

Studi Koefisien Distribusi ^{137}Cs di Perairan Muara Cisadane, Teluk Jakarta

Lilik Latifah^{1*}, Heny Suseno², Muslim¹, dan Mohamad Nur Yahya³

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

²Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan Biosimetri. Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia

³Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir. Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia
Email: *liliklatifah160800@gmail.com

Abstrak

Radiocesium berada di lingkungan laut berasal dari jatuhnya atmosferik (*global fallout*) akibat dari kecelakaan PLTN di Chernobyl dan Fukushima pada tahun 1986 dan 2011 lalu. Radionuklida ^{137}Cs memiliki sifat konservatif sehingga dapat menyebar hingga ke perairan global. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat aktivitas dan sebaran ^{137}Cs pada air laut dan sedimen, serta mengetahui nilai koefisien distribusi ^{137}Cs . Sampel air dan sedimen dikumpulkan dari perairan Muara Cisadane, Teluk Jakarta. Aktivitas ^{137}Cs diukur menggunakan Spektrometer Gamma HPGe Canberra 3000 di laboratorium Badan Tenaga Nuklir Nasional dengan aktivitas ^{137}Cs pada sampel air yaitu berkisar antara 0,30-1,12 Bq.l⁻¹, dan ^{137}Cs pada sampel sedimen berkisar antara 0,60-1,22 Bq.kg⁻¹. Dalam radioekologi, koefisien distribusi didefinisikan sebagai rasio antara konsentrasi radionuklida dalam fase padat (sedimen dasar) dan konsentrasi dalam air (fase terlarut). Konsentrasi koefisien distribusi ^{137}Cs yang berkisar antara 0,65-3,40 L.kg⁻¹ dengan rata-rata 1,401 L.kg⁻¹.

Kata kunci: ^{137}Cs , Persebaran, Muara Cisadane, Koefisien Distribusi

Abstract

Radiocesium in the marine environment comes from the global fallout as a result of the nuclear power plant accidents at Chernobyl and Fukushima in 1986 and 2011. Radionuclide ^{137}Cs has a conservative nature so it can spread to global waters. The purpose of this study was to determine the level of activity and distribution of ^{137}Cs in seawater and sediments, and to determine the distribution coefficient of ^{137}Cs . Water and sediment samples were collected from the waters of Muara Cisadane, Jakarta Bay. The activity of ^{137}Cs was measured using the Gamma HPGe Canberra 3000 Spectrometer at the National Nuclear Energy Agency laboratory with ^{137}Cs activity in water samples ranging from 0.30-1.12 Bq.l⁻¹, and ^{137}Cs in sediment samples ranging from 0.60-1.22 Bq.kg⁻¹. In radioecology, the distribution coefficient is defined as the ratio between the radionuclide concentration in the solid phase (basic sediment) and the concentration in water (dissolved phase). The distribution coefficient concentration of ^{137}Cs ranged from 0.65-3.40 L.kg⁻¹ with an average of 1.401 L.kg⁻¹.

Keywords: ^{137}Cs , spread, Cisadane Estuary, Distribution Coefficient

PENDAHULUAN

Koefisien distribusi (Kd) sangat penting dalam memperkirakan konsentrasi radionuklida dalam sedimen dan air laut. Menurut Uchida dan Tagami (2017) nilai koefisien distribusi (Kd) dinyatakan tidak akan mengalami perubahan yang signifikan selama 2 sampai 3 dekade. Koefisien distribusi (Kd) dapat digunakan untuk memperkirakan migrasi radionuklida dalam sedimen. Penelitian mengenai ^{137}Cs telah dilakukan di berbagai wilayah melalui program pemantauan laut radioaktif nasional (Suseno *et al.*, 2018) pada air dan sedimen. Di beberapa tempat juga telah dilakukan seperti di pantai barat Sumatera-Samudra Hindia (Suseno *et al.*, 2015), di inlet *Indonesia Through Flow* (ITF) (Suseno *et al.*, 2017) dan outlet ITF (Suseno dan Wahono, 2018). Menurut Suseno *et al.*, (2015) salah satu unsur radionuklida antropogenik paling dominan yang dilepaskan oleh reaktor nuklir adalah ^{137}Cs . Radiocesium masuk ke perairan Indonesia saat ini diasumsikan oleh terjadinya *global fallout* melalui jatuhnya atmosfer, *leaching* dari terestrial maupun pergerakan massa air yang membawa unsur radioisotop ^{137}Cs dari sumbernya.

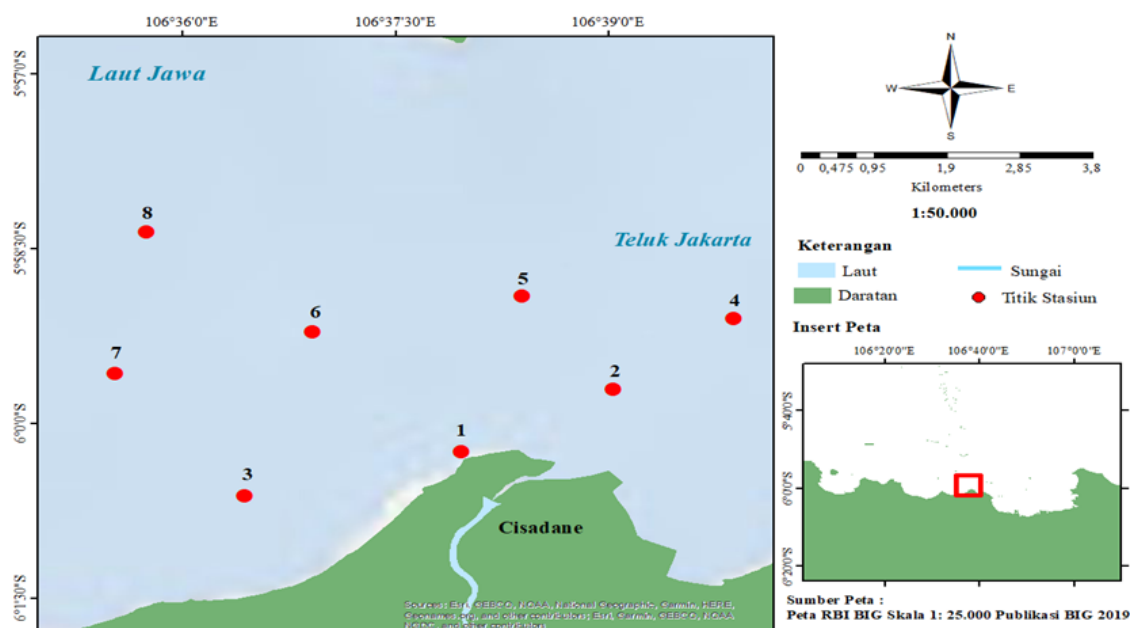
Radioisotop ^{137}Cs dengan paruh waktu 30,2 tahun ini memiliki sifat beracun dan konservatif. Sifat radioisotop ^{137}Cs yang konservatif atau mudah terlarut di dalam air laut, sehingga persebarannya dalam air sangat dipengaruhi oleh proses fisika seperti pencampuran (difusi) dan sirkulasi air laut (Silalahi *et al.*, 2014). Hal ini didukung oleh pernyataan Inoue *et al.* (2012), bahwa sebaran radionuklida sangat dipengaruhi oleh pola gerak air laut sehingga perlu dilakukan analisis data oseanografi fisika yang meliputi arus dan pasang surut karena dinamika perairan laut akan menentukan pola dan jangkauan sebaran unsur radioaktif. Proses sampainya radionuklida ^{137}Cs di perairan muara Cisadane, Teluk Jakarta disebabkan oleh adanya pergerakan massa air di Samudra Pasifik yang terbawa oleh ARLINDO ke Samudra Hindia hingga sampai ke perairan Indonesia kemudian diteruskan ARMONDO menuju Laut Jawa (Suseno dan Prihatiningsih, 2014).

Tingginya aktivitas masyarakat dan industri di sepanjang aliran sungai Cisadane dapat menjadi sumber bahan pencemaran. Menurut Siahaan *et al.*, (2011), tingkat pencemaran di sungai Cisadane dari tahun ke tahun semakin meningkat, dimana bagian hulu sungai ini telah tercemar ringan sementara di bagian hilirnya tercemar berat, kondisi tersebut dapat mengikat ^{137}Cs . Hal ini sesuai dengan pendapat Muslim *et al.*, (2017) bahwa peningkatan ^{137}Cs di daerah pencemaran limbah kemungkinan disebabkan oleh beberapa ion yang terkandung dalam limbah pencemaran yang mengikat ^{137}Cs . Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukannya penelitian untuk mengetahui konsentrasi koefisien distribusi (Kd) radionuklida antropogenik ^{137}Cs yang letaknya di perairan muara Cisadane, Teluk Jakarta yang kondisi perairannya spesifik.

MATERI DAN METODE

Metode Pengambilan Sampel

Penentuan lokasi pengambilan sampel didasarkan pada metode *purposive sampling*. Stasiun 1 mewakili perairan dekat dengan muara sungai Cisadane; stasiun 2, 3 dan 4 daerah yang mewakili peralihan antara daerah pantai dan lepas pantai; stasiun 5, 6, 7 dan 8 stasiun 6 mewakili perairan laut lepas. Sampel air laut diambil dengan menggunakan pompa air sebanyak 80 liter di setiap titik lokasi pengambilan sampel, sedangkan sampel sedimen diambil menggunakan *sediment grab* sebanyak 2-3 kg di setiap titik lokasi pengambilan sampel.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Analisa Aktivitas ^{137}Cs

Sampel air dan sedimen di preparasi berdasarkan standar IAEA-MEL (*International Atomic Energy Agency's Marine Environmental Laboratories*). Analisis menggunakan Spektrometer Gamma HPGe Canberra 3000 selama 3 hari. Hasil (*output*) pengukuran *Gamma Spectrometer* ini berupa grafik yang menunjukkan kurva, kemudian nilai kurva tersebut diolah menggunakan Microsoft Excel hingga didapatkan nilai aktivitas dari radionuklida ^{137}Cs . Berdasarkan Russell *et al.*, (2015), aktivitas ^{137}Cs akan terlihat pada energi 661.7 keV.

Perhitungan Nilai Koefisien Distribusi (Kd) ^{137}Cs

Analisa Koefisien distribusi (Kd) dilakukan untuk mengetahui hubungan pertukaran radionuklida ^{137}Cs dalam fase terlarut di kolom air dengan fase terserap pada permukaan sedimen. Menurut IAEA (2004) perhitungan koefisien distribusi (Kd) dituliskan sebagai berikut:

$$Kd = \frac{C_{sed}}{C_{wtr}}$$

Dimana:

C_{sed} : Tingkat radioaktivitas ^{137}Cs dalam sampel sedimen (Bq.kg^{-1})

C_{wtr} : Tingkat radioaktivitas ^{137}Cs dalam sampel air laut (Bq.l^{-1})

Pemodelan Arus MIKE 21 Flow Model FM

Pemodelan arus diawali dengan pembuatan *mesh* menggunakan data garis pantai dan data batimetri dalam format (.xyz). Kedua data tersebut digunakan untuk membangun domain model atau *mesh*. Pembuatan *mesh* pada *software* MIKE 21 menggunakan modul *Mesh Generator*. Tahapan selanjutnya adalah membuat skenario model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas ^{137}Cs pada Air Laut dan Sedimen

Hasil analisa aktivitas ^{137}Cs pada air laut berkisar antara 0,3-1,12 Bq.l^{-1} dengan rata-rata aktivitas sebesar 0,742 Bq.l^{-1} . Sedangkan aktivitas ^{137}Cs pada sedimen berkisar antara 0,6-1,22 Bq.kg^{-1} dengan aktivitas rata-rata sebesar 0,842 Bq.kg^{-1} .

Tabel 1. Aktivitas ^{137}Cs

Stasiun	Koordinat		Kedalaman (m)	Aktivitas Radionuklida	
	Lintang	Bujur		Sampel Air (Bq.l^{-1})	Sampel Sedimen (Bq.kg^{-1})
1	6° 0' 14.32" S	106° 37' 57.60" E	2,5	0,30	1,02
2	5° 59' 42.07" S	106° 39' 1.83" E	4,5	0,56	0,81
3	6° 0' 37.22" S	106° 36' 26.11" E	7,1	0,79	1,22
4	5° 59' 5.99" S	106° 39' 52.95" E	12,6	0,43	0,60
5	5° 58' 54.41" S	106° 38' 23.63" E	14,2	1,01	0,73
6	5° 59' 12.83" S	106° 36' 54.99" E	15	1,11	0,72
7	5° 59' 33.93" S	106° 35' 31.20" E	14,8	0,62	0,82
8	5° 58' 21.15" S	106° 35' 44.65" E	16,5	1,12	0,82
Rata-rata				0,742	0,842

Tingkat radioaktivitas ^{137}Cs pada air laut di perairan Muara Cisadane adalah 0,30-1,12 Bq.l^{-1} dengan rata-rata 0,742 Bq.l^{-1} . Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi ^{137}Cs dengan beberapa penelitian sebelumnya seperti di Thailand yang terdeteksi nilai aktivitasnya 2,25-4,47 Bq.l^{-1} (Zaharudin *et al.*, 2011), Vietnam yang terdeteksi sebesar 0,68-3,67 Bq.l^{-1} (Lujanienè *et al.*, 2004), dan wilayah Samudera Hindia 2,1 Bq.l^{-1} (Povinec *et al.*, 2011). Tingkat radioaktivitas di pesisir Indonesia memiliki nilai 0,13-0,32

Bq.l⁻¹ (Suseno dan Prihatiningsih, 2014) dan pada Samudera Hindia (Selatan Jawa dan Barat Sumatera) memiliki nilai rendah pula yaitu sekitar 0,13-0,28 Bq.l⁻¹ dengan beberapa stasiun tidak terdeteksi (Suseno *et al.*, 2015). Rendahnya nilai aktivitas ¹³⁷Cs di daerah penelitian dikarenakan wilayah Indonesia tidak mempunyai sumber radionuklida antropogenik dan masuknya radionuklida di Indonesia berasal dari *global fallout* (Suseno *et al.*, 2015). Hal ini sesuai dengan pendapat (Muslim, 2009) bahwa dalam suatu perairan, nilai aktivitas radionuklida akan lebih rendah bila jauh dari sumber lepasannya, karena mengalami pengenceran dan pengikatan dengan partikel maupun sudah terkonsentrasi dalam rantai makanan. Unsur ¹³⁷Cs sangat mudah larut dalam air laut yang memungkinkan unsur tersebut dengan mudah tersebar dalam jarak yang cukup jauh akibat adanya arus laut melalui transfer massa air lintas samudera (Povinec *et al.*, 2004).

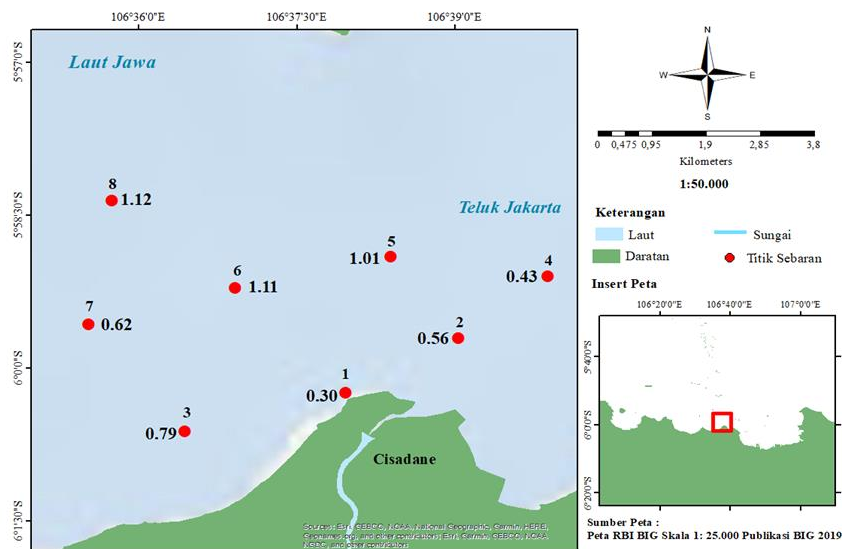
Tingkat radioaktivitas ¹³⁷Cs di sedimen dasar lebih tinggi dibandingkan tingkat radioaktivitas ¹³⁷Cs di perairan, hal ini terjadi akibat berlangsungnya proses penyebaran atau dispersi radionuklida ¹³⁷Cs yang terlepas ke lingkungan laut melalui pertukaran massa air secara horizontal, lalu terjadi adsorpsi oleh sedimen tersuspensi kemudian terjadi sedimentasi di dasar perairan (Maderich *et al.*, 2013). Tingkat radioaktivitas ¹³⁷Cs pada sedimen di Perairan Muara Cisadane adalah 0,60-1,22 Bq.kg⁻¹ dengan rata-rata 0,842 Bq.kg⁻¹. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan nilai aktivitas ¹³⁷Cs dengan beberapa penelitian sebelumnya seperti di sekitar perairan muara sungai Xingkai, China yang terdeteksi nilai aktivitasnya sebesar 6,4-30,1 Bq.kg⁻¹ (Zhang *et al.*, 2022), di Laut Baltic terdeteksi sebesar 22,6-66,7 Bq.kg⁻¹ dan di dekat FDNPP sekitar 29,6-34,7 Bq.kg⁻¹ (Song *et al.*, 2020). Tingkat radioaktivitas di pesisir Indonesia memiliki nilai 0,33-0,83 Bq.kg⁻¹ (Suseno dan Prihatiningsih, 2014) dan pada pesisir Barat Sumatera memiliki nilai rendah pula yaitu sekitar 0,016-0,334 Bq.kg⁻¹ (Makmur *et al.*, 2020). Rendahnya nilai aktivitas ¹³⁷Cs pada sedimen di daerah penelitian dikarenakan wilayah Indonesia tidak mempunyai sumber radionuklida antropogenik (Suseno dan Prihatiningsih, 2014).

Aktivitas ¹³⁷Cs pada daerah penelitian masih tergolong aman, hal ini sesuai dengan BAPETEN (2017) yang menyatakan nilai ambang batas untuk ¹³⁷Cs pada air laut sebesar 260 Bq.l⁻¹ dan pada sedimen sebesar 1000 Bq.kg⁻¹ yang menandakan bahwa tidak terdapat gangguan yang signifikan terhadap lingkungan maupun makhluk hidup yang berada di daerah sekitar perairan Muara Cisadane.

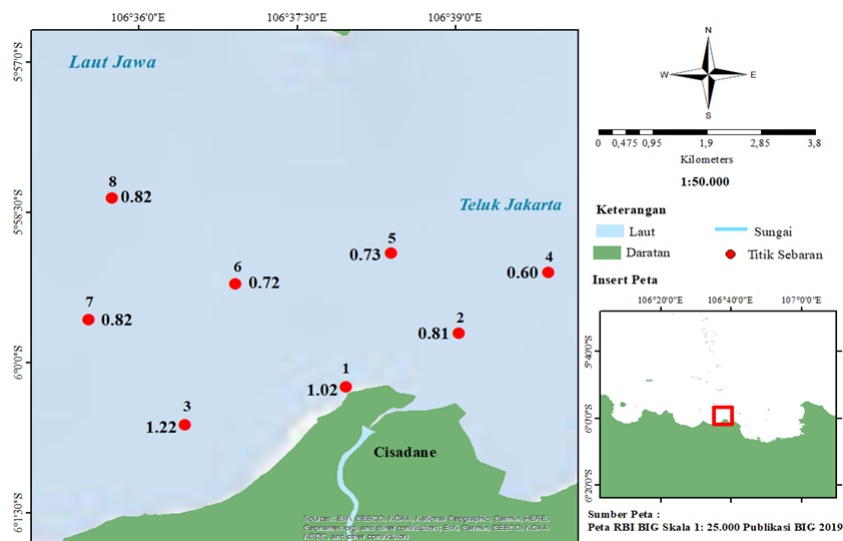
Sebaran ¹³⁷Cs pada Air Laut dan Sedimen

Faktor yang berpengaruh terhadap aktivitas radionuklida di perairan laut antara lain adalah proses penyampuran, penyebaran dan interaksi dengan sedimen dan material biologis. Menurut Suseno *et al.* (2015), aktivitas radionuklida dalam massa air ditentukan oleh faktor sebaran radionuklida di lingkungan perairan laut dan pergerakan massa air. Kecepatan arus dapat berpengaruh terhadap penimbunan dan penyebaran radionuklida di sedimen dan air laut. Karakteristik arus tersebut memberikan pengaruh langsung terhadap persebaran radionuklida di laut, karena arus mampu membantu proses resuspensi sedimen, dalam proses ini arus menggerakkan sedimen laut, sehingga radionuklida yang telah terakumulasi berkemungkinan untuk terlepas kembali ke perairan Muslim (2007).

Sebaran aktivitas ¹³⁷Cs pada air laut di perairan Teluk Jakarta (Gambar 1) cenderung menuju kearah laut mengikuti profil kedalaman dan pola arus. Arah sebarannya membentuk pola lingkaran dengan konsentrasi lepasan berkisar 0,30-1,12 Bq.l⁻¹. Aktivitas ¹³⁷Cs tertinggi berada pada stasiun 8 yaitu 1,12 Bq.l⁻¹ (Tabel 1). Tingginya nilai aktivitas tersebut dimungkinkan karena stasiun 8 berada di wilayah yang jauh dari daratan (laut lepas) dan mempunyai kedalaman perairan relatif paling dalam yaitu 16,5 meter (Tabel 1), sehingga aktivitas ¹³⁷Cs yang berasal dari *global fallout* belum terikat oleh partikel sedimen untuk diendapkan (Muslim dan Jones, 2003). Sedangkan, nilai aktivitas ¹³⁷Cs terendah berada pada stasiun 1 yaitu 0,30 Bq.l⁻¹ (Tabel 1). Rendahnya nilai aktivitas tersebut dikarenakan lokasi pengambilan sampel yang berada di dekat muara Sungai Cisadane dan memiliki kedalaman paling dangkal yaitu 2,5 meter (Tabel 1). Sehingga partikel sedimen di stasiun ini mengikat aktivitas ¹³⁷Cs 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* ¹³⁷Cs dan ²⁴¹Am fase cair. Hal ini diperkuat oleh Muslim *et al.*, (2015), bahwa rendahnya konsentrasi ¹³⁷Cs di perairan disebabkan adanya serapan ion partikel, pertukaran ion (*ion-exchange*) oleh senyawa kimia yang mungkin dihasilkan dari industri disekitar sungai.



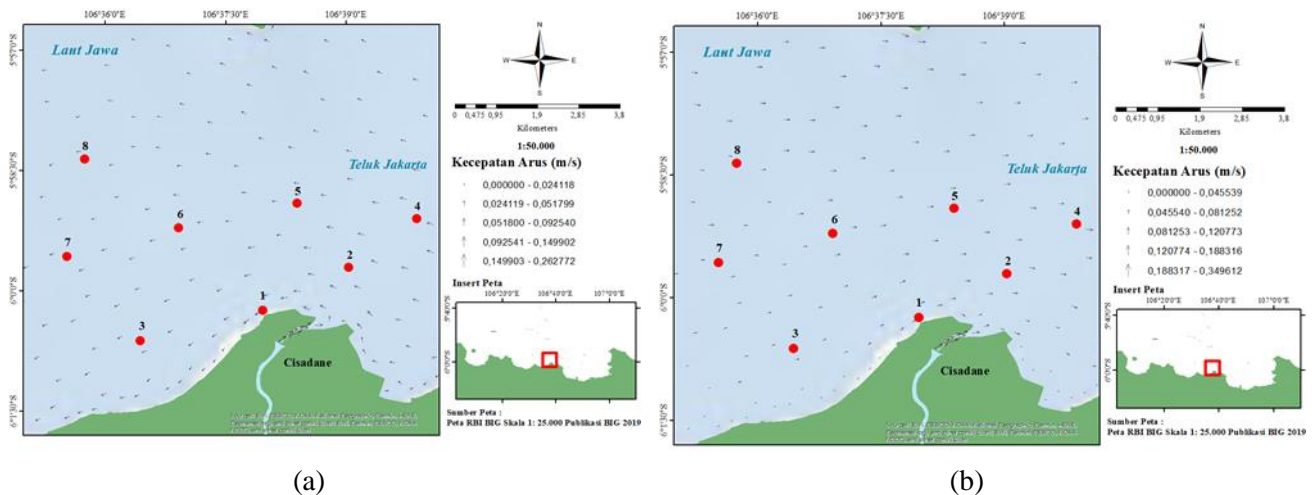
Gambar 2. Sebaran Aktivitas ^{137}Cs pada Air Laut di Muara Cisadane



Gambar 3. Sebaran Aktivitas ^{137}Cs pada Air Laut di Muara Cisadane

Aktivitas ^{137}Cs tertinggi pada sedimen laut berada pada stasiun 3 yaitu $1,22 \text{ Bq.kg}^{-1}$ (Tabel 6). Hal ini dimungkinkan karena di perairan Muara Cisadane yang ditumbuhi hutan mangrove yang kaya akan bahan organik, sehingga mampu mengikat dengan kuat unsur pencemar (antropogenik) (Lin *et al.*, 2016) serta tingginya nilai aktivitas ^{137}Cs dikarenakan lokasi pengambilan sampel yang dekat dengan Muara Cisadane (380 meter). Muslim *et al.*, (2015) berpendapat, bahwa lokasi stasiun penelitian yang berdekatan dengan muara sungai akan mengandung beberapa ion seperti ammonium, kalsium, kalium dan ion organik lainnya. Resuspensi sedimen dapat mempengaruhi tingkat adsorpsi ^{137}Cs pada sedimen. Lin *et al.*, (2016) juga berpendapat bahwa, resuspensi sedimen akan menyebabkan pertukaran material antara kolom air dengan sedimen sehingga radionuklida yang sudah teradsorpsi pada sedimen akan terlepas dan tersebar ke kolom air. Sedimen yang terangkat ke atas kemudian akan diangkut oleh arus laut menuju tempat pengendapan yang baru yang relatif tenang. Hal ini juga yang menyebabkan rendahnya nilai aktivitas ^{137}Cs pada stasiun 4 yaitu sebesar $0,60 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Rendahnya nilai aktivitas ^{137}Cs dimungkinkan karena stasiun 4 berada di daerah yang relatif jauh dengan muara sungai Cisadane dan kedalaman yang relatif besar (12,6 m) dengan kecepatan arus

yang relatif besar sehingga partikel sedimen terangkat dan menyebar. Pola arus pada penelitian ini condong bergerak ke arah timur pada kondisi pasang tertinggi (Gambar 8) dan pada kondisi surut terendah bergerak ke arah barat (Gambar 9) akan tetapi pola arus ini tidak berpengaruh secara langsung terhadap distribusi radioaktivitas ^{137}Cs pada air laut dan sedimen (Gambar 1 dan 2). Hal ini dikarenakan pola arus pada penelitian ini hanya pada bulan Juni saat waktu pengambilan sampel, sedangkan sedimen di perairan tersebut telah mengalami akumulasi pengendapan dengan jangka waktu yang lama.



Gambar 4. a) Pola arus permukaan saat pasang tertinggi; dan b) pola arus permukaan saat surut terendah

Arah arus pada penelitian ini bergerak dari arah timur ke barat laut pada kondisi pasang tertinggi (Gambar 3) dengan kecepatan arus permukaan berkisar antara $0,024-0,262 \text{ m.s}^{-1}$ dengan rata-rata $0,046 \text{ m.s}^{-1}$ dan, bergerak dari arah barat ke timur laut pada kondisi surut terendah bergerak dari arah barat ke timur laut (Gambar 4) dengan kecepatan arus permukaan berkisar antara $0,045-0,349 \text{ m.s}^{-1}$ dengan rata-rata $0,093 \text{ m.s}^{-1}$ dan, kondisi tersebut tidak mempengaruhi distribusi radioaktivitas ^{137}Cs dikarenakan kecepatannya yang relatif kecil. Muslim *et al.*, (2015) mengatakan bahwa arus dapat menggerakkan ukuran sedimen yang halus apabila kecepatan di atas $0,5 \text{ m.s}^{-1}$. Aktivitas ^{137}Cs pada air laut dan sedimen dasar di sekitar perairan Muara Cisadane juga tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan parameter suhu, salinitas, DO, kekeruhan dan pH. Nilai parameter oseanografi yang diperoleh juga relatif sama antara satu stasiun dengan stasiun lainnya Suseno dan Prihatiningsih, (2014).

Koefisien Distribusi ^{137}Cs di Muara Cisadane, Teluk Jakarta

Hasil dari konsentrasi Koefisien distribusi (K_d) ^{137}Cs didapatkan dengan perbandingan nilai aktivitas radionuklida ^{137}Cs pada sedimen dan air laut.

Tabel 2. Konsentrasi Koefisien Distribusi ^{137}Cs

Stasiun	Konsentrasi K_d (L.kg^{-1})
1	3,40
2	1,45
3	1,54
4	1,40
5	0,72
6	0,65
7	1,32
8	0,73
Rata-rata	1,402

Nilai konsentrasi koefisien distribusi (Kd) ^{137}Cs di perairan Muara Cisadane mempunyai kisaran antara $0,65\text{-}3,40 \text{ L.kg}^{-1}$ dengan nilai rata-ratanya sebesar $1,402 \text{ L.kg}^{-1}$. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi Kd dengan beberapa penelitian sebelumnya seperti di Forsmark, Swedia yang terdeteksi sebesar $5,4 \times 10^3 \text{ L.kg}^{-1}$ (Sheppard *et al.*, 2011); Laut Kara, Rusia yang terdeteksi sebesar $2,32 \times 10^3 \text{ L.kg}^{-1}$ (Fuhrmann *et al.*, 1995); Kepulauan Bangka Belitung dan Pare-pare sebesar $4,34 \times 10^3$ dan $5,26 \times 10^3 \text{ L.kg}^{-1}$ (Cahyana, 2013) serta pada beberapa daerah di Jepang dengan rata-rata sebesar $3,6 \times 10^5 \text{ L.kg}^{-1}$ (Yoshimura *et al.*, 2015). Rendahnya konsentrasi koefisien distribusi (Kd) ^{137}Cs di daerah penelitian dikarenakan wilayah Indonesia tidak mempunyai sumber radionuklida antropogenik dan terletak jauh dari Fukushima-Jepang tempat terjadinya kecelakaan PLTN pada 11 Maret 2011 (Suseno *et al.*, 2015).

Konsentrasi koefisien distribusi ^{137}Cs tertinggi berada pada stasiun 1 yaitu $3,40 \text{ L.kg}^{-1}$ (Tabel 2). Tingginya nilai koefisien distribusi pada stasiun ini dikarenakan lokasi pengambilan sampel yang berada di dekat muara sungai Cisadane dan memiliki kedalaman yang relatif dangkal (2,5 m) serta kekeruhan yang relatif besar (89,7 ntu), sehingga ^{137}Cs banyak yang terikat oleh partikel, yang menyebabkan tingginya kadar ^{137}Cs pada sedimen dibandingkan pada air laut. Sedangkan, nilai Koefisien distribusi (Kd) ^{137}Cs terendah berada pada stasiun 6 yaitu $0,65 \text{ L.kg}^{-1}$ (Tabel 2). Rendahnya nilai Koefisien distribusi (Kd) karena terletak jauh dari muara sungai, daerah ini mempunyai kandungan bahan organik yang relatif sedikit dibandingkan stasiun lainnya. Menurut Meng *et al.*, (2014) dan Yang *et al.*, (2015) semakin jauh lokasi tersebut dari daratan maka bahan organik yang berada dalam sedimen tidak mampu mengikat kandungan ^{137}Cs .

KESIMPULAN

Aktivitas ^{137}Cs pada sampel air dan sedimen di perairan sekitar Muara Cisadane, Teluk Jakarta memiliki rata-rata sebesar $0,742 \text{ Bq.l}^{-1}$ dan $0,842 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Nilai yang terdeteksi masih dalam batas aman yang ditetapkan oleh BAPETEN yaitu sekitar 260 Bq.l^{-1} pada air laut dan sebesar 1000 Bq/kg pada sedimen. Nilai rata-rata koefisien distribusi (Kd) sebesar $1,401 \text{ L.kg}^{-1}$. Nilai yang terdeteksi masih dalam batas aman yang ditetapkan oleh IAEA (2004) yaitu sekitar $4 \times 10^3 \text{ L.kg}^{-1}$. Kecepatan arus di perairan Muara Cisadane relatif kecil, sehingga tidak mempengaruhi sebaran aktivitas ^{137}Cs . Tingkat aktivitas ^{137}Cs lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi stasiun seperti kedalaman serta jauh dan dekatnya lokasi pengambilan sampel dengan muara.

DAFTAR PUSTAKA

- BAPETEN. 2017. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Inspeksi dalam Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- Silalahi, C., Muslim & Suseno, H., 2014. Aktivitas Cesium-137 di Perairan Bangka Selatan Sebagai Base Line Data Radionuklida di Perairan Indonesia. *Jurnal Oseanografi*, 1(3): 36–42.
- Cahyana, C., 2013. Penentuan Nilai Koefisien Distribusi (Kd) Cesium-137 Pada Sedimen Laut. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 16:57-62.
- Charlesworth, M. E., Service, M. & Gibson, C. E., 2006. The distribution and transport of Sellafield derived ^{137}Cs and ^{241}Am to western Irish Sea sediments. *Science of the Total Environment*, 354(1), 83–92.
- Fuhrmann, M., Zhou, H., Neihesel, J. & Dyer, R., 1995. Sorption of Radioactive Contaminants by Sediment from the Kara Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 43(1):102-110.
- IAEA. 2004. *Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in Marine Environment. Technical Reports Series No. 422, 103p.* International Atomic Energy Agency: Vienna.
- Inoue, M., Kofuji, H., Hamajima, Y., Nagao, S., Yoshida, K. & Yamamoto, M., 2012. ^{134}Cs and ^{137}Cs activities in coastal seawater along Northern Sanriku and Tsugaru Strait, northeastern Japan, after Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 111:116–

119.

- Lin, W., Chen, L., Zeng, S., Li, T., Wang, Y. & Yu, K., 2016. Residual β activity of particulate ^{234}Th as a novel proxy for tracking sediment resuspension in the ocean. *Scientific Reports*, 6:1–13.
- Lujanienė, G., & Šilobritienė, B. 2004. Behaviour of Radiocesium in Marine Environment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2(2):23–32.
- Maderich, V., Bezhenar, R., Heling, R., de With, G., Jung, K. T., Myoung, J. G., Cho, Y. K., Qiao, F., & Robertson, L. 2014. Regional long-term model of radioactivity dispersion and fate in the Northwestern Pacific and adjacent seas: Application to the Fukushima Dai-ichi accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 131:4–18.
- Makmur, M., Prihatiningsih, W. R., & Yahya, M. N. 2020. Distribusi Dan Kajian Dampak Radionuklida ^{137}Cs Di Pesisir Barat Pulau Sumatera. *Jurnal Segara*, 16(1):29–38.
- Meng, J., P.Yao, Z. Yu, T.S.Bianchi, B.Zhao, H.Pan, D. Li. 2014. Speciation Bioavailability and Preservation of Phosphorus of the Changjiang Estuary and Adjacent East China Sea Inner Shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 144:27-38.
- Muslim, I., & Jones, G. 2003. The seasonal variation of dissolved nutrients, chlorophyll a and suspended sediments at Nelly Bay, Magnetic Island. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(3):445–455.
- Muslim. 2007. *Marine Radionuclide (Nuklir di Laut)*. Universitas Diponegoro: Semarang, 100.
- Muslim, M. 2009. Distribution of ^{226}Ra Radionuclide in Upwelling Event Off Ulsan, Gampo and Pohang, Korea. *Atom Indonesia*, 35(2).
- Muslim, Suseno, H., & Pratiwi, M. J. 2017. Behavior of ^{137}Cs activity in the Sayung waters, Demak, Indonesia. *Atom Indonesia*, 43(1):41–46.
- 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.
- Povinec, P. P., Aoyama, M., Fukasawa, M., Hirose, K., Komura, K., Sanchez-Cabeza, J. A., Gastaud, J., Jeřkovský, M., Levy, I., & Šýkora, I. 2011. ^{137}Cs water profiles in the South Indian Ocean - An evidence for accumulation of pollutants in the subtropical gyre. *Progress in Oceanography*, 89(1–4):17–30.
- Povinec, Pavel P., Hirose, K., Honda, T., Ito, T., Scott, E. M., & Togawa, O. 2004. Spatial distribution of ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ in surface waters of the Pacific and Indian Oceans - GLOMARD database. *Journal of Environmental Radioactivity*, 76(1–2):113–137.
- Russell, B. C., Croudace, I. W., & Warwick, P. E. 2015. Determination of ^{135}Cs and ^{137}Cs in environmental samples: A review. *Analytica Chimica Acta*, 890:7–20.
- Sheppard, S., G. Sohlenius, L.G. Omberg, M. Borgiel, S. Grolander, and S. Norden. 2011. Solid/Liquid Partition Coefficients (K_d) and Plant/Soil Concentration Ratios (CR) for Selected Soils, Tills and Sediment at Forsmark. *Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB R-11-24:1-77*.
- Song, J. H., Kim, T. J., & Yeon, J. W. 2020. Radioactivity data analysis of ^{137}Cs in marine sediments near severely damaged Chernobyl and Fukushima nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(2):366–372.
- Suseno, H., Budiawan, Muslim, Makmur, M., & Yahya, M. N. 2018. Present status of marine radioecology in Jakarta Bay. *Atom Indonesia*, 44(2):63–67.

- Suseno, Heny, & 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.
- Suseno, Heny, & Wahono, I. B. 2018. Present status of ^{137}Cs in seawaters of the Lombok Strait and the Flores Sea at the Indonesia Through Flow (ITF) following the Fukushima accident. *Marine Pollution Bulletin*, 127: 458–462.
- Suseno, Heny, 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.
- Suseno, Heny, 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.
- Uchida, S., & Tagami, K. 2017. Comparison of coastal area sediment-seawater distribution coefficients (K_d) of stable and radioactive Sr and Cs. *Applied Geochemistry*, 85:148–153.
- Yang, B., Cao L., Liu S.M., Zhang G.S. 2015. Biogeochemistry of Bulk Organic Matter and Biogenic Element. *Mar Pollut Bull*, 96: 471-484
- Yoshimura, K., Onda, Y., Sakaguchi, A., Yamamoto, M., & Matsuura, Y. 2015. An extensive study of the concentrations of particulate/dissolved radiocaesium derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident in various river systems and their relationship with catchment inventory. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139:370–378.
- Zaharudin, A. M., Talib, R. J., Berhan, M. N., Budin, S., & Aziurah, M. S. 2012. Taguchi method for optimizing the manufacturing parameters of friction materials. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 7(1):83–88.
- Zhang, S., Yang, G., Zheng, J., Pan, S., Cao, L., Aono, T., Yamazaki, S., Zhang, W., Shen, J., & Wang, Y. 2022. Global fallout Pu isotopes, ^{137}Cs and ^{237}Np records in the sediments of Lake Xingkai and their response to environmental changes in the catchment. *Catena*, 106276.