

Aktivitas Cesium (^{137}Cs) Di Perairan Hutan Mangrove Karangsong, Kabupaten Indramayu

Muslim^{1*}, Wahyu Retno Prihatiningsih², Adhi Prasojo¹, Jarot Marwoto¹ dan Purwanto¹

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedharto, SH, Tembalang Semarang, Indonesia 50275

²Kelompok Radioekologi Kelautan, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi,
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Kotak Pos 7043 JKSL Jakarta Selatan 12070
Email: aqua_muslim@yahoo.com

Abstract

Cesium Activity (^{137}Cs) In The Waters Of The Karangsong Mangrove Forest, Indramayu Regency

The mangrove forest in Karangsong-Indramayu has been selected as a central mangrove forest for western Indonesia, in addition to a marine ecotourism destination. This condition with more visitors stimulates increase in organic carbon content in this water, which has the ability to bind to polluting elements, such as heavy metals and radionuclides. The purpose of this study is to understand the factors that effect ^{137}Cs levels activities in Karangsong waters of Indramayu. To understand which factors effect ^{137}Cs levels, we collected water quality which has the ability to bind to polluting elements data including temperature, salinity, DO, pH, depth and current speed. The result showed that the ^{137}Cs activities ranged 0.07-1.01 mBq/L with an average of 0.589 mBq/L. This value is higher than ^{137}Cs activities in ITF (Indonesian Through Flow) which had value 0.274 mBq/L. The higher ^{137}Cs activities in Karangsong waters were caused by the presence of mangrove forest that effect the high levels of organic carbon rather than water quality that show relative homogeneity in all stations.

Keywords: Mangrove; ^{137}Cs ; Organic carbon; Karangsong-Indramayu; ITF

Abstrak

Perairan pantai Karangsong, Kabupaten Indramayu telah dijadikan sebagai pusat mangrove di bagian barat Indonesia, disamping sebagai eko wisata bahari. Kondisi tersebut tentunya akan meningkatkan kandungan karbon organik di perairan tersebut yang mempunyai kemampuan kuat untuk mengikat unsur-unsur pencemar seperti logam berat dan radionuklida. Tujuan penelitian ini ingin mengetahui tingkat aktivitas ^{137}Cs di perairan Karangsong, Indramayu. Untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat aktivitas ^{137}Cs di perairan Karangsong, maka dianalisa beberapa parameter kualitas air seperti suhu, salinitas, DO, pH, kedalaman dan kecepatan arus. Hasil analisa menunjukkan aktivitas ^{137}Cs adalah 0,07-1,01 mBq/L, dengan nilai rata-rata 0,589 mBq/L. Nilai tersebut lebih tinggi dari nilai ^{137}Cs di ARLINDO (Arus Lintas Indonesia) yang nilai rata-ratanya 0,274 mBq/L. Tingginya aktivitas ^{137}Cs tersebut lebih dipengaruhi dari adanya hutan mangrove yang menyebabkan tingginya bahan karbon organik dari pada pengaruh kualitas perairan yang relatif seragam.

Kata Kunci : Mangrove; ^{137}Cs ; karbon organik; Karangsong-Indramayu; ARLINDO

PENDAHULUAN

Kabupaten Indramayu mempunyai letak yang strategis karena dilalui oleh jalur regional yang menghubungkan antara

Ibukota Provinsi Jawa Barat, yaitu Bandung dan Ibukota Negara Indonesia, Jakarta. Wilayah pantainya membentang sepanjang pantai Laut Jawa dengan panjang pantai kurang lebih 114 Km yang ditumbuhi hutan

mangrove seluas 12.000 hektar yang terdiri 8.000 hektar sebagai hutan lindung dan sisanya seluas 4.000 hektar sebagai kawasan ekowisata. Wilayah ini telah dijadikan sebagai pusat mangrove Indonesia di bagian barat Indonesia, adapun di bagian timur berpusat di Bali. Hutan mangrove telah diakui sebagai penghasil karbon organik yang sangat penting, dimana produksinya mencapai 3 sampai 5 kali lebih besar dari pada hutan di darat (Dixon *et al.*, 1994; Donato *et al.*, 2011), sehingga penghutan kembali di suatu estuarin dapat mempengaruhi fungsi biogeokimia perairan (McKee & Faulkner, 2000) disamping mampu meningkatkan nilai ekonomi, (Tri *et al.*, 1998).

Karakteristik arus laut di perairan pesisir Indramayu dipengaruhi oleh pola umum arus laut di perairan Utara Jawa, dimana pada musim barat pada bulan Desember-Februari pengaruhnya sangat signifikan dengan arah dari barat ke timur. Pada musim timur pada bulan Mei-September, arus permukaan ke arah barat (BAPPEDA, 2006), sehingga hutan mangrove menjadi penyumbang karbon organik yang penting di daerah estuarin (Stieglitz *et al.*, 2013). Luasnya hamparan mangrove menyebabkan perairan tersebut menjadi penyimpan karbon organik yang sangat penting (Breithaupt *et al.*, 2012; Dung *et al.*, 2016), disamping tambahan limbah dari banyaknya turis yang berkunjung di wisata mangrove tersebut yang akhirnya berpengaruh pada kualitas perairannya. Bahkan menurut Donato *et al.*, (2011) menyatakan bahwa pertumbuhan biomass mangrove di negara-negara Asia Tenggara dua sampai lima kali lebih besar dibanding dengan negara-negara di Amerika latin.

Hutan mangrove sebagai penghasil karbon organik mampu memperbaiki dan mendapatkan kembali keanekaragaman hayati (*biodiversity*) yang telah mengalami kerusakan atau penurunan akibat pengaruh degradasi (Macintosh *et al.*, 2002, Arnaud-Haond *et al.*, 2009) yang banyak terjadi secara global pada tahun 1980–2000 (Valiela *et al.*, 2001; Krauss *et al.*, 2014; Meng *et al.*, 2016), sebagai akibat dari reklamasi, pembuatan lahan pertanian dan pengembangan tambak budidaya udang yang banyak terjadi di negara-negara Asia

Tenggara (Gopal, 2013 dan Meng *et al.*, 2016) dan Tiongkok (Xia *et al.*, 2015).

Radionuklida *anthropogenic* masuk ke lingkungan perairan laut banyak disumbang dari adanya percobaan senjata nuklir pada tahun 1950an dan kecelakaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Chernobyl pada 26 April 1986 (Livingston and Povinec, 2000, 2002) dan Fukushima Daichi Jepang pada 11 Maret 2011 (Miyazawa *et al.*, 2013; Rypina *et al.*, 2013), sehingga disebut sebagai global fallout. ^{137}Cs dan ^{90}Sr merupakan bagian dari radionuklida tersebut disamping bersifat *toxic* sering dipakai sebagai tingkat persebarannya, karena bersifat konservatif yaitu mudah tersebar di perairan laut dan pada kondisi tertentu bisa terdeposisi ke dasar perairan dan organism laut (Maderich *et al.*, 2014). Sedimen di hutan mangrove sangat potensial mengikat pencemar buatan (*anthropogenic pollution*), karena tinggi kandungan total karbon organiknya (Bouillon *et al.*, 2008; Ding *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2016 dan Marchand *et al.*, 2016). Bahkan Muslim *et al.*, (2015; 2017a) telah mendapatkan bahwa tingkat aktivitas ^{137}Cs di perairan disamping dipengaruhi oleh kekuatan arus juga dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, dan tingkat pencemaran. Menurut Muslim *et al.*, (2017b) juga telah menyimpulkan adanya pengaruh relatif kualitas perairan terhadap sebaran ^{137}Cs di perairan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana tingkat aktivitas ^{137}Cs sebagai radionuklida *anthropogenic* di perairan Karangsong Indramayu yang pantainya ditumbuhi mangrove sangat luas.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian yang digunakan adalah sampel air laut yang diambil di perairan Karangsong, kabupaten Indramayu yang dianalisa aktivitas ^{137}Cs dan kualitas airnya yang meliputi suhu, salinitas, DO, pH, kedalaman perairan dan kecepatan arus.

Posisi stasiun pengambilan sampel air ditetapkan dengan menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu metode penentuan titik sampel yang didasarkan pada pertimbangan yang merepresentasikan keadaan keseluruhan (Sudjana, 2005). Pertimbangan yang digunakan untuk

masing-masing stasiun dari 7 stasiun yaitu didasarkan berada di muara sungai (Stasiun 1), di area *breakwater* (Stasiun 3), dekat dengan pantai (Stasiun 2 dan 4) dan menuju laut lepas (Stasiun 5, 6 dan 7). Jadi secara garis besar penentuan lokasi stasiun tersebut didasarkan pada area yang masih banyak pengaruh dari darat (stasiun 1, 2, 3 dan 4) dan yang sudah kurang mendapat pengaruh dari darat (stasiun 5, 6 dan 7). (Tabel 1; Gambar 1).

Metode Pengambilan Sampel Air

Pada tanggal 5 Oktober 2015 pengambilan sampel air laut dilakukan. Sampel air laut sebanyak 90 L diambil dengan jerigen berukuran 30L pada tiap-tiap stasiun yang telah ditentukan sebelum sampling. 10 gram $K_4[Fe(CN)_6]$ dan 10 gram $CuSO_4$ dimasukkan dalam masing-masing sampel air dan langsung diaduk agar ^{137}Cs

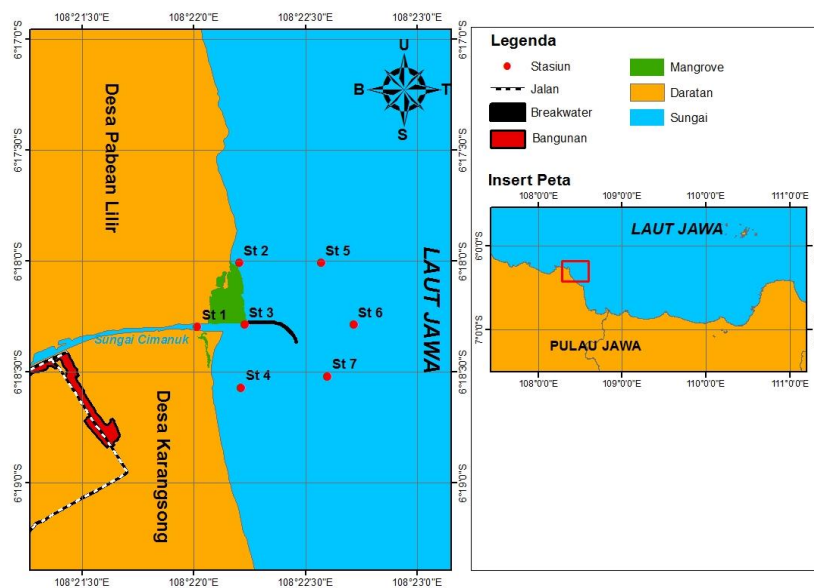
yang terkandung di sampel air terikat dan diendapkan secara grafitasi (IAEA – MEL, 2005).

Preparasi Sampel Air di Laboratorium

Endapan yang terbentuk dipisahkan dengan cara menyedot dengan selang plastik dan ditampung ke dalam ember 5L, kemudian endapan tersebut didiamkan. Selanjutnya dilakukan proses penyaringan endapan dengan kertas saring laboratorium (lembaran). Endapan yang terbentuk dikeringkan ke dalam oven pada suhu 70-80°C selama ± 3 hari sampai kering dan selanjutnya endapan kering dimasukkan ke dalam *marinelli beaker* untuk dilakukan pengukuran (*counting*) ^{137}Cs dengan menggunakan Gamma Spectrometer yang telah terhubung dengan komputer selama 3 hari (IAEA – MEL, 2005).

Tabel 1. Koordinat Lokasi Stasiun Penelitian

Stasiun	Koordinat Stasiun		Jarak dari Pantai (m)
	Lintang Selatan	BujurTimur	
1	06°18' 17,8"	108° 22' 1,03"	30
2	06° 18' 0,5"	108° 22' 12,3"	200
3	06° 18' 17,2"	108° 22' 13,8"	420,7
4	06° 18'34,2"	108° 22' 12,9"	434,9
5	06° 18'0,5"	108° 22' 34,3"	888,5
6	06° 18' 17,2"	108° 22' 43,1"	1318,5
7	06° 18' 31,1"	108° 22' 36,1"	1064,1



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Parameter suhu, pH, DO dan salinitas diukur langsung di lapangan (*in situ*) dengan menggunakan water quality checker (WQC - merk Az Instrument, type AZ 8503). Pengukuran kecepatan arus dengan melakukan pemodelan (Surface Water Modelling System) yang divalidasi dengan pengukuran langsung di lapangan dengan metode Lagrange.

HASIL PENELITIAN

Hasil pengukuran kualitas perairan Karangsong Indramayu menunjukkan nilai suhu rata-rata yaitu 30,2 °C. Suhu tertinggi berada di stasiun 5 yaitu 30,8 °C dan terendah berada di stasiun 1 yaitu 29,4°C. Rata-rata nilai salinitas yaitu 29,45 ‰ dan salinitas tertinggi di stasiun 5 yaitu 31‰. Ke dua parameter tersebut nilainya hampir sama pada setiap stasiun (kecuali stasiun 1) walaupun waktu pengambilannya berbeda, hal ini karena banyak dipengaruhi oleh kondisi atmosfer pada saat itu (cerah), tapi pada stasiun satu nilainya sangat berbeda, karena banyak dipengaruhi langsung dari daratan. Kandungan oksigen terlarut (DO) memiliki nilai rata-rata yaitu 4,3 mg/L dengan DO tertinggi berada di stasiun 6 yaitu 5,6 mg/L dan terendah di stasiun 1 yaitu 3,2 mg/L. Derajat keasaman (pH) di perairan Karangsong menunjukkan bahwa perairan cenderung basa dengan nilai rata-rata yaitu 7,77. Nilai pH tertinggi berada di stasiun 5 yaitu 7,87 dan terendah berada di stasiun 1 yaitu 7,68. Aktivitas radionuklida ¹³⁷Cs dari stasiun 1 sampai 7 terdeteksi berkisar antara 0,07-1,01 mBq/L. Aktivitas ¹³⁷Cs tertinggi terdapat pada stasiun 5 yaitu 1,01 mBq/L dan aktivitas terendah terjadi pada stasiun 4 yaitu 0,07 mBq/L. Nilai masing-

masing parameter tersebut pada tiap stasionnya tersaji dalam Tabel 2.

Kecepatan arus yang terjadi dari stasiun 1 sampai 7 menunjukkan nilai yang relatif kecil dan relatif sama (0,0017 - 0,0310 m/s), demikian juga nilai pH-nya (7,68-7,87) dan temperatur (29,4 - 30,8 °C) yang relatif sama juga pada setiap stasiun. Hal ini sama seperti pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa parameter kualitas air mempunyai pengaruh relatif antar parameter, khususnya pada stasiun-stasiun yang masih dipengaruhi oleh kondisi daratan yang kaya akan kandunagn bahan organik dan sebagai sumber air tawar (Muslim *et al.*, 2017b).

Aktivitas ¹³⁷Cs di seluruh daerah penelitian menunjukkan nilai 0,07-1,01 mBq/L (Tabel 2), dengan nilai rata-rata 0,589 mBq/L. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan nilai aktivitas ¹³⁷Cs di perairan yang dilewati ARLINDO (Arus Lintas Indonesia) pada waktu penelitian sebelumnya, dengan nilai rata-rata 0,274 mBq/L (Suseno *et al.*, 2017). Hal ini dimungkinkan karena di perairan Karangsong-Indramayu yang pantainya ditumbuhi hutan mangrove kaya akan bahan organik, sehingga mampu mengikat dengan kuat unsur pencemar (*anthropogenic*) seperti logam berat (Bouillon *et al.*, 2008; Ding *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2016; Marchand *et al.*, 2016) dan aktivitas ¹³⁷Cs dari global fallout (Wells & Hancock, 2014). Walaupun demikian nilai aktivitas ¹³⁷Cs tersebut jauh lebih rendah dari nilai di sekitar Fukushima pada tanggal 20 April 2011 dengan nilai lebih dari 10.000 mBq/L (Buesseler *et al.*, 2011), bahkan lebih rendah dari aktivitas ¹³⁷Cs di perairan timur laut

Tabel 2. Konsentrasi DO, pH, Suhu, Salinitas, Kecepatan Arus, Kedalaman stasiun dan Aktivitas ¹³⁷Cs

St	DO mg/L	pH	Suhu °C	Salinitas ‰	Arus m/s	Kedalaman m	¹³⁷ Cs mBq/L
1	3,2	7,68	29,4	27	0,0017	1,14	0,85
2	3,6	7,74	29,8	28	0,0132	1,96	0,58
3	4,5	7,82	30,1	30	0,0114	2,22	0,80
4	4,1	7,84	30,6	30	0,0170	1,71	0,07
5	4,4	7,87	30,8	31	0,0245	4,23	1,01
6	5,6	7,78	30,5	30	0,0310	3,54	0,20
7	5,1	7,72	30,2	30,2	0,02292	2,43	0,61

Jepang sebelum terjadi kecelakaan Fukushima dimana nilainya 2-3 mBq/L (Inoue *et al.*, 2012).

Nilai aktivitas ^{137}Cs terendah berada pada stasiun 4 yaitu (0,07 mBq/L). Rendahnya nilai aktivitas ^{137}Cs dimungkinkan karena stasiun 4 berada di daerah yang relatif dekat dengan pantai (434,9 m) dan pada kedalaman relatif dangkal (1,71 m) dengan kecepatan arus relatif besar (0,0170 m/s) dibanding dengan stasiun lainnya di daerah yang masih banyak pengaruh dari daratan. Sehingga partikel sedimen di stasiun ini mengikat aktivitas ^{137}Cs yang ada di air. Menurut Charlesworth *et al.* (2006), mengatakan bahwa partikel yang ada di perairan merupakan faktor yang langsung berpengaruh pada transport dan scavenging ^{137}Cs dan ^{241}Am fase cair. Kejadian ini sama seperti hasil penelitian Muslim *et al.* (2015), bahwa rendahnya aktivitas ^{137}Cs di perairan disebabkan oleh serapan ion partikel, pertukaran ion (*ion-exchange*) dan pengendapan oleh partikel sedimen yang banyak terjadi di daerah pantai dari pada daerah lepas pantai. Stasiun 1 dan 2 walaupun dekat dengan pantai mempunyai nilai aktivitas lebih tinggi dari pada stasiun 4 karena pada daerah tersebut terjadi proses pengadukan hal ini terlihat pada nilai DO, pH, dan salinitasnya yang rendah sehingga aktivitas ^{137}Cs belum sempat terendapkan (Muslim dan Jones, 2003). Sedangkan nilai aktivitas ^{137}Cs tertinggi berada pada stasiun 5 yaitu 1,01 mBq/L (Tabel 2). Tingginya nilai konsentrasi ^{137}Cs pada stasiun 5 dimungkinkan karena stasiun 5 berada di wilayah yang jauh dari daratan (888,5 m) dan mempunyai kedalaman perairan paling dalam (4,23 m) dengan kecepatan arus yang relatif rendah (0,0245 m/s) sehingga aktivitas ^{137}Cs yang berasal dari global fallout dan yang dihasilkan dari pelepasan sedimen belum terikat oleh partikel sedimen untuk diendapkan (Muslim dan Jones, 2003).

KESIMPULAN

Nilai aktivitas ^{137}Cs di perairan Karangsong, Indramayu pada range 0,07-1,01 mBq/L, dengan nilai rata-rata 0,589 mBq/L. Kecepatan arus di perairan Karangsong Indramayu relatif kecil, sehingga

tidak mempengaruhi sebaran aktivitas ^{137}Cs . Tingkat aktivitas ^{137}Cs di masing-masing stasiun lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi stasiun seperti kedalaman dan jauh dan dekatnya dengan pantai yang ditumbuhi mangrove sebagai penghasil bahan organik. Jadi dapat disimpulkan bahwa perairan yang pantainya ditumbuhi mangrove mampu menyimpan ^{137}Cs di sedimennya dan sewaktu-waktu pada saat ada pengadukan akan dilepaskan kembali ke perairan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada staf laboratorium radioekologi-BATAN atas fasilitasnya untuk menganalisa ^{137}Cs . Terima kasih juga pada Adi Budi Nugroho dan Sumitro atas bantuan dalam sampling dan pembuatan peta.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnaud-Haond, S., Duarte, C.M., Teixeira, S., Massa, S.I., Terrados, J., Tri, N.H., Hong, P.N. & Serrão, E. 2009. Genetic Recolonization of Mangrove: Genetic Diversity Still Increasing in the Mekong Delta 30 Years after Agent Orange. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 390:129–135.
- BAPPEDA. 2006. Kabupaten Indramayu. <http://www.bappeda.com>. Akses pada tanggal 25-04-2018. Pukul 20.10 WIB.
- Bouillon, S., Connolly, R.M. & Lee, S.Y. 2008. Organic Matter Exchange and Cycling In Mangrove Ecosystems: Recent Insights from Stable Isotope Studies. *J. Sea Res.* 59:44–58.
- Breithaupt, J.L., Smoak, J.M., Smith, T.J., Sanders III, C.J. & Hoare, A. 2012. Organic Carbon Burial Rates in Mangrove Sediments: Strengthening the Global Budget. *Global Biogeochem. Cycles* 26:GB3011. doi: 10.1029/2012GB004375.
- Buesseler, K., Aoyama, M. & Fukasawa, M. 2011. Impacts of the Fukushima Nuclear Power Plants on Marine Radioactivity. *Environ. Sci. Technol.* 45(23):9931–9935.
- Charlesworth, M.E., Service, T.M. & Gibson, C.E. 2006. The Distribution and Transport of Sellafield Derived ^{137}Cs and ^{241}Am to Western Irish Sea Sediments. *Sci. Total Environ.* 354:83–92

- Ding, Z.H., Liu, J.L., Li, L.Q., Lin, H.N., Wu, H. & Hu, Z.Z., 2009. Distribution and Speciation of Mercury in Surficial Sediments from Main Mangrove Wetlands in China. *Mar. Pollut. Bull.* 58:1319-1325.
- Dixon, R.K., Solomon, A., Brown, S., Houghton, R., Trexler, M. & Wisniewski, J. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Sci.* 263:185-190.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. & Kanninen, M. 2011. Mangroves Among the Most Carbon-Rich Forests in The Tropics. *Nature Geosci.* 4(5):293. doi: 10.1038/NGEO1123.
- Dung, L.V., Tue, N.T., Nhuan, M.T. & Omori, K. 2016. Carbon Storage in a Restored Mangrove Forest in Can Gio Mangrove Forest Park, Mekong Delta, Vietnam. *Forest Ecol. Manag.*, 380:31-40.
- Gopal, B. 2013. Future of Wetlands in Tropical and Subtropical Asia, Especially In the Face of Climate Change. *Aquat. Sci.* 75: 39-61.
- IAEA – MEL (International Atomic Energy Agency's Marine Environmental Laboratories). 2005. Worldwide Marine Radioactivity Studies (WOMARS) Radionuclide Levels in Oceans and Seas. Final Report of a Coordinated Research Project.
- Inoue, M., Kofuji, H., Hamajima, Y., Nagao, S., Yoshida, K. & Yamamoto, M. 2012. ^{134}Cs and ^{137}Cs Activities in Coastal Sea Water Along Northern Sanriku and Tsugaru Strait, North Eastern Japan, After Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *J. Environ. Radioact.* 111:116-119. doi: 10.1016/j.jenvrad.2011.09.012
- Krauss, K.W., McKee, K.L., Lovelock, C.E., Cahoon, D.R., Saintilan, N., Reef, R. & Chen, L. 2014. How Mangrove Forests Adjust to Rising Sea Level. *New Phytol.* 202(1):19-34. doi: 10.1111/nph.12605.
- Li, R., Chai, M., Guo, M. & Qiu, G.Y. 2016. Sediment Accumulation and Mercury (Hg) Flux in *Avicennia Marina* Forest of Deep Bay, China. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 177: 41-46.
- Livingston, H.D & Povinec, P.P. 2000. Anthropogenic Marine Radioactivity. *Ocean Coast Manage.* 43:689-712.
- Livingston, H.D & Povinec, P.P. 2002. A Millennium Perspective on the Contribution of Global Fallout Radionuclides to Ocean Science. *Health Phys.* 82:56-668.
- Macintosh, D.J., Ashton, E.C. & Havanon, S. 2002. Mangrove Rehabilitation and Intertidal Biodiversity: A Study in the Ranong Mangrove Ecosystem, Thailand. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 55:331-345.
- Maderich, V., Jung K.T., Bezhenar, R., deWith G., Qiao F., Casacuberta N., Masque P. & Kim, Y.H. 2014. Dispersion and Fate of ^{90}Sr in the North Western Pacific and Adjacent Seas: Global Fallout and the Fukushima Dai-ichi Accident. *Sci. Total Environ.* 494-495: 261-271
- Marchand, C., Fernandez, J.M. & Moreton, B. 2016. Trace Metal Geochemistry in Mangrove Sediments and Their Transfer to Mangrove Plants (New Caledonia). *Sci. Total Environ.*, 562: 216-227
- McKee, K.L. & Faulkner, P.L. 2000. Restoration of Biogeochemical Function in Mangrove Forests. *Restor. Ecol.* 8:247-259.
- Meng, X., Xia, P., Li, Z. & Meng, D. 2016. Mangrove Degradation and Response to Anthropogenic Disturbance in the Maowei Sea (SW China) Since 1926 AD: Mangrove-Derived OM and Pollen. *Org. Geochem.*, 98:166-175.
- Miyazawa, Y., Masumoto, Y., Varlamov SM., Miyama, T., Takigawa, M., Honda M, & Saino T. 2013. Inverse Estimation of Source Parameters of Oceanic Radioactivity Dispersion Models Associated with the Fukushima Accident. *Biogeosciences*, 10: 2349-63. doi: 10.5194/bg-10-2349-2013.
- Muslim & G. Jones. 2003. The Seasonal Variation of Dissolved Nutrients, Chlorophyll a and Suspended Sediments at Nelly Bay, Magnetic Island. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 57:445-455.
- Muslim., Prihatiningsih W.R. & Nugroho A.B. 2017b. Relative Effect of Water Quality on ^{137}Cs Activity in Larangan Water, Tegal. *Jurnal Sains Nuklear Malaysia*, 29(1):45-61.
- Muslim., Suseno, H. & Pratiwi, M.J. 2017a. Behavior of ^{137}Cs Activity in the Sayung Waters, Demak, Indonesia. *Atom Ind.* 43 (1):4-46.
- Muslim., Suseno, H. & Rafsani, F. 2015. Distribution of ^{137}Cs Radionuclide in Industrial Wastes Effluents of Gresik, East Java, Indonesia. *Atom Ind.* 41(1): 47 - 50.
- Rypina I.I., Jayne S.R., Yoshida S., Macdonald A.M., Douglass E., & Buesseler K. 2013.

- Short-term Dispersal of Fukushima Derived Radionuclides off Japan: Modeling Efforts and Model Data Intercomparison. *Biogeosciences*,10:4973–90.
- Stieglitz, T.C., Clark, J. F. & Hancock, G.J. 2013. The Mangrove Pump: The Tidal Flushing of Animal Burrows in a Tropical Mangrove Forest Determined from Radionuclide Budgets. *Geochim Cosmochim Acta*, 102: 12–22.
- Sudjana. 2005. Metode Statistika. Tarsito. Bandung.
- 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). *Reg. Stud. Mar. Sci.* 10: 81–85.
- Tri, N.H., Adger, W.N & Kelly, P.M. 1998. Natural Resource Management in Mitigating Climate Impacts: The Example of Mangrove Restoration in Vietnam. *Glob. Environ. Change*, 8:49–61.
- Valiela, I., Bowen, J.L. & York, J.K. 2001. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. *Bioscience*, 51:807–815.
- Wells, T. & Hancock, G. 2014. Comparison of Vertical Transport of ^{137}Cs and Organic Carbon in Agricultural Cracking Soils. *Geoderma*, 214:228-238.
- Xia, P., Meng, X.W., Li, Z., Feng, A.P., Yin, P. & Zhang, Y.Q. 2015. Mangrove Development and Its Response to Environmental Change in Yingluo Bay (SW China) During the Last 150 Years: Stable Carbon Isotopes and Mangrove Pollen. *Org. Geochem.* 85:32–41.