyono<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura, Jl. Raya Telang, Madura, 69162, Indonesia,

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, 25175, Indonesia

<sup>3</sup>Kelompok Riset Radioekologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional Indonesia. Jl. Lebak Bulus No. 49. Jakarta. 12440, Indonesia.

<sup>4</sup>Kelompok Riset Teknik Analisis Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Area Puspipstek, Gedung 50. Banten. 15314, Indonesia.

\*Korespondensi penulis : angelinabr705@gmail.com

Diterima: 07 Desember 2023; Direvisi: 25 Oktober 2024; Disetujui: 01 November 2024

#### ABSTRAK

Penelitian ini menghitung  $^{210}\text{Po}$  pada beberapa spesies filum krustasea dan filum moluska secara purposive sampling di Lamongan dan Sukabumi. Aktivitas  $^{210}\text{Po}$  dari tujuh sampel yaitu 3 sampel krustasea asal Sukabumi dan 4 sampel moluska asal Lamongan di analisis menggunakan Spektrometer Alfa energi 5,305 MeV selama 48 jam. Dari hasil analisis, didapatkan aktivitas  $^{210}\text{Po}$  tertinggi pada Krustasea sekitar pada Udang kipas ( $23,28 \pm 3,33$  Bq/Kg) dan terendah pada rajungan Rajungan ( $1,46 \pm 0,34$  Bq/Kg). Aktivitas  $^{210}\text{Po}$  tertinggi pada Moluska terdapat pada Cumi-cumi ( $25,71 \pm 3,66$  Bq/Kg) dan terendah yaitu Kerang hijau ( $6,00 \pm 1,00$  Bq/Kg). Dosis efektif tahunan tertinggi dari Lamongan pada bayi dengan konsumsi udang kipas ( $34,22$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ), pada anak-anak ( $10,11$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ) dan dewasa ( $4,67$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ). Dosis efektif tahunan tertinggi dari Sukabumi pada bayi dengan konsumsi cumi-cumi ( $19,27$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ), pada anak-anak ( $5,69$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ) dan dewasa ( $2,63$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ). Dosis efektif tahunan ini jauh lebih rendah dari kisaran dosis yang ditetapkan *The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR), menandakan bahwa Indonesia aman dari unsur radioaktif  $^{210}\text{Po}$ . Dosis konsumsi efektif tahunan sangat bergantung pada asupan makanan laut tahunan melalui makanan ditambah dengan kebiasaan masyarakat yang selalu memasak sebelum mengonsumsi makanan laut. Fakta ini harus dipertimbangkan ketika membandingkan dosis efektif tahunan antar wilayah atau negara serta dalam melakukan perhitungan cemaran  $^{210}\text{Po}$  pada beberapa spesies di filum krustasea dan moluska yang di distribusikan dan dikonsumsi.

**KATA KUNCI:** aktivitas  $^{210}\text{Po}$ , estimasi dosis efektif tahunan, krustasea, moluska.

#### ABSTRACT

*This study calculated  $^{210}\text{Po}$  in several species of crustacean and mollusc by purposive sampling in Lamongan and Sukabumi. The  $^{210}\text{Po}$  activity of seven samples, as filum 3 crustacean samples from Sukabumi and 4 mollusc samples from Lamongan, was analyzed using an alpha spectrometer with an energy of 5.305 MeV for 48 hours. The highest  $^{210}\text{Po}$  activity was found in Crustacea in Fan shrimp ( $23.28 \pm 3.33$  Bq/Kg) and the lowest in Crab Crab ( $1.46 \pm 0.34$  Bq/Kg). The highest  $^{210}\text{Po}$  activity in Molluscs was found in Squid ( $25.71 \pm 3.66$  Bq / Kg) and the lowest was in Green mussel ( $6.00 \pm 1.00$  Bq/Kg). The highest annual effective dose from Lamongan in infants with fan shrimp consumption ( $34.22$   $\mu\text{Sv}/\text{year}$ ), in children ( $10.11$   $\mu\text{Sv}/\text{year}$ ) and adults ( $4.67$   $\mu\text{Sv}/\text{year}$ ). The highest annual effective dose from Sukabumi in infants with squid consumption ( $19.27$   $\mu\text{Sv}/\text{year}$ ), in children ( $5.69$   $\mu\text{Sv}/\text{year}$ ) and adults ( $2.63$   $\mu\text{Sv}/\text{year}$ ). This annual effective dose is much lower than the dose range set by *The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR), indicating that Indonesia is safe from the radioactive element  $^{210}\text{Po}$ . The annual effective consumption dose depends on seafood intake through food plus the community's habit of always cooking before consuming seafood. This fact must be considered when comparing the annual effective dose between regions or countries and in calculating  $^{210}\text{Po}$  contamination in several species of crustaceans and molluscs that are distributed and consumed.*

**KEYWORDS:**  $^{210}\text{Po}$ , annual effective dose, crustacean, mollusc.

## PENDAHULUAN

Laut Selatan dan Laut Utara Jawa memiliki ciri kontur garis pantai, warna air, warna pasir, topografi dasar laut, kedalaman, dan jenis ikan yang berbeda. Laut bagian selatan Pulau Jawa sangat luas dan terbuka karena menghadap Samudera Hindia. Pesisir selatan berbentuk lurus dan cenderung bertebing karena berada di pertemuan antara lempeng benua dan lempeng samudera, sedangkan laut bagian utara hanya sekitar 300 km dan 1000 km panjang dan berbatasan dengan Pulau Kalimantan (As'ari et al., 2022). Daerah pesisir Selatan Pelabuhan Ratu, Sukabumi memiliki potensi perikanan tangkap yang besar, hal ini dikarenakan daerahnya merupakan bagian dari Samudera Hindia. Ikan laut yang ditangkap di perairan Sukabumi bahkan mencapai 3,471,290 Kg pada tahun 2017 menurut data statistik regional (Putri et al., 2022). Menurut KEPMEN-KP No. 79 tahun 2016 WPP 712 terdiri dari 8 (delapan) pemerintah provinsi yang meliputi Provinsi Lampung, Provinsi Banten, Provinsi DKI Jakarta, Provinsi Jawa Barat, Provinsi Jawa Tengah, Provinsi Jawa Timur, Provinsi Kalimantan Tengah, dan Provinsi Kalimantan Selatan. Pesisir Lamongan merupakan daerah pesisir yang terletak di laut utara Jawa. Daerah pesisir Lamongan mempunyai potensi perikanan yang tinggi, hal ini ditandai dengan adanya usaha penangkapan terpusat di perairan Laut Jawa (WPP 712) pada wilayah Kecamatan Brondong dan Kecamatan Paciran, yang memiliki satu Pelabuhan Perikanan Nasional (PPN) Brondong (Wardono & Muslih, 2020). Data hasil perikanan tangkap Lamongan menjadi tertinggi di wilayah Jawa Timur yaitu sekitar 56,100 ton pada tahun 2020 (BPS Provinsi Jawa Timur, 2020).

Dalam beberapa tahun terakhir, analisis unsur radioaktif di lingkungan laut dan pengaruhnya terhadap organisme hidup (manusia) telah dianggap sebagai salah satu masalah paling kritis dalam radioekologi dan proteksi radiologi (Musthafa et al., 2019). Salah satu radioaktivitas yang paling krusial belakangan ini adalah  $^{210}\text{Po}$ .  $^{210}\text{Po}$  adalah isotop alami pemancar alfa dalam seri Uranium-238 ( $^{238}\text{U}$ ) dengan waktu paruh 138 hari (Kong, Yin, et al., 2021; Uddin et al., 2019).  $^{210}\text{Po}$  merupakan radionuklida terbanyak kedua baik secara alami maupun buatan pada hewan laut (Belivermiş et al., 2019).  $^{210}\text{Po}$  berada di lingkungan bisa berasal dari buangan kegiatan industri seperti industri fosfat, pertambangan, penggilingan serta ekstraksi minyak, dan gas (Carvalho et al., 2017; Hansen et al., 2022). Sukabumi dan Lamongan terletak di Pulau Jawa memiliki kegiatan industri dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang aktif (Aryanti et al., 2022).  $^{210}\text{Po}$  merupakan salah satu radionuklida alam

yang dihasilkan dari aktivitas PLTU. Di Indonesia, masuknya  $^{210}\text{Po}$  di lingkungan paling mungkin berasal dari pencemaran batu bara aktivitas PLTU (Aryanti et al., 2021). Setelah dipancarkan,  $^{210}\text{Po}$  ada sebagai aerosol dan diangkut ke tanah, tanaman, dan lingkungan perairan melalui deposisi kering atau curah hujan (Duong Van, 2020). Di lingkungan laut  $^{210}\text{Po}$  berasal dari deposisi atmosfer  $^{210}\text{Pb}$  dan  $^{210}\text{Po}$ , peluruhan  $^{226}\text{Ra}$  terlarut dalam badan air dan peluruhan  $^{222}\text{Rn}$  yang dilepaskan dari sedimen laut (Hansen et al., 2022).

Banyak penelitian tentang aktivitas  $^{210}\text{Po}$  di lingkungan laut. Aktivitas  $^{210}\text{Po}$  di lingkungan laut menjadi perhatian khusus karena kontribusi besar radioisotop terhadap dosis radiasi yang diterima oleh organisme laut dan populasi manusia yang mengonsumsi makanan laut (Uddin et al., 2019). Sekitar 70% dosis radiasi terhadap manusia akibat konsumsi hasil laut bersumber dari  $^{210}\text{Po}$  dan sekitar 7% dosis radiasi terhadap manusia dari *seafood* dan *non-seafood* berasal dari  $^{210}\text{Po}$  (Belivermiş et al., 2019).

Diantara banyak radionuklida,  $^{210}\text{Po}$  memiliki sifat yang paling radiotoksik karena aktivitas spesifiknya yang tinggi dan akumulasinya yang sangat baik dalam jaringan lunak organisme laut (Belivermiş et al., 2019; Guy et al., 2020; Nguyen et al., 2021). Jalur utama dalam akumulasi  $^{210}\text{Po}$  adalah rantai makanan (Musthafa et al., 2019) dimana aktivitas  $^{210}\text{Po}$  pada organisme laut, tingkat trofik atas (karnivora dan predator puncak) lebih rendah dibandingkan dengan organisme planktivora (herbivora primer) (Carvalho et al., 2017). Moluska dan Kruktacea banyak ditemukan di laut Jawa (Suryono et al., 2021) memiliki kebiasaan hidup cenderung menetap dan berasosiasi di sedimen (Safira & Mashar, 2019). Moluska bersifat *filter-feeder*, serta peka terhadap adanya pencemaran yang terjadi di lingkungan menjadi salah satu organisme yang dapat dijadikan bioindikator pencemaran (Ardian, 2023). Fitoplankton dan zooplankton memberikan kontribusi lebih besar terhadap penyerapan dan akumulasi  $^{210}\text{Po}$  pada biota laut (Uddin et al., 2018) dimana terjadi bioakumulasi  $^{210}\text{Po}$  dari fitoplankton ke zooplankton (Belivermiş et al., 2019). Pada percobaan laboratorium terhadap udang, lobster dan ikan laut yang dilakukan oleh Carvalho dan Fowler, aktivitas  $^{210}\text{Po}$  lebih tinggi ditemukan di hati dan saluran pencernaan dibandingkan dengan jaringan otot, yang menandakan bahwa distribusi  $^{210}\text{Po}$  banyak melalui makanan dari organisme tersebut (Carvalho et al., 2017).

Studi tentang  $^{210}\text{Po}$  telah banyak dilakukan di berbagai negara, diantaranya India (Musthafa et al., 2019), Greenland (Hansen et al., 2022), Selandia

Baru (Guy et al., 2020, 2022), Korea (Kim et al., 2017), Vietnam (Nguyen et al., 2021), Arab (Uddin et al., 2018), dan banyak negara lainnya yang mempelajari aktivitas <sup>210</sup>Po pada biota laut. Selain itu, Indonesia sudah memulai penelitian tentang <sup>210</sup>Po, diantaranya penelitian yang dilakukan di Teluk Jakarta dan Banda Aceh pada tahun 2020 dan 2021 (Balqis & Makmur, 2021; Makmur et al., 2020) serta penelitian yang dilakukan di ekosistem pesisir Indonesia (C. A. Aryanti et al., 2021), namun hanya terbatas pada beberapa spesies saja. Sedikitnya informasi mengenai dosis efektif tahunan dan cemaran <sup>210</sup>Po di Indonesia terutama pada filum krustasea dan moluska, sehingga perlu diketahui dosis efektif tahunan dan cemaran <sup>210</sup>Po pada krustasea dan moluska. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan cemaran <sup>210</sup>Po pada beberapa spesies di filum krustasea dan moluska yang di distribusikan dan dikonsumsi di Lamongan dan Sukabumi yang mewakili pantai utara dan selatan Pulau Jawa dengan karakteristik perairan yang berbeda, serta menghitung dosis efektif tahunan yang terpapar pada masyarakat.

digunakan mencakup plat perak, gelas beker, magnetic stirrer, hotplate, kertas saring Whatman 42, serta alpha spectrometer.

**Metode**

Metode analisis <sup>210</sup>Po dalam penelitian ini didasarkan pada pendekatan yang telah dilakukan oleh Aryanti et al. (2022) dan Kim et al. (2017), dengan beberapa sedikit penyesuaian.

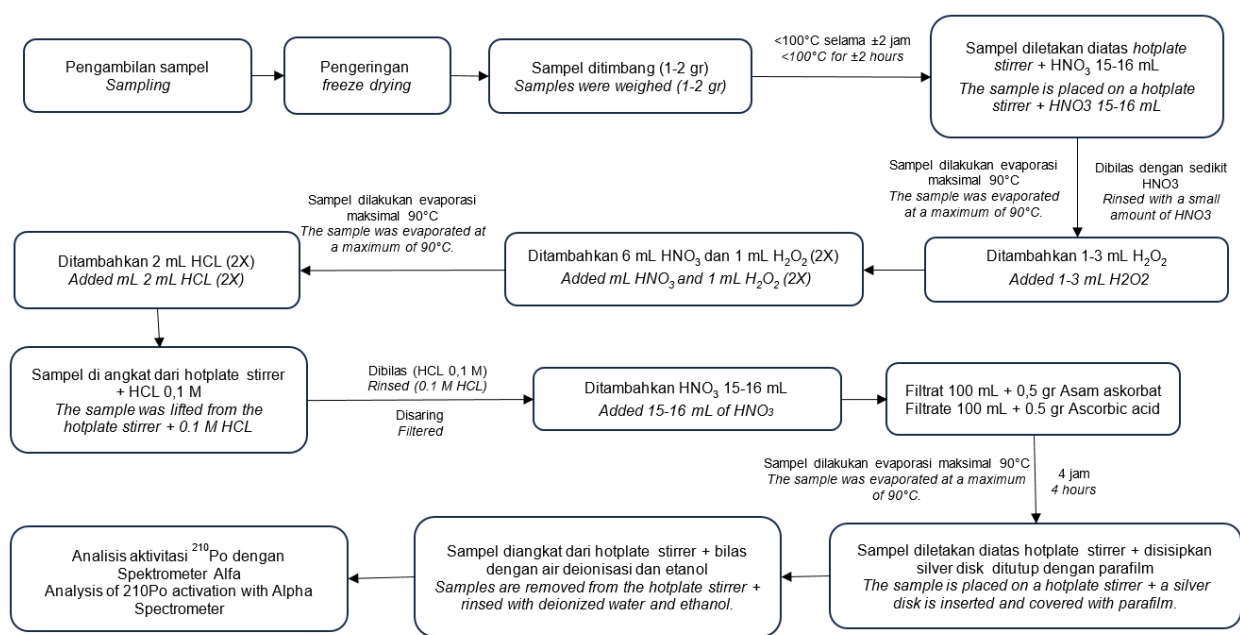
**Pengumpulan sampel**

Pengambilan sampel dilakukan di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Pelabuhan Ratu, Kabupaten Sukabumi dan TPI Brondong, Kabupaten Lamongan secara purposive sampling. Kebiasaan makan dari Moluska yang bersifat *filter feeder* menjadi alasan dipilihnya Moluska dan Krustasea sebagai bioindikator pencemaran <sup>210</sup>Po. Sampel Moluska dan Krustasea dipilih berdasarkan ketersediaan jenis krustesea dan moluska yang terdapat di lokasi. Sampel yang termasuk ke dalam filum krustasea dari TPI Brondong terdiri dari Udang Kipas (*Thenus orientalis*), Udang mantis (*Bathysquilla microps*), Rajungan (*Portunus pelagicus*), dan Rajungan karang (*Charybdis ferrata*). Sampel filum moluska dari TPI Pelabuhan Ratu terdiri dari kerang hijau (*Perna Viridis*), cumi-cumi (*Loligo vulgaris*) dan sotong (*Sepiella inermis*). Tahapan dari sampel sampai di laboratorium dan di analisis Spektrometer Alfa dapat dilihat pada Gambar 1. Sampel udang dibuang bagian kepala dan ekornya, sedangkan

**BAHAN DAN METODE**

**Bahan dan Alat**

Reagen yang digunakan meliputi asam nitrat (HNO<sub>3</sub> p.a.), asam klorida (HCl p.a.), hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), tracer <sup>209</sup>Po, asam askorbat, akuades, dan etanol. Peralatan utama yang



Gambar 1. Diagram alir sampel sampai ke laboratorium dan dianalisis Spektrometer Alfa  
Figure 1. Sample Flow Diagram to the Laboratory and analyzed by Alpha Spectrometer

untuk biota lain diambil bagian dagingnya dan kemudian dicuci bersih untuk menghilangkan pengotor. Selanjutnya sampel dikirim ke laboratorium dalam kondisi beku untuk dipreparasi selanjutnya.

### Analisis $^{210}\text{Po}$ di Laboratorium

Seluruh sampel basah (krustasea dan moluska) sebanyak 250 g dikeringkan dengan metode freeze drying (Snijder Scientific, USA) pada suhu  $90^\circ\text{C}$  dengan tekanan 0,025 Pa selama 72 jam. Sampel kemudian dihaluskan dan dihomogenkan, kemudian ditimbang sebanyak 2 g menggunakan timbangan mikro Sartorius M2P dan dimasukkan ke dalam gelas beaker.

Asam Nitrat kuat ( $\text{HNO}_3$  pekat) ditambahkan ke dalam sampel dan dipanaskan sampai semua sampel larut. Sampel kemudian ditambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan dipanaskan sampai kering.  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan  $\text{HNO}_3$  pekat ditambahkan lagi ke dalam sampel dan dipanaskan kembali sampai kering sebanyak 2 kali ulangan dan terakhir HCl pekat ditambahkan dan kembali dipanaskan sampai kering. Larutan 0,1 M HCl ditambahkan untuk melarutkan residu yang telah kering dan disaring.

Filtrat sebanyak 100 mL ditempatkan dalam beaker 150 mL, ditambahkan dengan 0,5 gram asam askorbat dan diaduk sampai larut. Elektrodeposisi menggunakan plat silver dilakukan selama 4 jam dengan suhu  $80^\circ\text{C}$ . Plat silver kemudian dipindahkan dari larutan dan dibilas dengan akuades dan etanol. Aktivitas  $^{210}\text{Po}$  dicacah dengan alfa spektrometer (IAEA, 2017).

### Analisis aktivitas $^{210}\text{Po}$

Analisis dilakukan dengan *Canberra Commission Alpha Spectrometer* memiliki detektor silikon pasif yang ditanamkan ion digunakan untuk penentuan  $^{210}\text{Po}$  dengan energi 5,305 MeV selama 48 jam (Putri et al., 2022). Untuk mengukur aktivitas  $^{210}\text{Po}$  dapat menggunakan perhitungan menurut (IAEA, 2004), sebagai berikut:

$$C_r = \frac{A_A}{m_A - q} f_1 f_2 f_3 f_4$$

Dimana  $A_A$  adalah nilai waktu pengendapan pada piringan perak aktivitas  $^{210}\text{Po}$  dengan satuan Bq,  $m_A$  adalah nilai berat sampel kering untuk analisa alpha dalam satuan Kg,  $q$  adalah perbandingan berat sampel (kering/basah),  $C_r$  adalah nilai aktivitas tracer  $^{210}\text{Po}$  bila dikalibrasi dengan satuan Bq/mL.

### Analisis dosis efektif tahunan $^{210}\text{Po}$ (annual committed dose, E)

Perhitungan dosis efektif tahunan menggunakan persamaan (Guy et al., 2022), sebagai berikut

$$E = I \times Q \times C$$

Dimana E adalah dosis efektif tahunan ( $\mu\text{Sv}/\text{year}$ ), C adalah aktivitas  $^{210}\text{Po}$  (Bq/Kg wet weight, ww), I adalah laju konsumsi (Kg/tahun) (BPS Provinsi Jawa Barat, 2020; BPS Provinsi Jawa Timur, 2021), dan Q adalah koefisien dosis konsumsi ( $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$ ) (Guy et al., 2022). Nilai koefisien dosis konsumsi diatur oleh International Commission on Radiological Protection (ICRP) (ICRP, 2012). Konversi berat kering (*dry weight*) ke berat basah (*wet weight*) dihitung berdasarkan selisih berat sebelum dan sesudah di keringkan menggunakan *freeze drying*. UNSCEAR mengkategorikan merekomendasikan umur untuk bayi adalah 1 tahun, untuk anak-anak adalah umur 8-12 tahun, dan dewasa diatas 17 tahun (UNSCEAR, 2000).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Aktivitas $^{210}\text{Po}$ dalam Krustasea dan Moluska

Aktivitas  $^{210}\text{Po}$  pada beberapa spesies filum krustasea dan moluska di pelelangan ikan Sukabumi dan Lamongan dihitung menggunakan spektrometer alfa. Hasil analisis data disajikan pada Tabel 1 dengan satuan aktivitas  $^{210}\text{Po}$  ialah Becquerel/Kilograms (Bq/Kg).

Dari hasil analisis, didapatkan aktivitas  $^{210}\text{Po}$  tertinggi dari seluruh sampel adalah cumi cumi ( $25,71 \pm 3,66$  Bq/Kg) dan aktivitas terendah pada rajungan ( $1,46 \pm 0,34$  Bq/Kg). Pada filum krustasea, aktivitas  $^{210}\text{Po}$  yang tinggi yaitu udang kipas ( $23,28$  Bq/Kg) dan terendah yaitu rajungan ( $1,46 \pm 0,34$  Bq/Kg). Pada filum moluska, aktivitas tertinggi adalah cumi-cumi ( $25,71 \pm 3,66$  Bq/Kg) dan terendah kerang hijau ( $6,00 \pm 1,00$  Bq/Kg).

Riset yang dilakukan oleh Carvalho menunjukkan bahwa krustasea seperti udang dalam air laut yang mengandung  $^{210}\text{Po}$  terlarut, mudah mengakumulasi  $^{210}\text{Pb}$  dari makanan yang dicerna ke dalam organ internalnya, tetapi penyerapannya kecil. Sementara  $^{210}\text{Po}$  yang terlarut dalam air laut teradsorpsi ke permukaan terbuka, seperti eksoskeleton dan insang, tanpa penyerapan yang signifikan ke dalam organ internal (Carvalho, 2018). Hal ini di perkuat

Tabel 1. Hasil Aktivitas <sup>210</sup>Po pada sampel krustasea dan moluska

Table 1. The Result of Concentration <sup>210</sup>Po in Crustaceans and Molluscs Sample

Spesies/Species	Aktivitas <sup>210</sup> Po (Bq/Kg)/ Concentration <sup>210</sup> Po (Bq/Kg)
<b>Sukabumi</b>	
Kerang hijau ( <i>Perna viridis</i> )	6.00 ± 1.00
Sotong ( <i>Sepiella inermis</i> )	6.44 ± 1.09
Cumi-cumi ( <i>Loligo vulgaris</i> )	25.71 ± 3.66
<b>Lamongan</b>	
Udang mantis ( <i>Bathysquilla microps</i> )	22.00 ± 3.15
Udang kipas ( <i>Thenus orientalis</i> )	23.28 ± 3.33
Rajungan ( <i>Portunus pelagicus</i> )	1.46 ± 0.34
Rajungan karang ( <i>Charybdis ferrata</i> )	9.08 ± 1.41

dari analisis <sup>210</sup>Po yang terdapat di skeleton udang (*Penaeus indices*) di Point Calimere Coast, India (70,1±4,6 Bg/Kg) jauh lebih tinggi dibandingkan dengan <sup>210</sup>Po yang terdapat di jaringan otot udang (23,2±2,8 Kq/Bg) (Suriyanarayanan et al., 2008).

Pada penelitian ini, tidak melakukan analisis terhadap eksoskeleton dan bagian daging secara terpisah. Hasil aktivitas <sup>210</sup>Po pada udang di penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dari penelitian lain yaitu di Pelabuhan Nelayan Kasimedu, India yang berkisar berkisar antara 15,7-31,5 Bq/ Kg berat kering. Aktivitas <sup>210</sup>Po pada udang dalam penelitian ini, setelah dikonversi ke dalam satuan berat basah (4,37-4,63 Bq/Kg) lebih kecil dibandingkan dengan penelitian yang sama yang dilakukan di China yaitu 12,3 Bq/Kg (Kong, Qian, et al., 2021). Hal ini dikarenakan tingginya <sup>210</sup>Po pada spesies udang dihubungkan dengan adanya senyawa kitin (chitin) pada eksoskeleton krustasea, karena memiliki afinitas pengikatan yang lebih tinggi (Musthafa et al., 2019).

Aktivitas <sup>210</sup>Po pada filum moluska bervariasi, dimana aktivitas <sup>210</sup>Po pada cumi-cumi sekitar 25,71 Bq/Kg, jauh lebih tinggi, lebih dari tiga kali lipat dibandingkan dengan sotong (6,44 Bq/Kg) dan kerang hijau (6,00 Bq/Kg). Beberapa penelitian menemukan aktivitas <sup>210</sup>Po pada jaringan otot cumi-cumi (*Loligo vulgaris*) berkisar 1,33±0,97- 2,30±0,96 Bq/Kg di enam wilayah perairan laut New Zealand (Ravisankar et al., 2015), di Korea sekitar 8,61 ±2,01 Bq/Kg (basah), dan 0,42-5,5 Bq/Kg (basah) pada *Loligo vulgaris* dari lautan Atlantik (Kim et al., 2017). Namun tidak ditemukan data mengenai aktivitas <sup>210</sup>Po dari sotong.

Kerang hijau merupakan kelompok bivalvia, dimana aktivitas <sup>210</sup>Po pada kerang hijau berkisar sekitar 6 Bq/Kg pada penelitian ini. Karena sifat kerang hijau sebagai *filter feeder*, kerang hijau dapat mengakumulasi <sup>210</sup>Po lebih tinggi, apabila kandungan <sup>210</sup>Po di perairan tersebut tinggi (Belivermiş et al., 2019). Aktivitas <sup>210</sup>Po pada kerang hijau pada penelitian ini lebih rendah dari penelitian yang dilakukan di teluk Jakarta (137,37 Bq/Kg) (Makmur et al., 2020). Aktivitas industri, habitat, metabolisme dan usia dari kerang hijau berpotensi mempengaruhi aktivitas <sup>210</sup>Po pada kerang hijau (Lim & Mohamed, 2019). Kerang hijau, dengan sistem metabolisme dan habitat yang seragam, maka aktivitas <sup>210</sup>Po akan berbeda tergantung kepada lingkungan tempat hidup dari kerang hijau tersebut. Aktivitas industri yang menggunakan bahan baku batu bara, minyak dan sejenisnya akan memberikan kontribusi <sup>210</sup>Po ke lingkungan (Carvalho et al., 2017).

Variasi aktivitas <sup>210</sup>Po dari spesies makanan laut yang berbeda yang dikumpulkan dari wilayah laut yang sama dapat dikaitkan dengan jenis makanan, metabolisme, dan ukuran (Duong Van, 2020). Menurut Carvalho, Predator besar di puncak rantai makanan, yang memakan biota pada rantai dibawahnya, akan mengandung aktivitas <sup>210</sup>Po lebih tinggi (Carvalho et al., 2017). Dalam bioakumulasi, <sup>210</sup>Po diserap dari air kemudian dipindahkan melalui jaring makanan ke tingkat trofik yang lebih tinggi yang dimulai dari zooplankton. Pada organisme laut, bioakumulasi <sup>210</sup>Po lebih efisien pada spesies tertentu dari filum moluska (Hurtado-Bermúdez et al., 2021). Setiap spesies biota laut memiliki aktivitas <sup>210</sup>Po yang berbeda. Karakteristik aktivitas

$^{210}\text{Po}$  yang berbeda tidak hanya bergantung pada lingkungan, habitat, dan kebiasaan makan, tetapi juga pada metabolisme, tingkat trofik, dan parameter lainnya (Nguyen et al., 2021).

#### Estimasi Dosis Efektif Tahunan $^{210}\text{Po}$ (*annual committed dose*)

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2020, tingkat konsumsi makanan laut di Kabupaten Sukabumi sebesar 0,022 Kg, 0,582 Kg dan 0,582 Kg untuk kerang hijau, sotong dan cumi cumi per tahun secara berurutan (BPS Provinsi Jawa Barat, 2020). Di Jawa Timur dari data BPS tahun 2021, tingkat konsumsi hasil laut sebesar 0,274 Kg/tahun untuk udang dan 0,056 Kg/tahun untuk rajungan (BPS Provinsi Jawa Timur, 2021). Data konsumsi untuk jenis moluska dan krustasea tidak setinggi konsumsi makanan laut lainnya di kedua provinsi tersebut, dimana untuk rata rata konsumsi ikan tongkol dan tuna di Kabupaten Sukabumi adalah sebesar 3,066 Kg (Badan Pusat Statistik, 2020) dan di daerah Jawa Timur sebesar 1,1 Kg (BPS Provinsi Jawa Timur, 2020b). Hasil penghitungan dosis efektif tahunan disajikan pada Tabel 2.

Konsumsi makanan laut baik dari moluska maupun untuk krustasea untuk masyarakat di Sukabumi dan Lamongan tidak memberikan dampak yang signifikan, baik untuk orang dewasa, anak anak dan bayi, dengan dosis efektif tahunan

tertinggi pada bayi dengan konsumsi udang kipas dari Lamongan (34,22  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ). Dari data Tabel 2, dosis efektif tahunan jauh dari kisaran dosis yang ditetapkan oleh UNSCEAR. UNSCEAR merekomendasikan nilai dosis efektif tahunan untuk bayi adalah maksimal 180  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ , anak-anak sekitar 100  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  dan dewasa sekitar 70  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  (UNSCEAR, 2000).

Dosis efektif tahunan dari hasil penelitian ini jauh dibawah dosis dari dari penelitian serupa dengan yang dilakukan di Korea, dimana dosis efektif tahunan pada kerang adalah 8-133  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  (Kim et al., 2017) dibandingkan dengan dosis efektif dari sampel kerang hijau dari Sukabumi (0,19  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ). Dalam penelitian lain di New Zealand, dosis efektif tahunan pada beberapa kerang berkisar antara 92-798  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  (Guy et al., 2020). Studi lanjutan yang dilakukan oleh Guy et al., (2022) menemukan bahwa dosis tahunan untuk kerang adalah 87-1370  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ . Pada tahun 2022, studi serupa di Greenland juga mendapatkan dosis efektif tahunan yang melebihi dosis tahunan makanan laut yang ditetapkan oleh ICRP dan IAEA untuk orang dewasa (1364-3461  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ) dan anak anak (2490-6340  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ). Hal ini tidak lepas dari kebiasaan konsumsi makanan laut dari populasi di permukiman Inuit Greenland, yang memiliki tingkat konsumsi tinggi terhadap makanan laut, termasuk mamalia laut dan satwa lokal lainnya (Hansen et al., 2022).

Tabel 2. Perkiraan dosis efektif tahunan  $^{210}\text{Po}$  untuk krustasea dan moluska

Table 2. Estimated committed annual dose of  $^{210}\text{Po}$  for crustaceans and molluscs

Spesies/ Species	Dosis efektif tahunan (E) ( $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ )/ Annual Committed effective dose (E) ( $\mu\text{Sv}/\text{year}$ )		
	Bayi/ infant	Anak Anak/ Children	Dewasa/ adult
<b>Sukabumi</b>			
Kerang hijau ( <i>Perna viridis</i> )	0.19	0.06	0.03
Sotong ( <i>Sepiella inermis</i> )	4.82	1.42	0.66
Cumi-cumi ( <i>Loligo vulgaris</i> )	19.27	5.69	2.63
<b>Lamongan</b>			
Udang mantis ( <i>Bathysquilla microps</i> )	32.30	9.54	4.40
Udang kipas ( <i>Thenus orientalis</i> )	34.22	10.11	4.67
Rajungan ( <i>Portunus pelagicus</i> )	0.17	0.05	0.02
Rajungan karang ( <i>Charybdis ferrata</i> )	1.92	0.35	0.26

Estimasi dosis efektif tahunan pada makanan laut sangat penting karena selain berkaitan dengan aktivitas  $^{210}\text{Po}$ , tetapi juga berhubungan dengan pola konsumsi masyarakat. Menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO), rata-rata konsumsi makanan laut (Moluska dan Krustasea) masyarakat sebesar 9,2 Kg/tahun. Dengan pola konsumsi masyarakat, diperkirakan 70% dosis radiasi pada masyarakat karena konsumsi makanan laut bersumber dari  $^{210}\text{Po}$  (Belivermiş et al., 2019). Nilai dosis efektif tahunan setiap negara secara global berbeda-beda dipengaruhi oleh tingkat konsumsi dan aktivitas  $^{210}\text{Po}$  dalam *seafood* (Nguyen et al., 2021). Semakin tinggi tingkat konsumsi dan aktivitas  $^{210}\text{Po}$  di negara tersebut, semakin tinggi pula dosis efektif tahunannya. Tingginya dosis tahunan dari  $^{210}\text{Po}$  pada makanan sangat berbahaya bagi konsumennya.  $^{210}\text{Po}$  atau radiasinya tidak berbahaya bagi tubuh jika tidak tertelan karena  $^{210}\text{Po}$  tidak menembus kulit atau selaput utuh. Radiasi  $^{210}\text{Po}$  akan berdampak apabila masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan atau termakan maupun masuk melalui luka terbuka. Beberapa risiko bahaya  $^{210}\text{Po}$  terhadap manusia karena kontaminasi internal dalam waktu singkat dan paparan signifikan yang tidak terlalu tinggi pada periode tertentu dapat meningkatkan risiko kanker jangka panjang. Ketika  $^{210}\text{Po}$  tertelan, akan berada di sel darah merah dan kemudian akan masuk ke hati, ginjal, sumsum tulang, saluran pencernaan serta testis dan ovarium. *Deoxyribonucleic Acid* (DNA) akan mengalami kerusakan apabila  $^{210}\text{Po}$  menyebar ke seluruh tubuh yang disebabkan oleh radiasi alfa yang memicu terjadinya apoptosis (Carvalho et al., 2017).

Untuk mengurangi efek radiasi  $^{210}\text{Po}$ , cara memasak makanan laut berpengaruh cukup signifikan. Hasil riset Saif Uddin et al. (2019) menunjukkan kehilangan  $^{210}\text{Po}$  yang cukup besar dari berbagai jenis ikan dan udang karena cara pemasakan, sehingga pengurangan efek radiasi  $^{210}\text{Po}$  dari makanan laut bisa diminimalkan dengan memasak terlebih dahulu dibandingkan dengan dikonsumsi mentah.

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis, didapatkan aktivitas  $^{210}\text{Po}$  tertinggi adalah pada cumi cumi ( $25,71 \pm 3,66$  Bq/Kg) dan aktivitas terendah pada rajungan ( $1,46 \pm 0,34$  Bq/Kg). Aktivitas  $^{210}\text{Po}$  pada semua spesies udang umumnya tinggi. Aktivitas  $^{210}\text{Po}$  pada filum moluska bervariasi, dimana aktivitas  $^{210}\text{Po}$  pada cumi-cumi sekitar  $25,71$  Bq/Kg, jauh lebih tinggi, lebih dari tiga

kali lipat dibandingkan dengan sotong ( $6,44$  Bq/Kg) dan kerang hijau ( $6,00$  Bq/Kg). Konsumsi makanan laut baik dari moluska maupun untuk krustasea oleh masyarakat di Sukabumi dan Lamongan tidak memberikan dampak yang signifikan, baik untuk orang dewasa, anak-anak dan bayi, dengan dosis efektif tahunan tertinggi pada bayi dengan konsumsi udang kipas dari lamongan ( $34,22$   $\mu\text{Sv}$ /tahun). Dosis efektif tahunan ini jauh lebih rendah dari kisaran dosis yang ditetapkan UNSCEAR, menandakan bahwa Indonesia aman dari unsur radioaktif  $^{210}\text{Po}$ . Dosis konsumsi efektif tahunan sangat bergantung pada asupan makanan laut tahunan melalui makanan ditambah dengan kebiasaan masyarakat yang selalu memasak sebelum mengonsumsi makanan laut. Hasil penelitian ini dapat digunakan ketika membandingkan dosis efektif tahunan antar wilayah atau negara serta dalam melakukan perhitungan cemaran  $^{210}\text{Po}$  pada beberapa spesies di filum krustasea dan moluska yang di distribusikan dan dikonsumsi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada peneliti di laboratorium radioekologi yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. DIPA PRTKMMN-BRIN mendanai penelitian ini pada tahun 2022. Semua penulis dalam makalah ini adalah kontributor utama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardian, J. (2023). Hubungan Tingkat Konsentrasi Pencemar Kromium Dalam Air Dan Sedimen Dengan Struktur Komunitas Moluska Sungai Opak Bagian Hilir Kabupaten Bantul. *Biospecies*, 16(1), 47–54. <https://mail.online-journal.unja.ac.id/biospecies/article/view/21327>
- Aryanti, C. A., Muslim, Suseno, H., & Prihatiningsih, W. R. (2021). The effect of coal-fired power plant (CFPP) operations on food transfer Polonium- $^{210}$  ( $^{210}\text{Po}$ ) in coastal ecosystem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 890(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/890/1/012067>
- Aryanti, Chairun Annisa, Suseno, H., Muslim, Prihatiningsih, W. R., & Aini, S. N. (2022). Potential Radiological Dose of  $^{210}\text{Po}$  to Several Marine Organisms in Coastal Area of Coal-Fired Power Plant Tanjung Awar – Awar, Tuban. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 27(1), 73–87. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.27.1.73-82>
- As'ari, A. H., Mulyaningsih, T. R., & Yusuf, S. (2022). Comparative study of mineral element content in fishes from the south and north seas of Java island using neutron activation analysis. *Journal of*

- Physics: Conference Series*, 2193(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012031>
- Balqis, R. C., & Makmur, M. (2021). *Estimasi Dosis Radiasi<sup>210</sup>Po pada Ikan Laut Konsumsi dari Perairan Banda Aceh*. 24(November), 275–282. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i3.10219>
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Efe, E., Sezer, N., Gönülal, O., & Arslan Kaya, T. N. (2019). Mercury and Po-<sup>210</sup> in mollusc species in the island of GÖkçeada in the north-eastern Aegean Sea: Bioaccumulation and risk assessment for human consumers. *Chemosphere*, 235, 876–884. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.214>
- BPS Provinsi Jawa Barat. (2020). *Pola Konsumsi Penduduk Jawa Barat 2020*. <https://jabar.bps.go.id/>
- BPS Provinsi Jawa Timur. (2020). *Produksi dan Nilai Produksi Perikanan Tangkap Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Penangkapan di Provinsi Jawa Timur, 2020*. <https://jatim.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjQzMyMx/produksi-dan-nilai-produksi-perikanan-tangkap-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-penangkapan-di-provinsi-jawa-timur--2020.html>
- BPS Provinsi Jawa Timur. (2021). *Pengeluaran Untuk Konsumsi Rumah Tangga Provinsi Jawa Timur 2021*. <https://jatim.bps.go.id>
- Carvalho, F., Fernandes, S., Fesenko, S., Holm, E., Howard, B., Martin, P., Phaneuf, M., Porcelli, D., Pröhl, G., & J., T. (2017). *The environmental behaviour of polonium*.
- Carvalho, F. P. (2018). Radionuclide concentration processes in marine organisms: A comprehensive review. *Journal of Environmental Radioactivity*, 186(November 2017), 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.11.002>
- Duong Van, H. (2020). Assessment of the annual committed effective dose due to the <sup>210</sup>Po ingestion from selected sea-food species in Vietnam. *Chemosphere*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126519>
- FAO. (2012). WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE.
- Guy, S., Gaw, S., Beaven, S., & Pearson, A. J. (2022). Dose assessment for polonium-<sup>210</sup> (Po-<sup>210</sup>) in New Zealand shellfish. *Journal of Environmental Radioactivity*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106788>
- Guy, S., Gaw, S., Pearson, A. J., Golovko, O., & Lechermann, M. (2020). Spatial variability in Polonium-<sup>210</sup> and Lead-<sup>210</sup> activity concentration in New Zealand shellfish and dose assessment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106043>
- Hansen, V., Mosbech, A., Rigét, F. F., Søgaard-Hansen, J., Bjerregaard, P., Dietz, R., Sonne, C., Asmund, G., Bøknæs, N., Olsen, M., Gustavson, K., Boertmann, D., Fabricius, S. D., Clausen, D. S., & Hansen, A. S. (2022). *Background <sup>210</sup>Po activity concentrations in Greenland marine biota and dose assessment*. *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150508>
- Hurtado-Bermúdez, S. J., Expósito, J. C., & Villa-Alfageme, M. (2021). Correlation of phytoplankton satellite observations and radiological doses in molluscs. *Marine Pollution Bulletin*, 172(September). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112911>
- IAEA. (2004). *Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements*. International Atomic Energy Agency, July, 247. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1401\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1401_web.pdf)
- IAEA. (2017). *Guidelines for the Sampling, Preparation and Radio-Analysis of Marine Matrices* (Vol. 90). <https://doi.org/10.1177/0964663912467814>
- ICRP. (2012). *Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. Annals of the ICRP*, 41(SUPPL1), 1–130. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.06.038>
- KEPMEN. (2016). Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. No 79 Tahun 2016. Rencana Pengelolaan Perikanan Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia 712. KKP.
- Kim, S. H., Hong, G. H., Lee, H. M., & Cho, B. E. (2017). <sup>210</sup>Po in the marine biota of Korean coastal waters and the effective dose from seafood consumption. *Journal of Environmental Radioactivity*, 174, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.11.001>
- Kong, X., Qian, Y., Zheng, Q., & Ji, Y. (2021). Levels and distributions of <sup>210</sup>Pb and <sup>210</sup>Po in selected seafood samples in china and assessment of related dose to population. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063036>
- Kong, X., Yin, L., & Ji, Y. (2021). Simultaneous determination of <sup>210</sup>Pb and <sup>210</sup>Po in seafood samples using liquid scintillation counting. *Journal of Environmental Radioactivity*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106553>
- Lim, M. P., & Mohamed, C. A. R. (2019). Radioactivity of <sup>210</sup>Po in green mussels (*Perna viridis*) at the west coast of Johore straits, Malaysia. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 23(6), 980–990. <https://doi.org/10.17576/mjas-2019-2306-06>
- Makmur, M., Prihatiningsih, W. R., & Yahya, M. N. (2020). Baseline concentration of Polonium-<sup>210</sup> (<sup>210</sup>Po) in several biota from Jakarta Bay. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/011001>
- Musthafa, M. S., Arunachalam, K. D., & Raiyaan, G. I. D. (2019). Baseline measurements of <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb in the seafood of Kasimedu fishing harbour, Chennai, South East Coast of India and related dose to population. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 1, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.09.001>
- Nguyen, T. N., Nguyen, T. D., Duong, V. H., & Nguyen, T. T. (2021). Distribution and annual committed effective dose assessment of <sup>210</sup>Po in popular marine species at the near-shore Binh Thuan province, Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112073>
- Putri, S. O. H., Putra, D. I. P., Pambudi, F. I., Makmur, M., Prihatiningsih, W. R., Yusuf, S., & Mulyaningsih, T. R. (2022). Analysis of polonium-210 and dose assessment in marine fishery muscle from Southern Coast of Sukabumi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1119(1), 0–7. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112073>



- org/10.1088/1755-1315/1119/1/012085
- Ravisankar, R., Chandramohan, J., Chandrasekaran, A., Prince Prakash Jebakumar, J., Vijayalakshmi, I., Vijayagopal, P., & Venkatraman, B. (2015). Assessments of radioactivity concentration of natural radionuclides and radiological hazard indices in sediment samples from the East coast of Tamilnadu, India with statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1–2), 419–430. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.058>
- Safira, A., & Mashar, A. (2019). Analisis Keragaman Morfometrik Rajungan ( *Portunus pelagicus* Linnaeus , 1758 ) di WPP 712 Sebagai Dasar Pengelolaan. *Jurnal Pengelolaan Perikanan Tropis*, 3(2).
- Suriyanarayanan, S., Brahmanandhan, G. M., Malathi, J., Ravi Kumar, S., Masilamani, V., Shahul Hameed, P., & Selvasekarapandian, S. (2008). Studies on the distribution of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in the ecosystem of Point Calimere Coast (Palk Strait), India. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(4), 766–771. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.10.003>
- Suryono, C. A., Rochaddi, B., Setyati, W. A., Kelautan, I., Perikanan, F., Diponegoro, U., Perikanan, F., & Diponegoro, U. (2021). Kontaminasi Kerang *Filter Feeder Perna viridis* Linnaeus, 1758 ( Bivalvia : Mytilidae ) oleh Pestisida Organofosfat di Perairan Laut Brebes Jawa Tengah Indonesia. 24(2), 205–210.
- Uddin, S., Bebbehani, M., Sajid, S., & Karam, Q. (2019). Concentration of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in macroalgae from the northern Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 474–479. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.056>
- Uddin, S., Behbehani, M., Al-Ghadban, A. N., Sajid, S., Vinod Kumar, V., Al-Musallam, L., Al-Zekri, W., Ali, M., Al-Julathi, S., Al-Murad, M., & Alam, F. (2018).  $^{210}\text{Po}$  concentration in selected diatoms and dinoflagellates in the northern Arabian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 343–346. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.051>
- UNSCEAR. (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation: Vol. I. UNITED NATIONS. [http://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR\\_2000\\_Annex-A.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Annex-A.pdf)
- Wardono, B., & Muslih, T. (2020). Peran Perikanan Tangkap Skala Kecil Dalam Pembangunan Kawasan Di 'Weru Komplek', Kabupaten Lamongan. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 10(1), 25. <https://doi.org/10.15578/jksekp.v10i1.7239>