



JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659

e-ISSN : 2461-1166

Nomor Akreditasi: 766/AU3/P2MI-LIPI/10/2016

DISTRIBUSI DAN KAJIAN DAMPAK RADIONUKLIDA ^{137}Cs DI PESISIR BARAT PULAU SUMATERA

DISTRIBUTION AND THE IMPACT STUDY OF RADIONUCLIDE ^{137}Cs IN THE WEST COAST OF SUMATRA ISLAND

Murdahayu Makmur, Wahyu Retno Prihatiningsih & Mohamad Nur Yahya

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR), BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49. Jakarta 12440

Diterima: 13 Maret 2019; Diterima Setelah Perbaikan: 6 April 2020; Disetujui Terbit: 17 Mei 2020

ABSTRAK

Penelitian mengenai distribusi radionuklida ^{137}Cs pada sedimen dan air laut permukaan dan kajian dampaknya terhadap biota telah dilakukan di perairan laut di sepanjang pesisir barat Pulau Sumatera, pada 2015. Sampel sedimen diambil menggunakan sedimen grab, dikeringkan, dihaluskan dan dihomogenkan. Sampel air laut permukaan sebanyak 80 liter diprekonsentrasi dan endapannya dikeringkan. Pengukuran dilakukan menggunakan spektrometri gamma baik untuk sedimen dan air laut. Hasil pengukuran aktivitas ^{137}Cs pada sedimen berkisar dari 0,013 Bq/Kg sampai dengan 0,589 Bq/Kg dengan rerata 0,233 Bq/Kg ($n=18$) dan pada air laut permukaan dari 0,042 Bq/m³ sampai dengan 0,205 Bq/m³ dengan rerata sebesar 0,123 Bq/m³ ($n=7$). Aktivitas ^{137}Cs pada sedimen dan air laut yang terukur sepanjang pesisir barat Pulau Sumatera mempunyai rentang konsentrasi aktivitas yang hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan lokasi lainnya di Samudera India. Menggunakan program *Erica Tool Tier 2*, diketahui bahwa tidak ada dampak ^{137}Cs terhadap biota pada lokasi penelitian, karena nilai rasio total dosis yang diterima oleh biota tersebut lebih kecil dari 1 dibandingkan dengan *screening level Tier 2* sebesar 10 $\mu\text{Gy/h}$.

Kata Kunci: Distribusi, kajian dampak, ^{137}Cs , pesisir barat Sumatera, *Erica tools*.

ABSTRACT

Research on the distribution ^{137}Cs in sediment and surface seawater and the impact of that radionuclide to marine biota was conducted along the west coast of Sumatra Island in 2015. Sediment samples were taken using grab sediments, dried, grinded and homogenized. Surface sea water samples are taken about 80 liters, pre concentrated and dried. Measurements were made using gamma spectrometry for both of radionuclides. The results of ^{137}Cs activity measurements on sediments ranged from 0.013 Bq/Kg to 0.589 Bq/Kg with an average of 0.233 Bq/Kg ($n=18$) and at sea surface water of 0.042 Bq/m³ to 0.205 Bq/m³ with an average of 0.123 Bq/m³ ($n=7$). The ^{137}Cs activity along the western coast of the island of Sumatra has an identical concentration of activity with the other Indian Ocean studies. Using the *Erica Tool Tier 2* program, it was known that there was no impact of ^{137}Cs on biota at the study site, because the ratio of the total dose received by the biota was smaller than 1 compared to Tier 2 screening levels of 10 $\mu\text{Gy/h}$.

Keywords: Distribution, Impact Assessment, ^{137}Cs , West Coast Sumatera, *erical tools*.

Corresponding author:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: mdhayu@batan.go.id

Copyright © 2020 Jurnal Segara

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v16i1.7694>

PENDAHULUAN

Bencana gempa bumi dan tsunami pada 11 Maret 2011 yang terjadi di Fukushima Jepang, menyebabkan kegagalan reaktor *Fukushima Daiichi Nuclear Power Station* (FDNPS). Kejadian tersebut menyebabkan terjadinya lepasan radionuklida dan masuk ke lingkungan termasuk ke perairan laut, yang terjadi secara langsung masuk ke laut atau sebagai jatuhnya dari atmosfer, mengingat bahwa arah angin yang terjadi pada saat kecelakaan itu menuju laut (Vives *et al.*, 2014). Sekitar 80% dari kejatuhan radioaktif, terutama ^{131}I dan ^{137}Cs terjadi di atas laut Pasifik. Besarnya lepasan langsung ke laut disadari tak lama setelah kecelakaan. Radiocesium dan ^{131}I adalah radionuklida utama yang dilepaskan ke dalam lingkungan laut, termasuk radionuklida ^{129}Te , $^{129\text{m}}\text{Te}$ dan ^{132}Te juga dirilis bersamaan walau dalam jumlah yang lebih kecil (Vives & Vives i Battle. 2016).

Dalam radius 80 km dari FDNPS, konsentrasi ^{137}Cs dalam air laut lebih tinggi 10 - 20 kali dibandingkan dengan konsentrasi pada air laut Jepang sebelumnya dan konsentrasi ^{137}Cs dan ^{134}Cs hampir sama pada semua sampel, dimana waktu pengambilan sampel dilakukan pada Juli sampai Agustus 2011 (Higa *et al.*, 2012). Lepasannya radionuklida selama Maret dan April 2011 dapat ditemukan dan terukur secara global dan karena arah angin secara umum di Jepang, bergerak dari barat ke timur, maka lepasannya radionuklida tersebut bergerak ke arah Lautan Pasifik dan terdeteksi di stasiun monitor yang dimiliki oleh *Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization* (CTBTO) di Hawaii, pantai barat USA (Povinec *et al.*, 2013).

Laut Sanriku di sebelah tenggara pulau Honshu, merupakan daerah percampuran air di mana terdapat tiga aliran massa: Tsugaru, Oyashio dan Kuroshio. Arus Tsugaru yang berasal dari arus Tsushima mengalir ke Samudera Pasifik dan memasuki wilayah perairan Indonesia melalui *Indonesian Through Flow* (ITF) atau yang dikenal dengan Arus Lintas Indonesia (Arlindo) (Qu, Song & Yamagata, 2009). Massa air ITF berpotensi membawa radionuklida memasuki perairan laut Indonesia menuju Samudera India (Yamada *et al.*, 2006). Adanya arus lokal, akan menyebarkan radionuklida tersebut tersebar luas ke seluruh perairan laut Indonesia.

Keberadaan radionuklida ^{137}Cs di Samudera India selain berasal dari kecelakaan Fukushima, juga berasal dari jatuhnya global uji coba senjata nuklir, kecelakaan chernobyl, operasional reaktor nuklir dan kecelakaan kapal selam nuklir serta kehilangan senjata nuklir dan sumber radioaktif lainnya. (Jha *et al.*, 2012).

Keberadaan radionuklida antropogenik di lingkungan berpotensi memberikan dampak terhadap

kesehatan manusia. Nuklida ^{137}Cs , seperti halnya radionuklida lainnya, dalam jumlah yang cukup besar akan menyebabkan kerusakan sel akibat radiasi yang menembus tubuh. Menyentuh sumber cesium secara langsung dapat menimbulkan gejala sindrom radiasi akut, seperti mual, muntah, diare, perdarahan, koma, dan bahkan kematian.

Paparan berulang pada manusia juga dapat mengakibatkan berkurangnya kesuburan pria, gangguan neurologis dan peningkatan risiko kanker. Studi tentang risiko kanker yang secara spesifik terhadap kesehatan pada manusia yang terpapar cesium langsung dari sumber radiasi terjadi pada tahun 1987 di Goiânia, Brasil, dan selama tahun 1996 dan 1997 di Rusia (Agency for Toxic Substances & Disease Registry. 2004). Tetapi, apabila aktivitas ^{137}Cs di lingkungan sangat kecil, maka tidak akan memberikannya dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia.

Studi keberadaan radionuklida di perairan laut Indonesia masih sangat terbatas. Beberapa penelitian pemantauan radionuklida antropogenik telah dilakukan, seperti pemantauan aktivitas plutonium dan amerisium yang dilakukan di pesisir laut Gresik (Makmur, 2014) dan di laut Bangka (Makmur, 2013). Penelitian serupa juga dilakukan di sepanjang Arlindo) jalur sekunder (Makmur & Herlambang, 2015) dan di Teluk Jakarta untuk berbagai radionuklida (Suseno *et al.*, 2017).

Pemantauan radionuklida di sebagian pesisir Indonesia dilakukan pada 2011-2013 untuk melihat dampak kejadian Fukushima (Suseno & Prihatiningsih, 2014) Studi serupa juga dilakukan untuk perairan laut dalam (Suseno *et al.*, 2015, Suseno *et al.*, 2017). Studi lebih lanjut dilakukan di perairan Laut Gresik dan Laut Karimun Jawa (Muslim *et al.*, 2015).

Studi lebih lanjut dari pemantauan radionuklida di lingkungan adalah mengkaji dampak terhadap lingkungan termasuk biota yang berada di daerah penelitian. Beberapa perangkat model saat ini banyak dikembangkan untuk memudahkan pengkajian resiko radiologis akibat radiasi pengion pada berbagai spesies biota (Battle *et al.*, 2016) Salah satu model yang banyak digunakan adalah *Erica Tool* (Brown *et al.*, 2008), Penggunaan *Erica Tool* telah sangat luas diaplikasikan pada berbagai kondisi lingkungan.

Kajian dampak radiologis dampak kecelakaan Fukushima pada ekosistem laut menggunakan perangkat *Erica Tool*, juga pernah dilakukan untuk menghitung dampak radiasi ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr dan ^{110}Ag yang ditimbulkan dari kecelakaan Fukushima terhadap biota perairan laut Jepang (Yu *et al.*, 2015). Metoda yang sama akan digunakan untuk mengkaji dampak radionuklida antropogenik terhadap biota laut pada

pesisir barat Pulau Sumatera yang dihitung dengan menggunakan *Erica tool* sebagai piranti lunaknya. Kajian yang komprehensif mengenai keberadaan radionuklida antropogenik yang ada pada perairan laut Pulau Sumatera serta kajian dosis terhadap biota, dapat memberikan gambaran yang utuh atas pengaruh radionuklida tersebut terhadap lingkungan perairan laut Indonesia.

METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel

Pengambilan sampel air laut dan sedimen dilakukan di pesisir barat Pulau Sumatera, meliputi Aceh, Padang, Bengkulu dan Lampung pada tahun 2015. Pengambilan sampel di wilayah Aceh yang meliputi Pulau Sabang dan pesisir Aceh dilakukan pada 5 sampai dengan 9 Oktober 2015. Pengambilan sampel di Lampung dilakukan pada 3 sampai dengan 5 Juni 2015. Di wilayah Bengkulu pada 18 sampai dengan 20 Maret 2015 dan di Padang 28 sampai dengan 31 Juli 2015. Titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Sampel sedimen diambil menggunakan sedimen grab, sedangkan sampel air laut permukaan diambil sebanyak 80 liter yang ditampung pada jerigen plastik.

Preparasi sampel air laut dan sedimen

Sampel sedimen dikeringkan menggunakan oven, dihaluskan dan dihomogenkan, kemudian dimasukkan ke dalam botol plastik sebanyak 1000 gram. Sampel air laut yang diambil sebanyak 80 liter, kemudian ditambahkan tembaga (II) sulfat dan Potasium Heksasianferat (II), diaduk sampai homogen dan dидiamkan. Endapan dipisahkan dari air

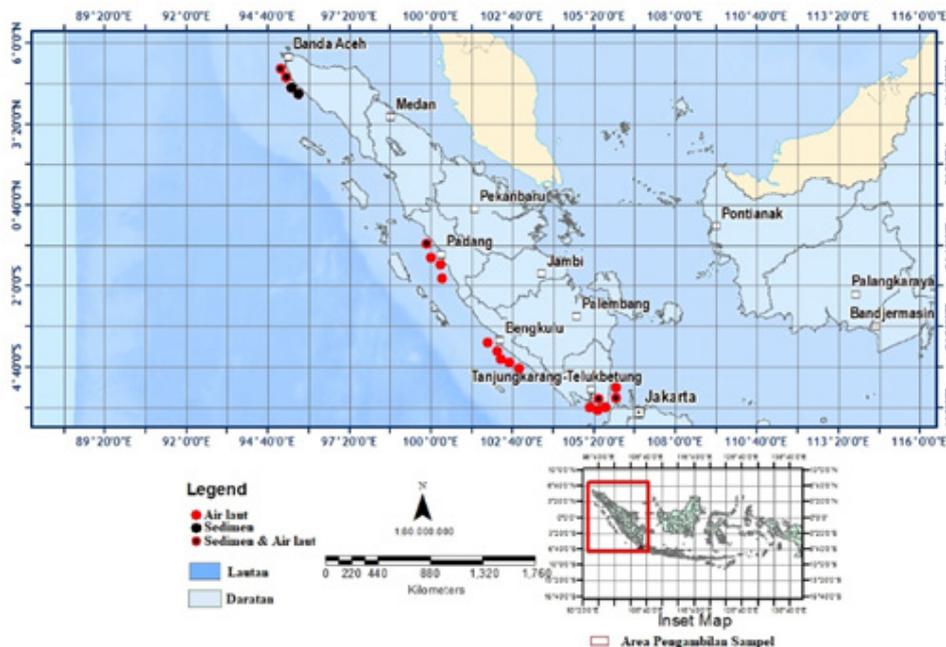
laut dan dikeringkan menggunakan oven selama 1-2 hari pada temperatur 60°C.

Pencacahan sampel

Pencacahan menggunakan spektrometri gama. Alat ini digunakan untuk menghitung aktivitas gama dari ¹³⁷Cs. Pencacahan dilakukan selama 259.200-345.600 detik, tergantung angka ketidakpastian dari jumlah cacah masing masing sampel. Pengukuran dilakukan menggunakan tiga detektor yaitu Canberra tipe GX2018, Canberra tipe GC2020 dan Ortec tipe GMX 25P4-76, dimana metoda pengukuran termasuk kalibrasi detektor, penghitungan efisiensi detektor, cacahan latar belakang (*background counting*) dan perhitungan regresi linear dari spektrum telah divalidasi.

Penghitungan laju dosis menggunakan Erica Tool

Laju dosis dihitung menggunakan *Erica Tool* (Brown *et al.*, 2008) dengan menggunakan menu Tier 2. Menu Tier 2 yang dimaksud adalah pengguna dapat memodifikasi data input dan tidak lagi menggunakan seluruh data sediaan dari *Erica Tool* seperti pada menu Tier 1. Dalam perhitungan ini, maka nilai aktivitas ¹³⁷Cs yang didapatkan dari perhitungan digunakan sebagai input pada *Erica Tool*. Total dosis yang dihasilkan melalui Tier 2 dapat digunakan lebih lanjut untuk menentukan efek biologis dengan merujuk pada *FEDERICA* database sebagai data sediaan Tier 2, dimana *screening* level yang digunakan adalah sebesar 10 µGy/h. Tier 2 mempunyai *Traffic Light System* yaitu sistem untuk memberikan kesimpulan apakah penilaian yang dilakukan berhenti pada Tier 2 dengan rekomendasi hasil akhir menyatakan total dosis aman dan tidak memberikan dampak pada ekosistem (rasio total dosis terhadap *screening* level



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel air laut dan sedimen.

kecil dari 1) atau perlu dilakukan penilaian lanjut ke Tier 3 apabila dosis total lebih besar dari *screening level*, 10 $\mu\text{Gy/h}$ (Brown *et al.*, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi ¹³⁷Cs di air laut dan sedimen

Pulau Sumatera terletak di bagian barat gugusan kepulauan Indonesia dan secara astronomis berada pada posisi 6°LU-6°LS dan antara 95°BB-109°BT. Di sebelah utara berbatasan dengan Teluk Benggala, di sebelah timur dengan Selat Malaka, di sebelah selatan dengan Selat Sunda, dan di sebelah barat dengan Samudera India. Perairan laut Sumatera dihubungkan oleh arus lokal dengan Arlindo dengan adanya angin muson timur dan angin musin barat. Mengingat Pulau Sumatera merupakan kawasan perairan laut yang unik, dimana di bagian timur berhubungan langsung Selat Malaka dan dengan Laut China Selatan yang merupakan jalur Arlindo jalur sekunder yang membawa langsung radionuklida dari Samudera Pasifik. Sementara di sisi bagian barat, termasuk Samudera India yang merupakan perpanjangan dari keluaran Arlindo pada Selat Lombok. Sumber radionuklida ¹³⁷Cs tersebut tidak hanya melalui Arus lintas Indonesia, tetapi juga ada sumber radionuklida yang berasal dari jatuhnya uji senjata nuklir dan kejadian kecelakaan nuklir Chernobyl di waktu lalu yang terdesposisi di atmosfer.

Pemantauan radionuklida baik di sedimen dan air laut di sepanjang di pesisir pantai barat Pulau Sumatera dilakukan di wilayah Aceh, Padang, Bengkulu dan Lampung. Data aktivitas radionuklida ¹³⁷Cs dapat dilihat

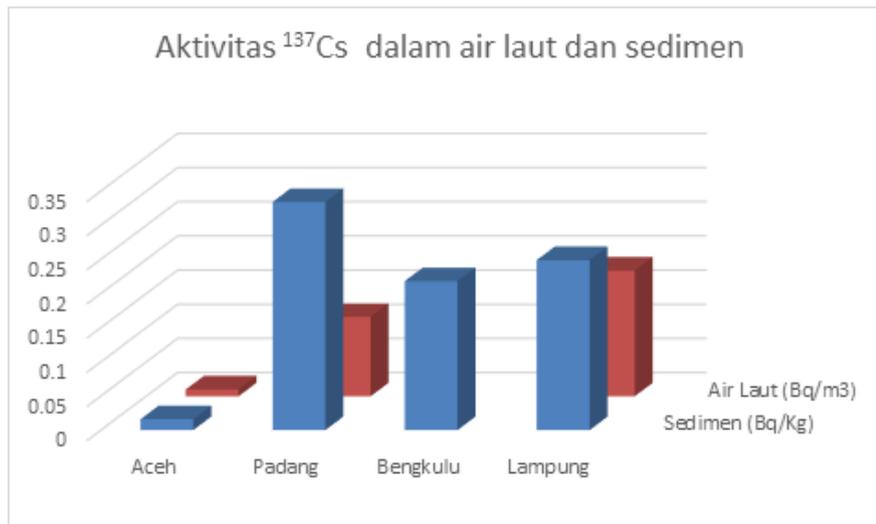
dalam Tabel 1. Pengambilan sampel untuk analisis ¹³⁷Cs pada air laut dilakukan pada 7 titik pengambilan sampel, sedangkan untuk sampel sedimen dilakukan untuk 18 titik pengambilan sampel. Bervariasinya jumlah sampel yang dikumpulkan disebabkan karena faktor lingkungan yang berbeda dari setiap lokasi.

Aktivitas ¹³⁷Cs pada sedimen berkisar dari 0,013 Bq/Kg yang terdapat pada sampel Aceh 1 sampai dengan tertinggi pada sampel Padang 1 yaitu sekitar 0,589 Bq/Kg. Rerata tertinggi ¹³⁷Cs per lokasi terdapat pada daerah Padang dengan rerata 0,334 Bq/Kg (n= 4) dan terendah pada daerah Aceh dengan rerata sekitar 0,016 Bq/Kg (n=2). Sedangkan untuk air laut, tertinggi pada wilayah Lampung 2 yaitu sekitar 0,205 Bq/m³ dan terendah di Aceh 1 sekitar 0,042 Bq/m³, dengan rerata per wilayah terbesar terdapat pada wilayah Lampung sebesar 0,184 Bq/m³ (n=2) dan terkecil di wilayah Aceh sekitar 0,010 Bq/m³ (n=4) Sebaran aktivitas ¹³⁷Cs dapat dilihat pada Gambar 2.

Wilayah Aceh, Padang, Bengkulu dan Lampung terletak di pesisir pantai barat Pulau Sumatera yang merupakan bagian dari Samudera India, dimana benua India membagi Samudera India menjadi 2 basin yang mempunyai tipikal yang berbeda, yaitu Laut Arab dan Teluk Benggala. Samudera India mempunyai dua tipikal arus yang tergantung kepada musim. Selama musim angin barat daya, arus di Samudera India Utara bergerak ke timur dan mengalir dengan arah anti siklon. Sementara selama musim timur laut, arus bergerak ke arah barat searah dengan siklon (Jha *et al.*, 2012). Dengan demikian, nilai aktivitas ¹³⁷Cs baik untuk

Tabel 1. Aktivitas ¹³⁷Cs pada sedimen dan air laut di pesisir barat Pulau Sumatera

No	Kode Sampel	Koordinat	Aktivitas ¹³⁷ Cs ^o	
			Sediment (Bq/Kg)	Air Laut (Bq/m ³)
1	Aceh 1	94°52,2' BT 05°51,6' LU	0,013 ± 0,001	0,042 ± 0,005
2	Aceh 2	95°03,0' BT 04°04,2' LU	0,019 ± 0,002	0,097 ± 0,011
3	Aceh 3	95°15,6' BT 04°46,8' LU	n.d.	0,074 ± 0,008
4	Aceh 4	95°39,0' BT 04°27,0' LU	n.d.	0,166 ± 0,019
5	Padang 1	99°42,0' BT 00°27,0'LS	0,589 ± 0,060	0,116 ± 0,013
6	Padang 2	99°54,0' BT 00°51,0'LS	0,553 ± 0,056	n.d.
7	Padang 3	100°12,0' BT -01°14,7'LS	0,111 ± 0,011	n.d.
8	Padang 4	100°27,0' BT -01°37,5'LS	0,084 ± 0,009	n.d.
9	Bengkulu 1	101°48,0' BT -03°31,8'LS	0,150 ± 0,010	n.d.
10	Bengkulu 2	102°12,7' BT -03°52,2'LS	0,260 ± 0,030	n.d.
11	Bengkulu 3	102°14,7' BT -04°57,6'LS	0,200 ± 0,020	n.d.
12	Bengkulu 4	102°14,4' BT -04°15,0'LS	0,280 ± 0,030	n.d.
13	Bengkulu 5	102°48,0' BT -04°34,8'LS	0,200 ± 0,020	n.d.
14	Lampung 1	106°00,6' BT -05°52,5'LS	0,430 ± 0,004	0,163 ± 0,018
15	Lampung 2	105°35,3' BT -05°50,4'LS	0,180 ± 0,002	0,205 ± 0,024
16	Lampung 3	105°45,5' BT -06°03,6'LS	0,430 ± 0,004	n.d.
17	Lampung 4	105°08,9' BT -06°09,6'LS	0,240 ± 0,002	n.d.
18	Lampung 5	106°13,2' BT -05°25,2'LS	0,190 ± 0,002	n.d.
19	Lampung 6	105°25,3' BT -06°06,0'LS	0,128 ± 0,013	n.d.
20	Lampung 7	106°13,2' BT -05°30,0LS	0,146 ± 0,015	n.d.



Gambar 2. Sebaran aktivitas ¹³⁷Cs dalam air laut dan sedimen.

sedimen dan air, banyak dipengaruhi oleh karakteristik radioaktif dari Samudera India.

Kondisi pesisir pantai barat Sumatera, juga dipengaruhi oleh arus laut dari Lautan Pasifik yang melewati perairan laut Indonesia melalui Arus Lintas Indonesia yang dikenal dengan Arlindo. Arlindo menuju Samudera India melalui Laut Timor, Selat Ombai dan Selat Lombok (Gordon *et al.*, 2010), yang sebagian menyusuri selatan Pulau Jawa dan Barat Pulau Sumatera. Air di sekitar Indonesia mengalir ke Samudra Hindia melalui tiga bagian utama Laut Timor, Selat Ombai, dan Selat Lombok (Gordon *et al.*, 2010). Arus Jawa Selatan (SJC) yang mengalir di sepanjang pantai selatan pulau Jawa juga mempengaruhi kondisi lingkungan Selat Lombok dan daerah sekitarnya pada skala waktu musiman (Suseno *et al.*, 2015). Laut selatan Jawa dan barat Sumatera juga mengalami *upwelling* yang terjadi antara Juni dan November di samping perpindahan air permukaan Ekman dari pantai Jawa dan Sumatera yang dihasilkan dari angin tenggara (Baumgart *et al.*, 2010).

Perbandingan aktivitas cesium rata rata yang di dapat dari beberapa penelitian serupa dari beberapa kawasan di perairan laut Indonesia, dapat dilihat dalam Tabel 2.

Penelitian yang dilakukan pada 2011 pesisir barat pulau Sumatera, menemukan aktivitas ¹³⁷Cs berkisar pada 0,113 mBq/L pada air permukaan (Suseno *et al.*, 2015) dan pada tahun 2012 sekitar 0,33 Bq/Kg pada sedimen dan sekitar 0,12 mBq/L pada air permukaan (Suseno *et al.*, 2015). Dibandingkan dengan data yang didapatkan pada penelitian ini, yaitu sekitar 0,334 Bq/kg pada sedimen dan sekitar 0,116 mBq/L, maka disimpulkan bahwa tidak ada penambahan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir ini. Pernyataan ini mendukung klarifikasi yang telah disimpulkan oleh (Suseno & Prihatiningsih, 2014) yang menyatakan tidak ada pengaruh dari kecelakaan nuklir di Fukushima Jepang yang terjadi pada Tahun 2011 terhadap perairan laut Indonesia yang dibuktikan dengan tidak terdeteksinya ¹³⁴Cs yang mempunyai waktu paruh pendek pada penelitian yang dilakukan pada 2011 sampai 2013 di beberapa perairan laut

Tabel 2. Perbandingan aktivitas ¹³⁷Cs dari beberapa penelitian di Indonesia

	Tahun	Sedimen (Bq/m ³) (Bq/Kg)	Air laut	Referensi
Aceh	2015	0,016 (n=2)	0,010 (n=4)	Pada Penelitian ini
Lampung	2015	0,250 (n=7)	0,184 (n=2)	
Bengkulu	2015	0,218 (n=5)	n.d.	
Padang	2015	0,334 (n=4)	0,116 (n=1)	
Sumatera Barat (Padang)	2011	n.d.	0,113 (n=3)	(Suseno <i>et al.</i> , 2015)
Selatan pulau Jawa	2012	n.d.	0,22 (n=8)	
Sumatera Barat (Padang)	2012	0,33 (n=4)	0,12 (n=4)	(Suseno & Prihatiningsih 2014)
Jogjakarta	2013	0,83 (n=4)	0,13 (n=4)	

n.d. = no data

Indonesia (Suseno & Prihatiningsih, 2014)

Penelitian di pesisir Teluk Benggala melaporkan aktivitas ^{137}Cs pada air laut permukaan berkisar antara 0,3 sampai dengan 1,25 Bq/m³ (Jha *et al.*, 2012), aktivitas ^{137}Cs di Sepanjang pesisir India berkisar antara 0,09– 1,30 Bq/m³ (Sartandel & Tripathi, 2015). Data monitoring radionuklida antropogenik pada air permukaan di Samudera India yang dilakukan pada 2011 - 2012 menemukan konsentrasi ^{137}Cs berkisar Antara limit MDA (*minimum Detectable Activity*) sampai dengan 0,28 Bq/m³ di Selatan pulau Jawa dan sekitar 0,13 Bq/m³ di perairan laut di barat pulau Sumatera (Suseno *et al.*, 2015). Data pada WOMARS (*Worldwide Marine Radioactivity Studies*) pada tahun 2005 menyebutkan bahwa data radionuklida di Samudera India untuk ^{137}Cs berkisar antara 1,6 sampai dengan 2,3 Bq/m³ (Povinec *et al.*, 2005). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa aktivitas ^{137}Cs yang terukur sepanjang pesisir Barat pulau Sumatera dan merupakan bagian dari Samudera India mempunyai rentang konsentrasi yang hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan di Samudera India lainnya.

Data ^{137}Cs dari perairan laut Indonesia lainnya, seperti pada 2011 – 2013 menyebutkan bahwa ^{137}Cs dalam air laut dan sedimen di Laut Indonesia di pantai kawasan timur Indonesia (Pantai Sulawesi Utara dan Sulawesi Selatan) berkisar antara 0,12-0,32 Bq/m³ dan 0,10-1,03 Bq/kg. Sedangkan di pantai kawasan Indonesia Barat (bagian pantai barat Sumatera Barat, Pulau Bangka, Jawa Utara, Selatan Jawa dan Pulau Madura), menyebutkan konsentrasi ^{137}Cs di air laut dan sedimen berkisar pada rentang 0,12 - 0,66 Bq/m³ dan 0,19 - 1,64 Bq/kg (Suseno & Prihatiningsih, 2014)

Monitoring radionuklida ^{137}Cs pada air permukaan yang dilakukan oleh Kapal Baruna Jaya III pada Sail Morotai tahun 2012, menemukan konsentrasi ^{137}Cs di Laut Flores berkisar antara 0,29 - 0,30 Bq/m³. Sedangkan pada inlet ITF yang lain seperti pada Laut Halmahera ditemukan bervariasi antara 0,20 - 0,38 Bq/m³. Di Terusan Lifamatola, berkisar antara 0,20 - 0,30 Bq/m³ (Suseno *et al.*, 2017).

Penelitian yang telah dilakukan tersebut telah membuktikan bahwa tidak ada pengaruh kejadian Fukushima terhadap kenaikan konsentrasi aktivitas antropogenik terutama ^{137}Cs di perairan laut Indonesia, termasuk di perairan laut sebelah barat Pulau Sumatera.

Kontribusi dosis ^{137}Cs dari air laut dan sedimen terhadap biota

Estimasi dosis yang diserap oleh biota laut, dapat ditentukan dengan menggunakan berbagai metoda, salah satunya menggunakan *Erica Tool*, yang merupakan sistem perangkat lunak untuk mengkaji dampak radiologi terhadap biota. Sistemnya akan

menghitung laju dosis yang diterima biota dari pajanan eksternal dan internal radionuklida baik natural ataupun artifisial.

Piranti *Erica tool* telah digunakan secara luas untuk kajian dampak radiologis yang bisa digunakan untuk kajian lingkungan normal maupun ada kejadian kecelakaan nuklir. (Larsson. 2008). Tingkatan dalam *Erica Tool* memiliki perbedaan satu dengan lainnya yang disesuaikan dengan tujuan penggunaan. Tier 1 merupakan tingkatan paling sederhana dengan masukan data radioaktif yang terbatas dan diperuntukkan bagi non radiologist specialist. Tahapan advance selanjutnya Tier 2, dimana pengguna dapat memodifikasi data input seperti transfer parameter sehingga tidak lagi menggunakan data sediaan dari *Erica Tool* seperti pada Tier 1. Demikian halnya dengan aktivitas konsentrasi radionuklida pada biota dan media menggunakan data *site specific* sehingga diperoleh besaran dosis total untuk dibandingkan dengan screening level. Total dosis yang dihasilkan melalui Tier 2 dapat digunakan lebih lanjut untuk menentukan efek biologis dengan merujuk pada FEDERICA database sebagai data sediaan Tier 2. Tingkatan paling akhir, Tier 3 tidak menggunakan screening level dalam assessment namun demikian Tier 3 memberikan kepada pengguna arahan, template dan perangkat bantuan untuk assessment yang lebih detail melalui analisis probabilitas dan sensitivitas. Hasil akhir assessment Tier 3 dapat secara langsung dibandingkan dengan FEDERICA database secara online (Brown *et al.*, 2008).

Inputan Erica tool yang menggunakan data input dari hasil uji di laboratorium, akan mendapatkan hasil yang lebih tepat ketika di esktrapolasikan ke lingkungan dibandingkan dengan menggunakan konstanta yang telah tersedia dalam piranti tersebut (Larsson. 2008). Sistem *Erica tool* Tier 2, membutuhkan beberapa konstanta yang harus diinput, salah satu nilai yang diperlukan adalah nilai Kd, yaitu koefisien distribusi dari air ke sedimen. Nilai koefisien distribusi sedimen-air ini merupakan rasio aktivitas radionuklida pada sedimen terhadap aktivitas di air laut. Nilai ini tergantung kepada faktor lingkungan seperti pH, temperatur, kandungan organik dan lain sebagainya dengan nilai yang dapat berbeda jauh walau di lingkungan akuatik yang sama (Patiris *et al.*, 2016)

Koefisien distribusi ^{137}Cs pada penelitian ini juga dihitung dan didapatkan nilainya bervariasi mulai dari 0,013 pada wilayah Aceh 1 sampai dengan 0,43 pada wilayah Lampung 1. Berbagai faktor diatas, mempengaruhi nilai Kd yang terukur. Nilai koefisien distribusi dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Koefisien Distribusi (Kd)

No	Lokasi	Nilai Kd
1	Aceh 1	0,013
2	Aceh 2	0,019
3	Lampung 1	0,43
4	Lampung 2	0,18
5	Padang 1	0,19

Hasil perhitungan

Nilai lain yang diperlukan untuk penghitungan dosis adalah nilai Cr, yaitu Concentration Ratio. Rasio konsentrasi merupakan nilai rasio antara aktivitas radionuklida pada biota spesifik dibagi dengan aktivitas radionuklida pada air laut. Dalam penelitian ini, nilai default untuk biota spesifik diambil dari database *Erica tool*.

Aktivitas tertinggi dari ^{137}Cs dalam hasil analisis air laut dan parameter koefisien distribusi (Kd) dari hasil penelitian ini diambil sebagai input dalam penilaian konsentrasi lingkungan, sedangkan rasio konsentrasi (Cr), koefisien konversi dosis radiasi, faktor ketidakpastian ditetapkan sebagai nilai default dalam *Erica tool*.

Dengan menggunakan program *Erica Tool* Tier 2, hasil analisis menunjukkan bahwa tidak ada dampak ^{137}Cs terhadap biota pada lokasi penelitian, karena dosis yang diterima lebih rendah dari 1 dibandingkan dengan screening level sebesar $10 \mu\text{Gy/h}$. Dibandingkan dengan penelitian laju dosis radionuklida ^{137}Cs terhadap beberapa biota laut di Pulau Bangka didapatkan nilai screening level juga kurang dari $10 \mu\text{Gy/h}$ dan tidak diperlukan untuk tindakan lebih lanjut (Lubis *et al.*, 2014). Dalam penelitian lain didapatkan bahwa iradiasi kronik sebesar $10 \mu\text{Gy}$ terhadap lingkungan memberikan dampak signifikan, terutama untuk organisme yang masih dalam bentuk larva dan embrio. Dampak tersebut dihitung dengan menggunakan formulasi kuasi risiko (risk quotion formula) terhadap berbagai biota (Ye & Feng, 2017)

Hasil penilaian radiologis menggunakan *Erica Tool* juga dilakukan di pesisir Pantai di Jepang pada Juni - Juli 2011, beberapa bulan setelah kecelakaan nuklir Fukushima Jepang. Didapatkan tingkat dosis untuk organisme laut di daerah pengambilan sampel lebih rendah daripada tingkat dosis *screening* level $10 \mu\text{Gy/h}$, yang menunjukkan bahwa pelepasan radioaktif dari kecelakaan nuklir Fukushima tidak memiliki efek buruk yang signifikan pada biota laut di tingkat populasi walaupun risiko dapat meningkat melalui rantai makanan biota laut yang yang hidup di wilayah pantai Jepang. (Yu *et al.*, 2015)

Penelitian yang menilai dampak paparan radiasi kronis dari kecelakaan Chernobyl pada 6 danau di

Belarus dan Ukraina menunjukkan tingkat dosis total yang lebih tinggi, berkisar antara $0,06 - 27,1 \mu\text{Gy/h}$. Dengan demikian, danau danau tersebut memerlukan penanganan khusus, karena tingginya tingkat dosis radioaktif dari kecelakaan Chernobyl tersebut akan memberikan dampak terhadap biota yang ada di danau tersebut (Fuller *et al.*, 2017)

KESIMPULAN

Hasil pengukuran aktivitas ^{137}Cs pada sedimen berkisar dari $0,013 \text{ Bq/Kg}$ sampai dengan $0,589 \text{ Bq/Kg}$ dengan rerata $0,233 \text{ Bq/Kg}$ ($n=18$) dan pada air laut permukaan sebesar $0,042 \text{ Bq/m}^3$ sampai dengan $0,205 \text{ Bq/m}^3$ dengan rerata sebesar $0,123 \text{ Bq/m}^3$ ($n=7$). Aktivitas ^{137}Cs yang terukur sepanjang pesisir Barat pulau Sumatera mempunyai rentang konsentrasi aktivitas yang hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan di Samudera Hindia lainnya dan dapat dikatakan bahwa tidak ada input baru dari daratan. Menggunakan program *Erica tool* Tier 2, tidak ada dampak ^{137}Cs terhadap biota pada lokasi penelitian, karena dosis yang diterima lebih rendah dari 1 dibandingkan dengan screening level Tier 2 sebesar $10 \mu\text{Gy/h}$

PERSANTUNAN

Terimah kasih kepada semua Tim peneliti di Radioekologi Kelautan terutama kepada Dr. Heny suseno. Penelitian ini didanai dari DIPA PTKMR tahun 2015. Murdahayu Makmur merupakan kontributor utama pada tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency for Toxic Substances & Disease Registry. (2004). *Toxicological Profile for Cesium*. Atlanta, Georgia: Toxicology Information Branch-ATSDR.
- Baumgart, A., Jennerjahn, T., Mohtadi, M., & Hebbeln, D. (2010). Distribution and Burial of Organic Carbon in Sediments from the Indian Ocean Upwelling Region off Java and Sumatra, Indonesia. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 57(3), 458-467. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2009.12.002>
- Brown, J.E., Alfonso, B., Avila, R., Beresford, N. A., Copplestone, D., Pröhl, G., et al. (2008). The ERICA Tool. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(9), 1371–1383. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.01.008>
- Fuller, N., Smith, J.T., Nagorskaya, L.L., Gudkov, D. I., & Ford, A.T. (2017). Does Chernobyl-Derived Radiation Impact the Developmental Stability of *Asellus aquaticus* 30 years on? *Science of the*

- Total Environment*, 576, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.097>
- Gordon, A. L., Sprintall, J., Aken, H. M. van, Susanto, D., Wijffels, S., Molcard, R., field, A.F., Pranowo, W., & Wirasantosa, S. (2010). The Indonesian throughflow during 2004–2006 as observed by the INSTANT program. *Dynamic of Atmospheres and Oceans*, 50, 115–128.
- Higa, H.A.C., Atsushima, A.K.M., Akashima, S.A. N., Nda, Y.U.O., Sakaguchi, A., Kadokura, A., et al. (2012). Isotopic Determination of U, Pu and Cs in environmental waters following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Geochemical Journal*, 46(4), 355–360. <https://doi.org/10.2343/geochemj.2.0216>
- Jha, S.K., Gothankar, S.S., Sartandel, S., Pote, M. B., Hemalatha, P., Rajan, M.P., et al. (2012). Spatial distribution of fallout ^{137}Cs in the coastal marine environment of India. *Journal of Environmental Radioactivity*, 113, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.04.018>
- Larsson, C.M. (2008). An overview of the ERICA Integrated Approach to the assessment and management of environmental risks from ionising contaminants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(9), 1364–1370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.11.019>
- Lubis, E., Suseno, H., Prihatiningsih, W.R., & Mohamad Yahya, N. (2014). Dose Rate From Natural Radionuclides and ^{137}Cs to the Biota Marine Of Bangka Sea. *Journal of Waste Management Technology*, 16(399).
- Makmur, M. (2013). Analisis Plutonium di Sedimen Perairan Laut Bangka. In Y. R. Ahmad (Ed.), *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir*. pp. 32–37. Jakarta: BAPETEN Press.
- Makmur, M. (2014). Inventori Radionuklida Plutonium dan Americium di Sedimen Pesisir Laut Gresik. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 17(1), 55–61.
- Makmur, M., & Herlambang, M. (2015). Sebaran Aktivitas 239 , ^{240}Pu di Sedimen Perairan Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) Jalur Sekunder. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XII*, (September).
- Muslim., Suseno, H., & Rafsani, F. (2015). Distribution of ^{137}Cs Radionuclide in Industrial Wastes Effluents of Gresik, East Java, Indonesia. *Atom Indonesia*, 41(1), 47–50.
- Patiris, D.L., Tsabaris, C., Anagnostou, C.L., Androulakaki, E.G., Pappa, F.K., Eleftheriou, G., & Al, E. (2016). Activity concentration and spatial distribution of radionuclides in marine sediments close to the estuary of Shatt al-Arab/Arvand Rud River, the Gulf. *Journal of Environmental Radioactivity*, 157, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.025>
- Povinec, P.P., Aarkrog, A., Buesseler, K.O., Delfanti, R., Hirose, K., Hoon, G., et al. (2005). ^{90}Sr , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ concentration surface water time series in the Pacific and Indian Oceans - WOMARS results. *Journal of Environmental Radioactivity*, 81(1), 63–87. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.12.003>
- Qu, T., Song, Y.T., & Yamagata, T. (2009). An introduction to the South China Sea throughflow: Its dynamics, variability, and application for climate. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 47(1–3), 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2008.05.001>
- Sartandel, S.J., Jha, S.K., & Tripathi, R.M. (2015). Latitudinal variation and residence time of ^{137}Cs in Indian coastal environment. *Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 489–494. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.007>
- Suseno, H., Makmur, M., & Yahya, M.N. (2017). Present Status of Marine Radioecology in Jakarta Bay. *Atom Indonesia*, 44(2), 1–5.
- Suseno, H., & Prihatiningsih, W.R. (2014). Monitoring ^{137}Cs and ^{134}Cs at marine coasts in Indonesia between 2011 and 2013. *Marine Pollution Bulletin*, 88(1–2), 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.024>
- Suseno, H., Wahono, I.B., & Muslim. (2015). Radiocesium monitoring in Indonesian waters of the Indian Ocean after the Fukushima nuclear accident. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1–2), 539–543. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.015>
- Suseno, H., Wahono, I.B., Muslim, M., & Yahya, M.N. (2017). Status of ^{137}Cs concentrations in sea water at the inlets of the Indonesian Through Flow (ITF). *Regional Studies in Marine Science*, 10, 81–85. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.12.008>
- Vives i Batlle, J., Beresford, N.A., Beaugelin-Seiller, K., Bezhenar, R., Brown, J., Cheng, J.J., et al. (2016). Inter-comparison of dynamic models for radionuclide transfer to marine biota in a Fukushima accident scenario. *Journal of*

Environmental Radioactivity, 153, 31–50. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.12.006>

- Vives i Battle, J. (2016). Dynamic modelling of radionuclide uptake by marine biota : application to the Fukushima nuclear power plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 151, 502–511.
- Vives i Battle, J., Aono, T., Brown, J. E., Hosseini, A., Garnier-laplace, J., Sazykina, T., et al. (2014). The impact of the Fukushima nuclear accident on marine biota : Retrospective assessment of the first year and perspectives. *Science of the Total Environment*, 487, 143–153.
- Yamada, M., Zheng, J., & Wang, Z. (2006). ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios in the surface waters of the western North Pacific Ocean, eastern Indian Ocean and their adjacent seas. *Science of the Total Environment*, 366, 242–252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.014>
- Ye, S., Zhang, L., & Feng, H. (2017). Marine ecological risk assessment methods for radiation accidents. *Journal of Environmental Radioactivity*, 180, 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.09.024>
- Yu, W., He, J., Lin, W., Li, Y., Men, W., Wang, F., & Ai, E. (2015). Distribution and risk assessment of radionuclides released by Fukushima nuclear accident at the Northwest Pacific. *Journal of Environmental Radioactivity*, 142, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.01.005>

