

AKTIFITAS ^{137}Cs DAN TOTAL ORGANIK KARBON DALAM SEDIMEN DI SEKITAR PULAU TIKUS SAMUDERA HINDIA

Muslim^{*1)}, Wahyu Retno Prihatiningsih²⁾, Reza Agung Arjana¹⁾,

¹Program Studi Oseanografi, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275 Indonesia

² Radioekologi Kelautan Group, Pusat Teknologi Keselamatan Radiasi dan Metrologi BATAN. Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Kotak Pos 7043 JKSKL Jakarta Selatan 12070 Indonesia

ABSTRAK

AKTIFITAS ^{137}Cs DAN TOTAL ORGANIK KARBON DALAM SEDIMEN DI SEKITAR PULAU TIKUS SAMUDERA HINDIA. Pulau Tikus adalah salah satu pulau di Indonesia yang letaknya di Samudera Hindia, sekitar 10 km di sebelah barat Bengkulu yang mempunyai panorama alam yang indah baik di daratannya maupun di dasar lautnya, sehingga menjadi wisata favorit di Bengkulu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi ^{137}Cs di sedimen dan hubungannya dengan karbon total dan tekstur sedimennya. Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada 17 September 2014 di 6 stasiun dimana 3 stasiun masih relatif dekat dengan Pulau Tikus dengan kedalaman perairan ≤ 1 m dan 3 lainnya sudah agak jauh dari Pulau Tikus dengan kedalaman perairan 14 – 18 meter. Tekstur sedimen dan kandungan Total Organik Karbon (TOK)nya terlihat bahwa pada perairan dengan kedalaman ≤ 1 m adalah pasir (*sand*) dengan kandungan TOKnya $< 5,5\%$ sedang pada kedalaman 14 -18 meter adalah lanau pasir (*silt sand*) dengan kandungan TOK $\geq 6\%$. Kondisi tekstur dan kandungan TOK di sedimen ternyata mempengaruhi kandungan ^{137}Cs di sedimen

Kata kunci: ^{137}Cs , tekstur sedimen, TOK, Pulau Tikus.

THE CONCENTRATION OF ^{137}Cs AND ORGANIC CARBON ON SEDIMENT AT RAT ISLAND IN INDIAN OCEAN. Rat Island is one of the islands in Indonesia, located in the Indian Ocean, about 10 kilometers west of Bengkulu, which has a beautiful scenery both on its land and on the seabed, making it a favorite tourist in Bengkulu. The purpose of this study was to determine the condition of ^{137}Cs in sediments and its relation to the total carbon and sediment texture. Sediment sampling carried out on 17 September 2014 at six stations where three stations are still relatively close to The Rat island with water depth of ≤ 1 m and 3 others are far from Rat Island waters with a depth of 14-18 meters. Sediment texture and TOC content at waters depth of ≤ 1 m is sand and its TOC contents were $< 5.5\%$. On other hand at water depth of 14 -18 meters sediment texture are silt sand mixture and the TOC content were $\geq 6\%$. The concentration of ^{137}Cs in sediment were influenced by texture characteristic and TOC content.

Keyword: ^{137}Cs , sediment texture, Rat Island

ABSTRACT

PENDAHULUAN

Pulau Tikus merupakan satu-satunya pulau yang ada di Kota Bengkulu yang didominasi oleh karang laut. Letaknya di Samudera Hindia, tepatnya 10 km sebelah barat kota Bengkulu dengan ukuran hanya sekitar 2 ha. Karang yang mengelilinginya sangat indah dengan berbagai macam sumber daya hayati yang sangat mengagumkan, dan kecepatan arusnya yang relatif kecil yaitu berkisar antara 0,1 - 0,3 m/detik, sehingga menjadikan salah satu destinasi wisata bahari yang cukup populer di Kota Bengkulu (Bakhtiar dkk, 2013). Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan No.383/Kpts-II/1985 tanggal 27 Desember 1985 Pulau ini telah berstatus sebagai Taman Wisata Alam (TWA) (Rahman dan Purnama, 2011).

Kecelakaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Fukushima yang terjadi pada 11 Maret 2011 sebagai akibat dari tsunami dan gempa telah melepaskan beberapa radionuklida buatan (*artificial*) yang meliputi ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{239}Pu dan ^{240}Pu yang terbuang ke

lingkungan melalui laut dan atmosfer (Qiao dkk, 2011). Sekitar 80% radionuklida yang dilepaskan pada periode Maret-April 2011 secara langsung dibuang ke Samudera Pasific (Otosaka dan Kobayashi, 2013; Ono dkk, 2015). Sebelum kejadian Fukushima, laut kita juga sudah menerima radionuklida yang sangat besar, yaitu dari kecelakaan PLTN Chernobyl yang terjadi pada April 1986 dan uji coba senjata nuklir pada akhir tahun 60an yang dilakukan beberapa Negara. Semua radionuklida yang di laut tentunya ada yang tetap terlarut di laut karena pelarutan dan pencampuran, juga ada yang terendapkan (*deposition*) ke dasar laut dengan bantuan proses konveksi dan difusi (Inoue dkk, 2012a, 2012b, 2012c, Iurian dkk, 2014).

Berdasarkan hasil perhitungan model sirkulasi laut regional (*regional ocean circulation model*) menurut Tsumune dkk, (2012) bahwa jumlah total ^{137}Cs yang terbuang oleh PLTN Fukushima ke laut sejak 26 Maret sampai 30 Mei, 2011 sebanyak $3,5 \pm 0,7 \text{ PBq}$ ($1 \text{ PBq} = 10^{15} \text{ Bq}$). Padahal menurut perhitungan Povinec dkk, (2013)

bahwa jumlah ¹³⁷Cs yang masuk ke samudera dari global *fall out* sampai 2010 (sebelum kecelakaan Fukushima) adalah 170 PBq dari 600 PBq pada tahun 60an ((IAEA, 2005). Jumlah tersebut sangat besar, walaupun Wu dkk, (2011) telah mendapatkan bahwa tingkat aktivitas ¹³⁷Cs di beberapa perairan laut China (Laut China Selatan, Laut China Timur dan Laut Kuning) yang dilakukan pengukuran pada April-Juni 2011 menunjukkan variasi yang kecil yaitu $0,75 \pm 0,07$ sampai $1,43 \pm 0,08$ Bq m⁻³ dengan rata-rata $1,12 \pm 0,08$ Bq m⁻³ (n=11). Nilai tersebut masih jauh di bawah nilai batas limit kualitas standard untuk laut baik menurut aturan pemerintah China (700 Bq m⁻³) maupun Jepang (90000 Bq m⁻³) (Buessler dkk, 2012). Rendahnya konsentrasi radionuklida di perairan China setelah kecelakaan Fukushima karena pada saat itu arus Kuroshio mengalir dari timur laut ke barat dan arus Oyashio yang berasal dari barat daya sesampainya di kepulauan Jepang dibelokkan ke barat menuju samudera Pasifik (Bailly du Bois dkk, 2013). Tentunya sifat yang terlarut di air, akan berbeda dengan yang sudah terakumulasi di sedimen yang prosesnya cukup lama yang tidak hanya bersumber dari Fukushima, tapi juga dari Chernobyl dan hasil uji coba senjata nuklir.

Otosaka dan Kobayashi, 2013 dan Ono dkk, 2015 menyatakan bahwa konsentrasi ¹³⁷Cs di daerah pantai yang kaya akan bahan organik kekuatan ikatannya beberapa kali lebih besar dari yang hanya mengandung sedimen, karena ¹³⁷Cs teradsorpsi oleh bahan organik. Akan tetapi tingkat adsorpsi ¹³⁷Cs pada bahan organik sedimen tergantung pada sedimen halus (*fine sediment*) yang terkandung, sehingga adsorpsi yang terjadi bisa secara bloking (Kim dkk, 2006; Ono., dkk, 2015).

Daerah pantai umumnya mempunyai peran yang kuat dalam melakukan siklus karbon global, karena lebih dari 80%, bahan organik global di lautan terpendam di daerah pantai yang berbatasan dengan sungai (Goni dkk, 2006). Pulau Tikus yang tidak dihuni oleh penduduk dan letaknya jauh dari daratan utama, tidak ada sungai yang mengalir, sehingga bahan organik yang terkandung di dekat pantai relatif kecil dibanding dengan yang terkandung di lepas pantai. Demikian juga tekstur sedimennya didominasi pasir (*sand*) pada pantainya, yang ditumbuhi karang (Arief dkk, 2015). Menurut Yang dkk, (2015) bahwa keberadaan karbon organik di sediment dapat dikarenakan adanya pelarutan perairan, arus pantai, aktivitas manusia, proses biologi laut dan adanya butiran yang halus (*grain size*). Sehingga konsentrasi dan distribusi TOK, total N (TN) dan spesiasi P mempunyai hubungan dengan keberadaan *grain size* sedimen (Kao dkk, 2003; Zhu dkk, 2011; Meng dkk, 2014). Berdasarkan sifat-sifat tersebut, maka perlu diketahui pengaruh TOK dan tekstur sedimen terhadap adsorpsi ¹³⁷Cs pada sedimen di sekitar pulau Tikus.

MATERI DAN METODA

Pengambilan sampel

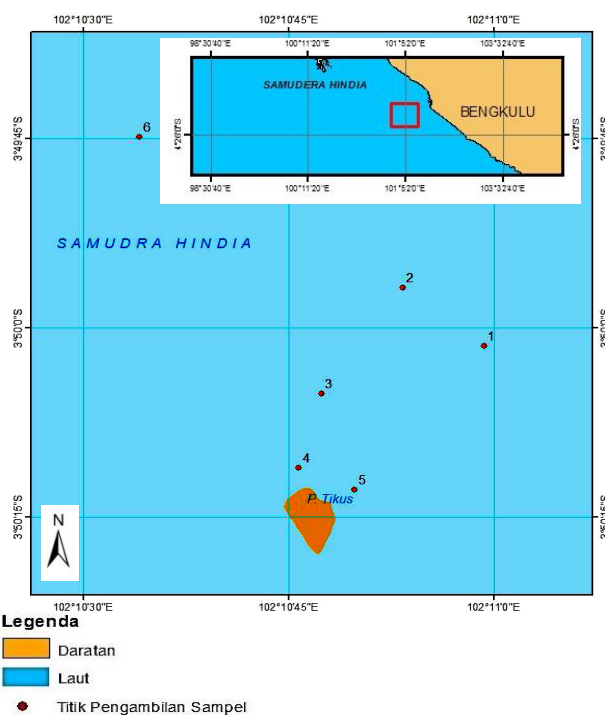
Penentuan titik sampling sedimen dilakukan dengan mempertimbangkan pada jauh dekatnya dengan pantai dan kedalaman perairan yang mempengaruhi tekstur sedimen dan kandungan total organik karbon (TOK).

Posisi sampling, koordinat dan kedalaman masing-masing stasiun dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.

Tabel 1. Posisi dan kedalaman Stasiun

Stasiun	Koordinat Stasiun		Kedalaman (meter)
	BT	LS	
1	102°10'59,22"	3°50'5,02"	14
2	102°10'53,3"	3°50'0,4"	16,5
3	102°10'47,36"	3°50'8,82"	1,06
4	102°10'45,73"	3°50'14,67"	0,75
5	102°10'49,78"	3°50'16,42"	0,70
6	102°10'29,65"	3°50'48,5"	18

Pengambilan sampel sedimen dilaksanakan pada stasiun yang telah ditentukan lokasinya dan koordinatnya dengan bantuan GPS. Di setiap stasiun sedimen diambil sebanyak 1-2 kg dan disimpan dalam plastik. Setelah sampai di darat sampel sedimen dikeringkan secara alami kemudian sampel dikemas kembali untuk dibawa ke laboratorium untuk analisis aktivitas ¹³⁷Cs.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Preparasi Sampel

Metode yang digunakan dalam menentukan konsentrasi ¹³⁷Cs di sedimen merujuk pada metode yang digunakan oleh IAEA – MEL (*International Atomic Energy Agency's Marine Environmental Laboratories*). Sampel yang sudah agak kering, dikeringkan lagi dimasukkan ke dalam oven pada suhu 80° hingga benar-benar kering. Sedimen yang sudah kering dihaluskan dengan *Grinder* hingga ukuran butirnya seragam yaitu 0,5 µm, kemudian sampel dimasukkan dalam marinelli dan siap dianalisis.

Analisis Gamma Spektrometri

Analisis aktivitas ¹³⁷Cs di sedimen diukur dengan gamma spektrometri dan detektor gamma coaxial HPGe

yang terhubung dengan *high voltage power supply* (HVPS Model 3106D), spektroskopi amplifier (model 2022) dan perangkat lunak Genie-2000 sebagai penganalisis spektrum gamma. Sebelum digunakan untuk analisis, sistem dikalibrasi menggunakan *Certified Reference Material Standard* (IAEA-381, IAEA-368, RGU-1). Kalibrasi yang dilakukan terdiri dari dua tahapan, yaitu kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. *Certified Reference Material Standard* yang telah dimasukkan dalam wadah geometri standar dicounting selama satu malam hingga diperoleh spektrum dengan *peak resolution* yang sempurna, selanjutnya dilakukan kalibrasi energi (energi vs channel) untuk keperluan analisis kualitatif dan kalibrasi efisiensi (efisiensi vs energi) untuk keperluan analisis kuantitatif. Setelah sistem gamma spektrometri terkalibrasi, sampel yang belum diketahui aktivitas radionuklidanya dianalisis.

Analisis Butir Sedimen

Tabel 3. Prosentase Jenis Sedimen, Nama Sedimen dan Aktivitas ¹³⁷Cs

Stasiun	Prosentase Jenis Sedimen (%)			Nama Sedimen	Aktivitas ¹³⁷ Cs (Bq/Kg)	Kedalaman (meter)
	Pasir	Lanau	Lempung			
1	74,76	20,24	4,99	<i>Silty sand</i>	0,1457	14
2	62,15	18,86	18,96	<i>Silty sand</i>	0,2857	16,5
3	69,99	0,11	0,006	<i>Sand</i>	0,5466	1,06
4	85,95	0,31	1,19	<i>Sand</i>	0,4224	0,75
5	90,43	5,12	0,38	<i>Sand</i>	0,4993	0,70
6	54,56	42,46	2,96	<i>Silty sand</i>	0,3729	18

Analisis butir sedimen berguna untuk mengetahui ukuran butir sedimen yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui jenis sedimen (tekstur sedimen). Analisis dilakukan di laboratorium Geologi FPIK Universitas Diponegoro menggunakan metode Eleftheriou dan McIntyre (2005). Sampel sedimen yang telah diambil dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100 °C hingga benar-benar kering. Sedimen yang telah kering kemudian diayak dengan *sieve shaker* untuk memisahkan sedimen sesuai ukuran butir yaitu 2,000 mm, 1,000 mm, 0,500 mm, 0,125 mm dan 0,064 mm. sedimen yang telah tersaring pada setiap lapisan *sieve shaker* kemudian ditimbang. Sampel sedimen yang berada paling dasar kemudian dipindahkan ke dalam gelas ukur volume satu liter yang telah diisi aquades sebanyak satu liter kemudian diaduk hingga homogen, selanjutnya dilakukan pemipetan dengan memperhatikan jarak dan waktu pemipetan sedimen. Tabel 2 untuk menentukan ukuran butir sedimen sangat halus yang tidak dapat dilakukan dengan *sieve shaker*.

Tabel 2. Jarak dan Waktu Pemipetan Sedimen (Eleftheriou dan McIntyre, 2005)

Diameter (mm)	Jarak Tenggelam (cm)	Waktu		
		Jam	Menit	Detik
0,0625	20			58
0,0312	10		1	56
0,0156	10		7	44
0,0078	10		31	0
0,0039	10	2	3	0

Analisis Total Karbon , Total Organik Karbon dan Total Inorganik Karbon

Analisis total karbon (TK) dan total organik karbon (TOK) mengikuti metode dari Institute of Marine Geochemistry, Ocean University of China (Meng dkk, 2014). Sampel sedimen dimasukkan dalam 2 cawan porselin dengan berat sedimen di masing-masing cawan 10 gram. Sampel dalam cawan pertama digunakan untuk analisis TOK, dimasukkan ke dalam *muffle furnace* pada temperatur 550 °C selama 6 jam. Setelah sedimennya tidak terlalu panas, disimpan di dalam desikator sampai temperaturnya sama dengan suhu ruangan dan selanjutnya ditimbang kembali untuk mengetahui *loss on ignition total organic carbon* (% TOK). Sampel dalam cawan kedua digunakan untuk analisis *total carbon*, sampel direndam dalam HCl 6 M untuk menghilangkan total inorganik karbon (TIK) kemudian bilas dengan aquades untuk menghilangkan kandungan garamnya. Kemudian

sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C hingga benar-benar kering setelah itu sampel dimasukan dalam *muffle furnace* dengan suhu 550°C selama 6 jam. Selanjutnya sedimen diperlakukan sama seperti pada cawan pertama sehingga Total Organik Karbon (TOK) hilang. Sampel kemudian ditimbang untuk mengetahui *loss on ignition total carbon* (% TK).

$$\%TOK \text{ (cawan pertama)} = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

$$\%TK \text{ (cawan kedua)} = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

$$\%TIK = \%TK - \%TOK \dots\dots\dots(3)$$

W_o : berat sedimen sebelum dipanaskan 550 °C
 W_t : berat sedimen setelah dipanaskan 550 °C

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis butiran sedimen terlihat bahwa stasiun 1, 2 dan 6 yang mempunyai kedalaman perairan 14-18 m didominasi oleh pasir berlempung (*silt sand*), sedang stasiun 3, 4 dan 5 yang kedalaman perairannya 0,7 – 1,06 m didominasi oleh pasir (*sand*). Konsentrasi detailnya tersaji dalam Tabel 3.

Terjadinya dominasi pasir di stasiun 3, 4 dan 5 dikarenakan lokasi tersebut merupakan daerah karang, sehingga sedimen yang terbentuk didominasi oleh hasil pecahan-pecahan karang. Kekuatan arusnya daerah ini sangat lemah, karena daerah tersebut menjadi daerah yang

terlindung dari pengaruh luar, sehingga kiriman partikel halus dari luar sangat kecil.

Berbeda dengan stasiun 1, 2 dan 6, dimana daerah ini merupakan perairan agak dalam dan merupakan perairan lepas pantai di Samudera Hindia. Kondisi tersebut mempengaruhi tekstur sedimennya, dimana jenis sedimen dasarnya berukuran kecil.

Kondisi tersebut ternyata mempengaruhi kandungan bahan organik karbonnya, dimana stasiun 3, 4 dan 5 yang jenis sedimennya pasir kandungan TOKnya rendah (4,1 – 5,4%). Sedangkan pada stasiun 1, 2 dan 6 yang jenis sedimennya pasir berlumpur konsentrasi TOKnya lebih besar yaitu 6-9% (Tabel 4). Hu dkk, (2011, 2012) mengatakan bahwa transport hidrodinamik dan mekanisme pengendapan partikel halus (*fine-grained*) didominasi oleh distribusi spasial dan nasib bahan organik yang terkandung. Jadi tingginya KOT di stasiun 1, 2 dan 6, karena lokasi tersebut merupakan perairan umum yang sudah tidak ditumbuhi karang dan dilewati oleh kapal-kapal umum sehingga banyak menerima limbah baik dari daratan atau dari kegiatan pelayaran.

Tabel 4. Prosentase kandungan TK, TOK dan TIK sedimen

Stasiun	Total Karbon (%)	Total Organik Karbon (%)	Total Inorganik Karbon (%)
1	10,60	6	4,60
2	14,16	9	5,16
3	7,26	5,4	1,86
4	10,69	4,3	6,39
5	5,77	4,1	1,67
6	19,60	8,3	11,30

Nasib ¹³⁷Cs di tanah menurut Schuller dkk, 1988; Skarlou dkk, 1996, 1999; Gerzabek dkk, 1998; Massas dkk, 2002; Kruse-Irmer dan Gianni, 2003; Rahman dan Voigt, 2004; Melnitchouck dan Hodson, 2004) ternyata ada hubungannya dengan pH tanah, kandungan *clay*, status potassium (K) tanah dan mineral *clay*. Pernyataan tersebut juga sama dengan hasil penelitian ini dimana banyaknya KOT yang biasanya mempengaruhi pH tanah dan tingginya kandungan mineral *clay* juga mempengaruhi konsentrasi ¹³⁷Cs di sedimen (Tabel 3). Pada saat sedimen dasar mempunyai ukuran partikelnya tinggi, maka KOTnya rendah, hal ini karena partikel-partikel sedimen halus yang mempunyai muatan negatif akan mengikat partikel yang bermuatan positif seperti karbon dan Cs. Karena karbon ikatannya lebih kuat dari pada Cs dalam mengikat partikel *clay*, maka pada saat KOTnya di sedimen tinggi, ¹³⁷Cs tidak akan terikat lagi dengan sedimen, sehingga ¹³⁷Csnya rendah. Tabel 3 dan 4 terlihat di stasiun 1,2 dan 6 yang sedimennya mempunyai kandungan KOT tinggi, maka ¹³⁷Cs nya lebih rendah bila dibanding dengan pada stasiun 3,4 dan 5 yang KOTnya lebih rendah dan ¹³⁷Cs lebih tinggi.

KESIMPULAN

Konsentrasi ¹³⁷Cs sedimen yang terdeteksi di sekitar Perairan P.Tikus Bengkulu adalah 0,15 – 0,55 Bq/Kg. Adsorpsi ¹³⁷Cs pada sedimen sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel atau jenis partikel dan kandungan karbon organik di sedimen. Perairan dangkal yang lokasinya

berdekatan dengan P.Tikus sedimennya didominasi oleh pasir (*sand*) dengan kandungan TOKnya kecil. ¹³⁷Cs di perairan yang dangkal dengan KOT rendah ini kekuatan adsorpsinya lebih kuat, sehingga kandungan ¹³⁷Cs lebih tinggi dibandingkan dengan perairan dengan jenis sedimen pasir berlempung (*Silty sand*) dengan KOT tinggi, yang terjadi di perairan lepas pantai yang kedalaman perairannya lebih dalam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada staf laboratorium Radioekologi Kelautan BATAN yang telah memfasilitasi penulis melakukan analisis ¹³⁷Cs. Terima kasih disampaikan pula pada Universitas Bengkulu yang telah membantu peralatan sampling. Kepada Sdr Arif Rachman Hakim, Aklandito HS dan Ardiyan Triapriyansen diucapkan terima kasih atas bantuannya dalam melakukan *sampling* di laut dan pembuatan peta.

DAFTAR PUSTAKA

- Hakim, A. R., Muslim., And Makmur, M. 2015. Hubungan Ukuran Butir Sedimen Dengan Kandungan Total Organik Carbon Pada Sedimen Perairan Pulau Tikus, Bengkulu. Jurnal Oseanografi. 4 (3): 585 – 589.
- Bailly du Bois, P., Laguionie, P., Boust, D., Korsakissok, I., and Didier, D. 2012. Estimation of Marine Source Term Following Fukushima Dai-Ichi Accident. J Environ Radioact. 114 : 2–9.
- Bakhtiar, D., Silistyo, B., and Jarulis. 2013. Kajian Karakteristik Ekosistem Perairan Pulau Tikus Kota Bengkulu dalam Upaya Optimalisasi Pemanfaatan Sumberdaya Pesisir secara Berkelanjutan dan Berbasis Masyarakat. Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu 56. Bengkulu.
- Buesseler, K. O., Jayne, S. R., Fisher, N. S., Rypine, I. I., Baumann, H., Baumann, Z., Breler, C. F., Douglass, E. M., George, J., Macdonals, A. M., Miyamoto, H., Nishikawa, J., Pike, S. M. and Yoshida, S. 2012. Fukushima-Derived Radionuclides in the Ocean and Biota Off Japan. Proc Natl Acad Sci USA. 109: 5984–5988.
- Eleftheiriou, A. and A. McIntyre. 2005. Methods for the Study of Marine Benthos, 3rd editions. Blackwell Scientific Publications. Oxford, 442 p.
- Gerzabek, M., Strebl, F., and Temmel, B. 1998. Plant Uptake of Radionuclides in Lysimeter Experiments. Environ Pollut. 99: 93–103.
- Goni, M. A., Monacci, N., Gisewhite, R., Crockett, J., Nittrouer, C., Ogston, A., Alin, S. R., and Aalto, R. 2006. Distribution and Sources of Particulate Organic Matter in the Water Column and Sediments of the Fly River Delta, Gulf of Papua (Papua New Guinea). Estuar Coast Shelf Sci. 69: 225–245.
- Hu, L. M., Lin, T., Shi, X. F., Yang, Z. S., Wang, H. J., Zhang, G., and Guo, Z. G. 2011. The Role of Shelf Mud Depositional Process and Large River Inputs on the Fate of Organochlorine Pesticides in Sediments of the Yellow and East China Seas. Geophys Res Lett. 38: L03 602.
- Hu, L. M., Shi, X. F., Yu, Z. G., Lin, T., Wang, H. J., Ma, D. Y., Guo, Z. G., and Yang, Z. S. 2012.

- Distribution of Sedimentary Organic Matter in Estuarine-Inner Shelf Regions of the East China Sea: Implications for Hydrodynamic Forces and Anthropogenic Impact. *Mar. Chem.* 142–144: 29–40.
10. IAEA International Atomic Energy Agency. 2005. *Worldwide Marine Radioactivity Studies (WOMARS). Radionuclide Levels in Oceans and Sea.* Vienna, Austria: IAEA-TECDOC 1429 IAEA.
 11. Inoue, M., Kofuji, H., Nagao, S., Yamamoto, M., Hamajima, Y., Yoshida, K., Fujimoto, K., Takada, T., and Isoda, Y. 2012. Lateral Variation of ^{134}Cs and ^{137}Cs Concentrations in Surface Seawater in and Around the Japan Sea After the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident. *J. Environ. Radioact.* 109: 45–51.
 12. Inoue, M., Kofuji, H., Nagao, S., Yamamoto, M., Hamajima, Y., Fujimoto, K., Yoshida, K., Suzuki, A., Takashiro, H., Hayakawa, K., Hamataka, K., Yoshida, S., Kunugi, M., and Minakawa, M., 2012. Low Levels of ^{134}Cs and ^{137}Cs in Surface Seawaters Around the Japanese Archipelago After the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident in 2011. *Geochem. J.* 46: 311–320.
 13. Inoue, M., Kofuji, H., Hamajima, Y., Nagao, S., Yoshida, K., and Yamamoto, M., 2012. ^{134}Cs and ^{137}Cs Activities in Coastal Seawater Along Northern Sanriku and Tsugaru Strait, Northeastern Japan, After Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *J. Environ. Radioact.* 111: 116–119.
 14. Iurian, A. R., Mabit, L., and Cosma, C. 2014. Uncertainty Related to Input Parameters of ^{137}Cs Soil Redistribution Model for Undisturbed Fields. *J. Environ. Radioact.* 136: 112–120
 15. Kao, S. J., Lin, F. J., and Liu, K. K., 2003. Organic Carbon and Nitrogen Contents and their Isotopic Compositions in Surficial Sediments from the East China Sea shelf and the Southern Okinawa Trough. *Deep-Sea Res. II* 50: 1203–1217.
 16. Kim, Y., Cho, S., Kang, H. D., Kim, W., Lee, H. R., Doh, S. H., Kim, K., Yun, S. G., Kim, D. S., and Jeong, G. Y. 2006. Radiocesium Reaction with Illite and Organic Matter in Marine Sediment. *Mar. Pollut. Bull.* 52: 659–665.
 17. Kruse-Irmer, S., and Gianni, L. 2003. Vertical Distribution and Bioavailability of ^{137}Cs in Organic and Mineral Soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 166: 635–641.
 18. Massas, I., Skarlou, V., and Haidouti, C. 2002. Plant Uptake of ^{134}Cs in Relation to Soil Properties and Time. *J. Environ. Radioact.* 59: 245–255.
 19. Melnitchouck, A., and Hodson, M. 2004. Genotype x Environment Interaction in the Uptake of Cs and Sr from Soils by Plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 167: 72–78.
 20. Meng, J., Yao, P., Yu, Z. G., Bianchi, T. S., Zhao, B., Pan, H. H., and Li, D. 2014. Speciation, Bioavailability and Preservation of Phosphorus in Surface Sediments of the Changjiang Estuary and Adjacent East China Sea inner shelf. *Estuar Coast Shelf Sci.* 144: 27–38.
 21. Ono, T., Ambe D., Kaeriyama, H., Shigenobu, Y., Fujimoto, K., Sogame, K., Nishiura, N., Fujikawa, T., Morita, T., and Watanabe, T. 2015. Concentration of $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ Bonded to the Organic Fraction of Sediments Off Shore Fukushima, Japan. *Geochem J.* 49: 219–227,.
 22. Otosaka, S., and Kobayashi, T. 2013. Sedimentation and Remobilization of Radiocesium in the Coastal Area of Ibaraki, 70 km South of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *Environ. Monit. Assess.* 185: 5419–5433.
 23. Povinec, P., Hirose, K., and Aoyama, M. 2013. Fukushima Accident: Radioactivity Impact on the Environment. Elsevier. 371p.
 24. Qiao, F. L., Wang, G. S., Zhao, W., Zhao, J. C., Dai, D. J., Song, Y. J., and Song, Z. Y. 2011. Predicting the Spread of Nuclear Radiation from the Damaged Fukushima Nuclear Power Plant. *Chin Sci Bull*, 56 : 1890–1896.
 25. Rahman, A., and Purnama, D. 2011. *Studi Komunitas Ekosistem Terumbu Karang Di Pulau Tikus Bengkulu. Laporan Penelitian Pembinaan. Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan. Universitas Bengkulu.*
 26. Rahman, M. M., and Voigt, G. 2004. Radiocaesium Soil-to-Plant Transfer in Tropical Environments. *J. Environ. Radioact.* 71: 127–138.
 27. Schuller, P., Handl, J., and Trumper, R. E. 1988. Dependence of the ^{137}Cs Soil to Plant Transfer Factor on Soil Parameters. *Health Phys.* 55: 575–577.
 28. Skarlou, V., Papanicolaou, E. P., and Nobeli, A. 1996. Soil to Plant Transfer of Radioactive Cesium and its Relation to Soil and Plant Properties. *Geoderma.* 72: 53–63.
 29. Skarlou, V., Nobeli, C., Anoussis, J., Haidouti, C., and Papanicolaou, E. 1999. Transfer Factors of ^{134}Cs for Olive and Orange Trees Grown on Different Soils. *J. Environ. Radioact.* 45: 139–147.
 30. Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M., and Hirose, K. 2012. Distribution of Oceanic ^{137}Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Simulated Numerically by a Regional Ocean Model. *J Environ Radioact.* 111: 100–108
 31. Wu, J. W., Zhou, K. B., and Dai, M. H. 2013. Impacts of the Fukushima Nuclear Accident on the China Seas: Evaluation Based on Anthropogenic Radionuclide ^{137}Cs . *Chinese Sci Bull.* 58 (4-5): 552–558
 32. Yang, B., Cao, L., Liu, S. M., and Zhang, G. S. 2015. Biogeochemistry of Bulk Organic Matter and Biogenic Elements. *Mar Pollut Bull.* 96: 471–484.
 33. Zhu, C., Wang, Z. H., Xue, B., Yu, P. S., Pan, J. M., Wagner, T., and Pancost, R. D. 2011. Characterizing the Depositional Settings for Sedimentary Organic Matter Distributions in the Lower Yangtze River-East China Sea Shelf System. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 93:182–191.