

## DISTRIBUSI RADIONUKLIDA $^{137}\text{Cs}$ DI AIR DAN SEDIMEN PULAU PARI KEPULAUAN SERIBU JAKARTA

Herni Kusuma<sup>\*1)</sup>, Mohammad Nur Yahya<sup>2)</sup>, Sri Yulina Wulandari<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Oseanografi, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275 Indonesia

<sup>2)</sup> 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

**DISTRIBUSI RADIONUKLIDA  $^{137}\text{Cs}$  DI AIR DAN SEDIMEN PULAU PARI KEPULAUAN SERIBU JAKARTA.** Radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  yang memiliki waktu paruh panjang yaitu 30 tahun telah tersebar dan terendapkan ke dalam sedimen di perairan laut sehingga perlu diketahui persebarannya. Penelitian mengenai distribusi radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  di Pulau Pari penting untuk dilakukan karena perairan tersebut terletak di Kepulauan Seribu bagian selatan yang berdekatan dengan Teluk Jakarta. Banyak buangan limbah domestik dan industri yang berasal dari sungai-sungai yang mengalir ke muara Teluk Jakarta. Selain itu adanya aktivitas laboratorium BATAN Serpong juga memungkinkan mengalirkan limbahnya ke Sungai Cisadane. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai dan sebaran  $^{137}\text{Cs}$  di kolom air dan sedimen dasar pada perairan Pulau Pari serta hubungannya dengan karakter umum sedimen yaitu ukuran butir dan kandungan karbon serta pola arus. Pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan pada tanggal 26 Maret 2016 masing-masing sebanyak 7 stasiun. Analisa pengukuran kandungan  $^{137}\text{Cs}$  dilakukan di PTKMR-BATAN. Hasil penelitian menunjukkan aktivitas  $^{137}\text{Cs}$  di air berkisar 0,01-1,16 mBq/l dan di sedimen berkisar 0,265-0,653 Bq/kg. Hasil pemodelan arus menunjukkan sebaran  $^{137}\text{Cs}$  di perairan dipengaruhi oleh arah dan kecepatan arus. Sebaran  $^{137}\text{Cs}$  di sedimen dasar perairan Pulau Pari kurang memiliki hubungan yang signifikan dengan ukuran butir sedimen dan kandungan karbon.

Kata Kunci : Radionuklida  $^{137}\text{Cs}$ , Sebaran, Arus, Sedimen, Pulau Pari

### ABSTRACT

**DISTRIBUTION OF  $^{137}\text{Cs}$  RADIONUCLIDE IN SEAWATER AND SEDIMENTS OF PARI ISLAND SERIBU ISLANDS JAKARTA.** The  $^{137}\text{Cs}$  Radionuclide which has a long half-life (30 years), has been dispersed and deposited into ocean areas, so its spread needs to be known. Research for distribution of  $^{137}\text{Cs}$  radionuclide in Pari Island is indispensable because it is located in the southern part of Seribu Islands waters located adjacent to Jakarta Bay. There are much domestic and industrial sewage coming from the rivers to Jakarta Bay. Beside there are some possibility of radiological substances entry derived from laboratory activities at BATAN-Serpong through Cisadane River. These study was aimed to get the value and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the seawater and sediments also their relation to the general character of the sediment that were grain size and carbon content, as well as current patterns. Seawater and bottom sediment sampling were conducted on March 26, 2016 respectively of 7 station. Analysis of the samples in order to measure the concentration of  $^{137}\text{Cs}$  were conducted in PTKMR-BATAN. The results showed the activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the water ranging from 0.01 to 1.16 mBq/l and in sediments ranging from 0.265-0.653 Bq/kg. Flow modeling results indicate that the distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in seawater were affected by current direction and speed. Activities and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in bottom sediments of Pari Island waters were less affected by grain size and carbon content.

Keywords:  $^{137}\text{Cs}$  Radionuclide, Distribution, Current, Sediment, Pari Island

### PENDAHULUAN

Kepulauan Seribu merupakan kawasan yang terletak di perairan bagian Utara kota Jakarta, perairan ini memiliki kerentanan terhadap berbagai ancaman pencemaran yang disebabkan oleh adanya pengaruh limbah pemukiman dan limbah industri yang berasal dari 13 muara sungai di Teluk Jakarta (Sachoeamar, dan Suhendar, 2008). Salah satu radionuklida antropogenik (buatan) adalah  $^{137}\text{Cs}$ . Radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  merupakan radionuklida antropogenik paling melimpah di lingkungan laut yang bersumber dari *global fallout* hasil percobaan senjata nuklir (ATSDR, 2004). Radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  tersebar secara luas kedalam lingkungan laut dimulai dari adanya percobaan senjata nuklir di atmosfer pada tahun

1950-1960. Radionuklida tersebut dilepaskan menuju stratosfer dan terdistribusi secara global, selanjutnya kembali ke troposfer dan dari troposfer menuju permukaan bumi sebagai jatuhnya radiocesium. Proses jatuhnya *radiocesium* ke permukaan bumi bergantung terhadap laju dan pola presipitasi local (Jha dkk, 2012).

Radiocesium penting untuk diketahui persebaran, tingkat radioaktif, sumber serta proses-proses pengaruhnya di perairan. Hal ini disebabkan  $^{137}\text{Cs}$  memiliki sifat radiologi dan memiliki waktu paruh yang panjang yaitu 30 tahun (Bois dkk, 2011). Setelah terjadinya kecelakaan di Fukushima radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{134}\text{Cs}$  penting untuk dilakukan monitoring di perairan laut karena radionuklida tersebut sangat dipengaruhi oleh

proses fisik seperti adveksi dan pencampuran (Inoue dkk, 2012)

Penelitian mengenai radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  penting dilakukan di Indonesia walaupun aktivitas nuklir masih dilakukan secara terbatas. Namun adanya pergerakan aliran di laut memungkinkan masuknya kontaminan radionuklida ke perairan Indonesia. Penelitian terkait radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  telah dilakukan di berbagai pesisir Indonesia oleh Radioekologi Kelautan PTKMR-BATAN. Suseno dan Prihatiningsih (2014) melakukan pemantauan lingkungan di berbagai pesisir Indonesia antara lain Bangka Barat dan Selatan, Sulawesi Selatan (Pare-pare dan Makasar), Sumatera Barat, Laut Utara Jawa (Semarang, Madura, Jepara) dan Yogyakarta pada tahun 2011 sampai 2013 mendapatkan nilai konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di wilayah tersebut sebesar 0,12 sampai 0,32 mBq/L (Suseno dan Prihatiningsih, 2014)

Pulau Pari merupakan salah satu bagian pulau dari Kepulauan Seribu. Perairan Pulau Pari merupakan perairan yang berada di wilayah barat Indonesia dan tidak dilalui oleh ARLINDO tetapi dilalui oleh ARMONDO (Arus Monsun Indonesia) yang pergerakannya dipengaruhi oleh angin monsun. Angin pada bulan maret masih dipengaruhi kuat oleh angin musim barat sehingga masih terjadi curah hujan yang tinggi (Nontji., 2007). Pada saat musim barat Arus Monsun Indonesia mengalir dari (Utara) Pasifik ke (Selatan) Hindia melalui Laut Cina Selatan yang kemudian masuk ke Laut Natuna, Selat Karimata dan Laut Jawa (Hutabarat dan Evans, 2006)

**MATERI DAN METODA**

**Pengambilan sampel**

Penentuan titik sampling sedimen dilakukan dengan Penentuan stasiun penelitian pada Perairan Pulau Pari ditetapkan secara *purposive* pada 7 titik stasiun untuk pengambilan sampel air dan sampel sedimen dengan batas koordinat: 5°50'31.2" LS - 5°52'37.2" LS dan 106°36'36" BT - 106°38'34.8" BT pada bulan Maret 2016. Gambar 1.

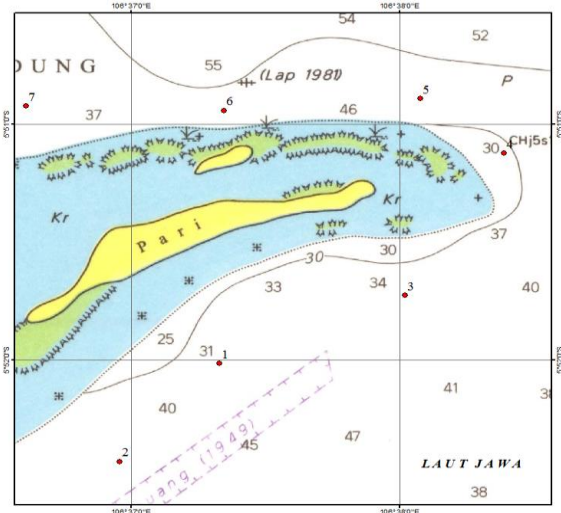
Pengambilan sampel air laut sebanyak 90 liter. Dibutuhkan sampel air dengan jumlah tersebut karena konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di perairan sangat kecil sehingga membutuhkan jumlah yang banyak yang kemudian dipekatkan dengan menambahkan  $\text{K}_3 [\text{Fe}(\text{CN})_6]$  dan  $\text{CuSO}_4$ . Pengambilan sampel sedimen sebanyak 1-2 kg dan disimpan dalam plastic zipper. Sampel endapan air laut dan sampel sedimen selanjutnya dibawa ke Labotarium Radioekologi PTKMR BATAN untuk dilakukan tahapan Analisa Radioaktivitas  $^{137}\text{Cs}$  pada sampel air dan sedimen.

**Analisis Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$**

Sampel air yang telah diendapkan pada kertas saring dikeringkan pada suhu 80°C didalam oven dengan kisaran waktu 3-5 hari sampai sampel benar-benar kering. Selanjutnya sampel kertas saring yang telah kering ditempatkan kedalam botol sampel (*container*) untuk dilakukan proses *counting* dengan *Gamma Spectrofotometer*.

Pada sampel sedimen dikeringkan dengan cara memindahkan sampel pada plastik ke baki yang

selanjutnya dikeringkan didalam oven dengan suhu 90°C selama  $\pm 7$  hari. Sampel sedimen yang telah kering dihaluskan sebanyak 1 kg sampai memiliki ukuran butir yang seragam dan disimpan ke dalam merinelli untuk selanjutnya dilakukan proses analisa kandungan  $^{137}\text{Cs}$  menggunakan Gamma Spectrofotometer. Metode analisis radioaktivitas  $^{137}\text{Cs}$  dengan pencacahan secara langsung menggunakan gamma spectrometer selama 259200 detik (Suseno, 2013)



Gambar 1. Lokasi penelitian

**Analisis Butir Sedimen**

Analisis ukuran butir sedimen dilakukan untuk mengetahui jenis sedimen di setiap titik stasiun sampling. Pada analisis ukuran butir menggunakan metode Eleftheriou dan McIntyre (2005). Analisis dilakukan di Labotarium Geologi FPIK UNDIP dengan 2 tahapan yaitu pengayakan dan pemipetan.

Pada proses pengayakan sedimen ditimbang terlebih dahulu sebanyak 200gr kemudian dilakukan pemisahan sedimen sesuai ukuran butir menggunakan sieve shaker dengan amplitudo 60 dalam waktu 10 menit. Setelah proses pengayakan didapatkan nilai ukuran butir sedimen pada setiap lapisan mesh (0,5mm, 0,3 mm, 0,125 mm dan 0,0625 mm). Sedimen yang berukuran sangat halus yaitu <0,064 tidak dapat diukur melalui sieveshaker sehingga harus dilakukan pemipetan. Pemipetan dilakukan dengan cara sedimen yang berada di mesh terdasar yaitu dengan ukuran butir 0,0625 dilarutkan dengan aquades sebanyak 1 Liter. Larutan sedimen tersebut diaduk sampai homogen selanjutnya dilakukan pemipetan dengan memperhatikan waktu dan jarak tenggelam

Tabel 1. 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

Pengukuran Karbon Organik Total (KOT) dilakukan di labotarium Radioekologi PTKMR-BATAN dan terdiri dari 2 tahapan. Tahapan pertama yaitu analisis karbon total dengan metode LOI (*Lost On Ignition*) yang merujuk pada metode Allen *et al* (1976) dalam Hart (1989) dengan cara menaruh sampel pada *ceramic credible* sebanyak 10 gr pada setiap stasiun dan dimasukkan kedalam *furnace* selama 6 jam dengan suhu 550°C. Setelah didiamkan selama 24 jam sampel yang telah dingin kemudian ditimbang berat akhirnya dan dihitung nilai %TC. Tahapan kedua yaitu analisis *organic carbon* menggunakan metode destruksi Nelson dan Sommer (1996) (Schumacher, 2002). Sebanyak 10 gr sampel sedimen ditimbang kemudian direndam menggunakan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 50% sampai larutan berhenti bereaksi.

juga garis pantai yang dibutuhkan. Hasil data digitasi inilah yang kemudian akan dibaca dalam software MIKE 21 sebagai inputan dalam model matematis.

Pertama dilakukan pembangunan mesh atau kajian wilayah model menggunakan *DHI MIKE Zero Mesh Generator*. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai pasut pada domain model menggunakan salah satu bagian dari toolbox MIKE 21 yaitu *Tidal Prediction of Height* dan pemrosesan model arus menggunakan modul *Flow Model FM (Flexible Mesh)*. Hasil dari model arus selanjutnya diproyeksikan kedalam peta menggunakan software ArcGIS 10.0.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kondisi perairan yang dilakukan secara

Tabel 2. Kondisi Lokasi Perairan

Stasiun	Kualitas Perairan			Arus	
	pH	Suhu (°C)	Salinitas (‰)	Kecepatan (m/s)	Arah (o)
1	8,46	30,1	29,2	0,046	65
2	8,44	30,14	29,7	0,05	48
3	8,39	30,5	29,6	0,06	150
4	8,44	30,4	29,6	0,124	92
5	8,28	30	29,7	0,104	170
6	8,36	29,4	29,9	0,08	140
7	8,35	29,5	29,7	0,09	175

Setelah reaksi selesai dibilas dengan aquades dan dibungkus menggunakan *aluminium voil* untuk selanjutnya dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C. Sampel yang telah kering ditimbang berat akhirnya dan dihitung nilai %TOC. Setelah didapatkan nilai %TC dan %TOC maka nilai %TIC dapat diketahui dengan cara:

$$\%TC = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

$$\%TOC = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

$$\%TIC = \%TC - \%TOC \dots\dots\dots(3)$$

W<sub>o</sub> : berat sedimen sebelum dipanaskan 550 °C

W<sub>t</sub> : berat sedimen setelah dipanaskan 550 °C

### Analisis Model Oseanografi

Analisis data arus di perairan pulau Pari dilakukan dengan menggunakan *software* SMS 10,0, MIKE 21 dan ArcGIS 10,0, Peta bathimetri yang diperoleh dari DISHIDROS, diproyeksikan pada posisinya sesuai koordinat lintang dan bujurnya dengan menggunakan bantuan *software* ArcGIS 10,0, Hasil dari proyeksi tersebut kemudian akan dimasukkan ke dalam *software* SMS 10,0 untuk kemudian dilakukan pendigitasian data bathimetri dan

insitu di lokasi penelitian terdiri dari pH, suhu, salinitas dan arus. Tabel 3. Arus pulau Pari pada bulan Maret dominan ke Barat Laut dan Tenggara sedangkan pada bulan Mei arah arus dominan bergerak ke Barat Daya dan Timur Laut. Hal ini karena adanya pengaruh dari angin musim yang menyebabkan arah serta kecepatan berbeda. Angin musim sangat mempengaruhi arus musim di perairan Laut Cina Selatan, Laut Jawa, Laut Flores sampai Laut Banda sehingga pola arus mengalami perubahan total dua kali setahun sesuai dengan perkembangan musim (Nontji., 2007)

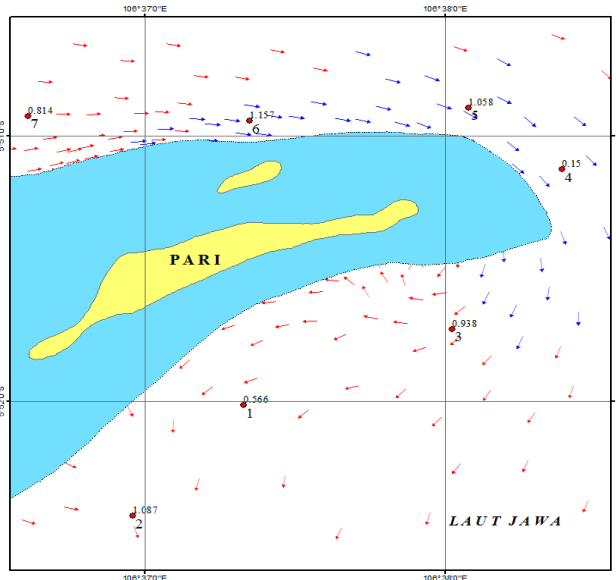
Pada bulan Maret arah arus masih dipengaruhi oleh hembusan angin barat tetapi kecepatan dan kemantapannya berkurang berbeda dengan bulan Desember-Februari yang memiliki kecepatan angin yang kuat dan curah hujan yang tinggi (Nontji., 2007). Hal ini menyebabkan nilai dari kecepatan arus yang cenderung rendah.

Nilai konsentrasi <sup>137</sup>Cs di air dan sedimen berturut-turut adalah 0,15-1,16 dan 0,26-0,65 Bq/kg. Rata-rata nilai <sup>137</sup>Cs di Pulau Pari sebesar 0,805 mBq/l nilai ini lebih tinggi apabila dibandingkan dengan aktivitas <sup>137</sup>Cs di Selat Karimata yang dilakukan oleh Theodora (2016) pada tahun 2015 yaitu sebesar 0,623 mBq/l dan juga lebih rendah dibandingkan nilai aktivitas <sup>137</sup>Cs di Perairan Anyer oleh Pikatan (2016) yang dilakukan pada tahun

2015 yaitu sebesar 0,9725 mBq/l. Rendahnya nilai <sup>137</sup>Cs pada Selat Karimata dibandingkan dengan Pulau Pari, karena pada saat penelitian dilakukan pada bulan Juli-Agustus yaitu pada musim timur massa air bergerak dari Laut Jawa ke Laut Cina Selatan, sedangkan di Laut Jawa tidak ada sumber dari <sup>137</sup>Cs yang menyebabkan aktivitas <sup>137</sup>Cs di Selat Karimata hanya dari proses pelepasan oleh sedimen dan global fallout. Nilai aktivitas <sup>137</sup>Cs lebih tinggi di Perairan Anyer dibandingkan dengan Pulau Pari, karena lokasi Perairan Anyer berdekatan dengan Selat Sunda dan Samudera Hindia, sehingga adanya masukan air dari Samudera Hindia ke Laut Jawa melalui Selat Sunda pada musim timur. Terdapat <sup>137</sup>Cs di Samudera Hindia berasal dari Samudera Pasifik yang terbawa oleh ARLINDO yang meninggalkan Indonesia melalui Selat Lombok ke Samudera Hindia. Di Samudera Hindia arus dibelokkan ke arah Selatan Jawa oleh Arus Katulistiwa Selatan (AKS) (Nontji., 2007).

Tabel 3. Presentase Kandungan Total Karbon, Total Organik Karbon dan Total Inorganik Karbon

Stasiun	Total Karbon (%)	Total Organik Karbon (%)	Total Inorganik Karbon (%)
1	9,73	1,33	8,4
2	11,76	1,85	9,91
3	5,45	0,87	4,58
4	9,9	2,44	7,46
5	7,39	1,45	5,94
6	10,04	1,24	8,8
7	10,46	1,7	8,66



Gambar 3. Pola Arus Pulau Pari

Hubungan radioaktivitas <sup>137</sup>Cs di air dan sedimen disajikan pada Tabel 4, Nilai Konstanta distribusi (Kd) digunakan untuk mengetahui keseimbangan antara aktivitas <sup>137</sup>Cs pada air dan sedimen. Nilai terendah berada pada stasiun 3 yaitu 2,76 x 10<sup>3</sup> dan nilai tertinggi berada pada stasiun 4 sebesar 4x10<sup>3</sup>. Nilai Kd rekomendasi dari IAEA (2004) sebesar 4x10<sup>3</sup>. Keseimbangan antara penyerapan dan pelepasan <sup>137</sup>Cs di

air dan sedimen dapat diketahui dengan nilai Konstanta Distribusi (Kd) (IAEA, 2004). Semakin tinggi nilai Kd maka semakin besar penyerapan unsur <sup>137</sup>Cs dari fase terlarut di perairan ke dalam permukaan sedimen dasar (IAEA, 2004).

Nilai Kd pada perairan Pulau Pari berkisar antara 2,76 x 10<sup>3</sup> hingga 4 x 10<sup>3</sup> dengan nilai terendah pada stasiun 3 dan nilai terbesar pada stasiun 4. Nilai Kd yang direkomendasikan oleh IAEA (2004) sebesar 4 x 10<sup>3</sup>. Pada hasil didapatkan hampir semua stasiun memiliki nilai dibawah nilai Kd namun hanya pada stasiun 4 yang memiliki nilai batas rekomendasi. Tingginya nilai Kd pada stasiun 4 disebabkan nilai aktivitas <sup>137</sup>Cs di air yang terlalu rendah dibandingkan stasiun lainnya. Secara keseluruhan perairan Pulau Pari masih dikategorikan dalam kondisi terkontrol karena nilai Kd masih berada pada batas nilai rekomendasi.

Hubungan radioaktivitas <sup>137</sup>Cs di sedimen terhadap presentase karbon total, karbon organik total, dan karbon anorganik total berturut-turut memiliki nilai regresi sebesar 0,645, 0,539 dan 0,516. Terdapatnya hubungan yang kuat antara <sup>137</sup>Cs dengan kandungan karbon apabila nilai regresi yang mendekati 1 (R <= 1). Namun pada perairan Pulau Pari nilai regresi yang didapatkan masih jauh dari nilai 1, sehingga dapat dikatakan bahwa tidak adanya hubungan yang signifikan antara aktivitas <sup>137</sup>Cs dengan kandungan karbon.

Faktor yang menyebabkan rendahnya hubungan antara <sup>137</sup>Cs karena jenis sedimen mempengaruhi kandungan karbon organik total yaitu semakin kasar jenis sedimen maka karbon organik total semakin sedikit dan semakin sedikitnya nilai kandungan karbon mempengaruhi nilai aktivitas <sup>137</sup>Cs pada sedimen (Kim dkk, 2007)

**KESIMPULAN**

Aktivitas <sup>137</sup>Cs di perairan Pulau Pari berkisar 0,15-1,16 mBq/l, sedangkan di sedimen berkisar 0,26- 0,65 Bq/kg. Pola sebaran radioaktivitas <sup>137</sup>Cs di perairan Pulau Pari cenderung lebih besar pada bagian Utara hal ini disebabkan karena rendahnya kecepatan arus dan sedikitnya pencampuran air dari Teluk Jakarta dan Laut Jawa. Kurang adanya hubungan signifikan antara karbon organik total dengan aktivitas <sup>137</sup>Cs di sedimen dasar perairan Pulau Pari. Hal ini dipengaruhi karena jenis sedimen dasar yang dominan berukuran kasar yaitu pasir.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penelitian ini dibiayai oleh Dana penelitian DIPA PTKMR-BATAN Tahun Anggaran 2016. Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Dr. Heny Suseno selaku dosen pembimbing telah banyak membantu dalam proses penelitian dan penulisan

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Sachoemar, I.Suhendar. 2008. Evaluasi Kondisi Lingkungan Perairan Kepulauan Seribu. BPPT, Jakarta (4): 20-25.
2. ATSDR. 2004. Toxicological Profile For Cesium. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

3. Jha, S. K., Gothankar, S. S., Sartandel, S., Pote, M. B., Hemalatha, P., Rajan, M. P., Vidyasagar, D., Indumati, S. P., R. Shrivastava and V. D. Puranik. 2012. Spatial Distribution of Fallout  $^{137}\text{Cs}$  in the Coastal Marine Environment of India. *J. Environ. Radioact* (113): 71-76.
4. Bois, P.B.D., P. Laguionie, D. Boust, I. Korsakissok, D. Didier and B. Fiévet. 2011. Estimation of Marine Source-Term Following Fukushima Dai-Ichi Accident. *J. Environ. Radioact* (30):1-8.
5. Inoue, M., Yoshida, K., Minakawa, M., Kofuji, H., Nagao, S., Y. Hamajima and M. Yamamoto. 2012. Vertical Distributions of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , and  $^{137}\text{Cs}$  Activities in the Southwestern Part of the Sea of Okhotsk. *EPJ Web of Conferences*, 6p.
6. Suseno, H and W.R. Prihatiningsih. 2014. Monitoring  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{134}\text{Cs}$  at Marine Coasts in Indonesia between 2011 and 2013. *Marine Pollution Bulletin* (88): 319–324.
7. Nontji. A. 2007. *Laut Nusantara*. Penerbit Djambatan, Jakarta.
8. Hutabarat, S dan S. Evans. 2006. *Pengantar Oseanografi*. UI-Press, Jakarta.
9. Suseno, H. 2013. Korelasi Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  terhadap Mineral Lempung dalam Sedimen Perairan Semenanjung Muria Jepara. *J. Tek. Peng. Limbah* 16(2):31-36.
10. Schumacher, B.A. 2002. Method for The Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soil and Sediment. United States Environmental Protection Agency. Environmental Sciences Division National, 23 p.
11. IAEA. 2004. Worldwide Marine Radioactivity Studies (WOMARS) Radionuclide Levels in Oceans and Seas. Final Report of a Coordinated Research Project, 87 p.
- There, D. 2000. AgNOR staining and quantification. *Micron* (31) : 127-131.
12. Kim, Y., K. Kim, H.D. Kan, W. Kim, S.H. Doh, D.S. Kim and B.K. Kim. 2007. The Accumulation of Radiocesium in Coarse Marine Sedimen: Effects of Mineralogy and Organic Matter. *Marine Pollution Bulletin* (54) :1341–1350.