

STUDI RADIOEKOLOGI KELAUTAN DI PESISIR PANTAI SELATAN YOGYAKARTA: MONITORING ^{137}Cs UNTUK KEPERLUAN BASELINE DATA DAN UNTUK MENGANTISIPASI KEMUNGKINAN DAMPAK KECELAKAAN NUKLIR DI FUKUSHIMA

Heny Suseno

Bidang Radioekologi Kelautan - Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang 15310 Tangerang Selatan,
email:henis@batan.go.id

ABSTRAK

STUDI RADIOEKOLOGI KELAUTAN DI PESISIR PANTAI SELATAN YOGYAKARTA: MONITORING ^{137}Cs UNTUK KEPERLUAN BASELINE DATA DAN UNTUK MENGANTISIPASI KEMUNGKINAN DAMPAK KECELAKAAN NUKLIR DI FUKUSHIMA. Rencana pembangunan PLTN di Pulau Bangka membutuhkan data dasar sebagai pembanding baik dalam operasi normal maupun dalam kondisi darurat. Pesisir pantai selatan Yogyakarta dapat dijadikan stasion pemantauan lingkungan dalam wilayah UPZ jika kondisi kedalurahan terjadi pada saat operasional PLTN. Pemantauan lingkungan dilakukan di 4 stasion pesisir pantai selatan Yogyakarta. Hasil pemantauan lingkungan diperoleh data dasar konsentrasi ^{137}Cs dalam air laut dan sedimen di pesisir pantai selatan Yogyakarta masing-masing dibawah limit deteksi – 0,062 mBq.l⁻¹ dan 0,63 – 0,84 Bq.kg⁻¹. Data dasar ini cukup dapat diperbandingkan dengan data konsentrasi ^{137}Cs baik di wilayah perairan Indonesia lainnya maupun data ASPAMARD. Hasil perbandingan dengan data ASPAMARD menunjukkan perairan pesisir selatan Yogyakarta yang merepresentasikan perairan laut Indonesia tidak terkena dampak kecelakaan nuklir di Fukushima. Disisi lain profil konsentrasi ^{137}Cs dalam kolom sedimen tidak mengindikasikan presipitasi ^{137}Cs yang berasal dari kecelakaan di Fukushima

Kata kunci: Radioekologi kelautan, Data dasar, ^{137}Cs , ASPAMARD, Fukushima

ABSTRACT

MARINE RADIOECOLOGICAL STUDY IN COASTAL BEACH OF SOUTH YOGYAKARTA : ^{137}Cs MONITORING FOR BASELINE DATA TO ANTICIPATE AND POSSIBLE IMPACT OF FUKUSHIMA NUCLEAR ACCIDENT. Planing for NPP contraction and operation in Bangka Island need a baseline data for comparison both in normal operation and in emergency condition. South coast of Yogyakarta can be used for UPZ station of environmental monitoring for NPP both normal operation or emergency condition. The marine monitoring have been conducted at 4 station around south coast of Yogyakarta. The result of marine monitoring have found the baseline data of ^{137}Cs concentration in seawater and sediments in the south coast of Yogyakarta were below the detection limit to 0.062 mBq.l⁻¹ and 0.63 to 0.84 Bq.kg⁻¹ respectively. The baseline data is quite comparable with the ^{137}Cs concentration data well in the other region Indonesian marine waters and data from ASPAMARD. The comparison with the ASPAMARD data was shown that south coast of Yogyakarta which represent Indonesian marine waters not affected by the nuclear accident in Fukushima. On the other hand, concentration profiles of ^{137}Cs in the marine sediment column indicate no precipitation ^{137}Cs originating from the accident in Fukushima

Keywords: *marine radioecology, baseline data, ^{137}Cs , ASPAMARD, Fukushima*

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir sangat dinamis dipengaruhi oleh kegiatan manusia di daratan diantaranya eksploitasi sumber daya alam seperti kegiatan pembangkitan tenaga listrik menimbulkan dampak masuknya berbagai jenis material dan kontaminan termasuk radionuklida antropogenik^[1]. Data

dasar radionuklida antropogenik di lingkungan pesisir Indonesia masih sangat terbatas. Data ini dibutuhkan sebagai pembandingan pada saat PLTN beroperasi di Indonesia. Hal ini Operasional fasilitas nuklir memungkinkan lepasnya radionuklida seperti ^{241}Am , ^{57}Co , ^{137}Cs atau ^{57}Mn ke lingkungan dan masuk ke dalam jejaring makanan^[2]. Lingkungan akuatik merupakan jalur paparan utama zat-zat radioaktif yang terlepas dari fasilitas nuklir, oleh karena itu investigasi lengkap harus dilakukan^[3]. Radionuklida ^{137}Cs ($t_{1/2}$ 30,17 tahun) merupakan salah satu produk aktivasi neutron yang berasal dari operasi reaktor nuklir dan terakumulasi dalam biota laut^[4]. International Atomic Energy Agency (IAEA) mensyaratkan data dasar (*baseline*) dan model bioakumulasi ^{60}Co dan ^{137}Cs dalam menentukan calon lokasi PLTN^[5-7].

Beberapa penelitian sebelumnya terkait dengan pemantauan ^{137}Cs di lingkungan laut pesisir Pulau Bangka yang merupakan calon lokasi PLTN telah dilakukan^[8-13]. Diperoleh data konsentrasi ^{137}Cs yang meliputi wilayah Bangka Barat dan Selatan. Data tersebut dapat dijadikan pembandingan pada saat kondisi kedaruratan jika PLTN beroperasi. Pada kondisi tersebut dilakukan pemantauan lingkungan yang meliputi wilayah PAZ (*Precautionary Action Zone*) dan UPZ (*Urgent Protective Action Planning Zone*) berturut-turut radius 3-5 km dan 10-25 km dari PLTN^[14]. Disisi lain dibutuhkan data untuk wilayah LPZ (*Longer Term Protective Action Planning Zone*) (LPZ) radius 50-100 km masih sangat terbatas. Pemantauan ^{137}Cs tidak hanya bertujuan untuk memperoleh data dasar bagi keperluan operasional PLTN di Indonesia tetapi disinergikan dengan keperluan mengkaji kemungkinan dampak kecelakaan nuklir di Fukushima terhadap perairan laut Indonesia. Disisi lain diperlukan data dasar sebagai antisipasi kemungkinan dampak dari rencana pembangunan dan operasional PLTN di beberapa negara ASEAN (misalnya Malaysia dan Vietnam).

Pantai selatan Yogyakarta berbatasan langsung dengan Hamudera Hindia dan mempunyai gelombang laut yang tinggi dan besar, bermuara lima sungai, yaitu: Kali Bogowoto, Kali Serang, Kali Progo, Kali Opak dan Sungai Baron^[15]. Aliran air laut yang masuk ke perairan Pantai Selatan Yogyakarta berasal dari *Indonesian Throughflow* (ITF) dimana arus laut dari Samudera Pasifik masuk ke Samudera Indonesia melalui Selat Makasar. Di sisi massa air laut ini juga berasal dari perairan laut Bangka (Selat Karimata) dimana dibuktikan oleh *Global Drifter Program* dari Agustus 1988 sampai dengan Juni 2007 terindikasi Selat Karimata (Bangka) merupakan saluran penting lainnya untuk ITF dari laut cina selatan ke perairan laut Indonesia^[16]. Arus laut dari Selat Karimata memasuki perairan Samudera Hindia. Berdasarkan hal tersebut Pantai Selatan Yogyakarta dapat dijadikan satu stasiun pemantauan untuk keperluan data dasar sebelum operasional PLTN.

METODOLOGI

Pengambilan sampel

Sampel diambil dari lokasi Pantai Parang Teritis sampai dengan Pantai Sunda DIY Yogyakarta tanggal 7 – 9 Oktober 2013. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1. Sampel air laut yang diambil disetiap stasiun sebanyak 120 liter dan dilakukan preparasi insitu/prekonsentrasi berdasarkan koagulasi. Sebanyak 1- 1,5 Kg sampel sedimen diambil menggunakan *sample grab* dan langsung dimasukkan ke dalam kantong PVC untuk dibawa ke laboratorium. Pada lokasi 110°; 42,14 BT 8°;00', 51,56 LS pengambilan sample sedimen dilakukan dari kedalaman 0 – 10 cm sampai dengan 25 cm untuk mengetahui profile konsentrasi ^{137}Cs di dalam sedimen.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel

Preparasi sampel

Sampel sedimen dikeringkan di dalam oven pada suhu 90 - 100°C selama 2 hari hingga kering. Sampel dihaluskan menggunakan *crusser* sampai dengan berukuran 5 mikron ditempatkan dalam *malinary* siap dianalisis.

Prekonsentrasi sampel air menggunakan metoda AMP. Sebanyak 120 L sampel air permukaan laut diasamkan menggunakan 4 M HCl hingga pH 1. Sebanyak 30 mg *carrier* Cs ditambahkan pada sampel tersebut dan diaduk selama 1-2 jam. Ditambahkan sebanyak 26 g amonium fosfo molibdat (AMP) dan diaduk selama 30 menit untuk mengabsorpsi ^{137}Cs dari air laut. Setelah proses pengadukan, campuran dibiarkan selama satu malam untuk proses pengendapan. Endapan yang diperoleh disaring, dikeringkan dan ditempatkan dalam wadah *malinary* siap dianalisis.

Analisis sampel

Sampel dalam *malinary* dicacah dan dianalisis kandungan ^{137}Cs dan ^{134}Cs menggunakan *gamma spectrometer* berdetektor HPGe tipe Canberra GX2018. Pencacahan dilakukan selama 2 - 4 hari per sampel. Kalibrasi energi dan efisiensi menggunakan standard ^{152}Eu buatan Isotope product. Standar tersebut bergeometri sama dengan sampel. Kalibrasi resolusi dilakukan menggunakan ^{60}Co , hasil yang diperoleh sebesar 2,0 keV per *channel*.

PEMBAHASAN

Kandungan ^{137}Cs dalam air permukaan laut dan sedimen di wilayah pesisir pantai selatan Yogyakarta ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan ^{137}Cs dalam air dan sedimen laut di pantai selatan Yogyakarta

Lokasi	Kandungan ^{137}Cs (Bq.kg ⁻¹)	
	Air laut (mBq.l ⁻¹)	Sedimen (Bq.kg ⁻¹)
110° 17' 34,1" BT 8°0'49,4" LS	0,062 ±0,004	0,84± 0,05
110° 15' 56,1" BT 8°0'14" LS	0,049 ±0,003	0,63±0,03
110° 36' 44,1" BT 8°8'1,22" LS	0,022 ±0,004	1,05±0,09
110° 17' 34,1" BT 8°9'1,22" LS	Di bawah limit deteksi	0,78±0,06

Mengacu pada Tabel 1, konsentrasi ^{137}Cs dalam air permukaan laut dan sedimen di pantai Selatan Yogyakarta masing-masing berkisar dibawah limit deteksi - 0,062 mBq.l⁻¹ dan 0,63 - 0,84 Bq.kg⁻¹. Data dasar tersebut cukup dapat dibandingkan (*comparable*) dengan di beberapa wilayah pesisir Indonesia. Data dasar ^{137}Cs dalam sedimen dan air permukaan laut di beberapa wilayah Indonesia tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan ^{137}Cs dalam air dan sedimen laut di beberapa wilayah pesisir Indonesia

Lokasi	Kandungan ^{137}Cs		Acuan
	Air laut (mBq.l ⁻¹)	Sedimen (Bq.kg ⁻¹)	
Pesisir pantai Padang	< LD - 0,10	0,26 - 0,35	11
Bangka Belitung	<LD - 1,01	<LD - 2,00	10, 11,12
Semarang	0,02 - 0,090	0,65 - 1,10	18
Madura	<LD-0,08	0,66 - 1,75	18
Parepare	0,13 - 0,21	0,13 - 0,81	11
Manado	<LD-0,23	< LD	18

Data dasar ^{137}Cs di perairan Pantai Selatan Yogyakarta *comparable* dengan data dasar ASPAMARD (*Asia Pasific Marine Radioactive Data Base*). Data dasar ASPAMARD meliputi wilayah 50° lintang utara sampai dengan 60° lintang selatan dan 60° sampai 180° Bujur Timur yang dikumpulkan dari tahun 1975 sampai dengan tahun 2001 sebelum kecelakaan nuklir di Fukushima^[19]. Berdasarkan data ASPAMARD, distribusi radionuklida di perairan lautan pasifik dan laut-laut marjinalnya, maka lautan Pasifik dibagi menjadi 14 sabuk lintang (kotak) yang berbasis pada sistem arus laut^[20]. Indonesia terletak diantara 6° Lintang Utara - 11° Lintang Selatan dan

95° -141 Bujur Timur. Menurut pembagian sabuk lintang posisi Indonesia berada pada kotak 6 dan 15. Kotak 6 (5° Lintang Utara – 5° Lintang Selatan) yang merupakan wilayah *downstream* aliran utara ekuatorial. Kotak 15 meliputi wilayah-wilayah yang dipengaruhi oleh *monsoons* dimana aliran arus bergantung pada musim (*seasonal current flow*).

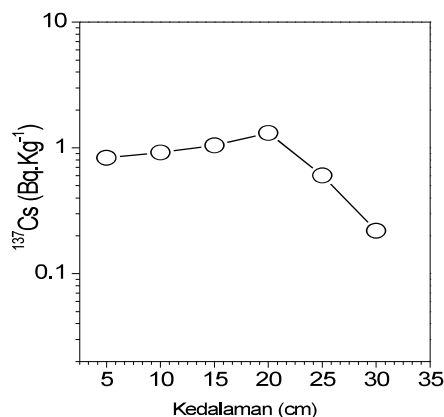
Konsentrasi rerata konsentrasi ^{137}Cs dalam air permukaan di wilayah kotak 6 dan 15 berturut-turut $2,7 \pm 0,1$ dan $1,6 \pm 2,3$ mBq.l⁻¹ [20]. Setelah mengalami koreksi peluruhan bulan Oktober 2013 maka berdasarkan data ASPAMARD, perkiraan konsentrasi ^{137}Cs di wilayah perairan Indonesia berkisar 1,17 – 1,97 Bq.l⁻¹. Mengacu pada hasil pemantauan ^{137}Cs di perairan laut Indonesia (termasuk Pantai Selatan Yogyakarta), menunjukkan hasil pengukuran ^{137}Cs lebih kecil dibandingkan perkiraan data ASPAMARD. Perbedaan ini disebabkan oleh perhitungan konsentrasi ^{137}Cs berbasis pada pengukuran temporal dengan asumsi distribusinya dianggap seragam [20]. Di sisi lain perairan laut merupakan lingkungan dinamis yang dipengaruhi berbagai macam parameter oceanografi. Hasil perkiraan ASPAMARD dan analisis menunjukkan ^{137}Cs berasal dari *global fall out* dan tidak terindikasi peningkatan konsentrasi akibat kecelakaan di Fukushima.

Dugaan kemungkinan dampak kecelakaan nuklir di Fukushima terhadap perairan laut Indonesia sangat beralasan. Hal ini disebabkan karena massa air laut Samudera Pasifik masuk ke Samudera Indonesia. Fukushima Dai-ichi terletak di pantai timur pulau Honshu, pantai berjalan menghadap ke Samudera Pasifik. Periode jangka pendek efek pasang dominan yang menggerakkan massa air dalam gerakan bolak-balik, utara dan selatan di sepanjang pantai [21]. Angin mempengaruhi sirkulasi air permukaan. Sirkulasi skala besar umumnya merupakan hasil dari interaksi antara arus laut yang kuat Kuroshio yang berasal dari selatan dan berjalan di sepanjang pantai Jepang, dan Oyashio saat ini yang berasal dari utara [21]. Pesisir perairan di sekitar Fukushima Dai-ichi yang terletak di zona di mana kedua arus berinteraksi dan menentukan dispersi jangka menengah dari pencemaran radioaktif. Migrasi jangka panjang dari air permukaan bisa selatan tetapi tidak akan melampaui lintang Tokyo. Arus Kuroshio akan bertindak sebagai perbatasan dan membawa kontaminan menuju pusat lautan Pasifik [21]. Radionuklida yang mempunyai waktu paro pendek akan meluruh dan terdeteksi hingga beberapa bulan, disisi lain radionuklida seperti ^{106}Ru dan ^{134}Cs akan bertahan di lingkungan laut untuk beberapa tahun dan akhirnya akan hilang oleh peluruhan radioaktif. Keberadaan ^{137}Cs dipermukaan perairan Samudera Pasifik bervariasi antara 11 dan 30 tahun [21]. Kecelakaan nuklir di Fukushima merupakan inputan baru radionuklida antropogenik ke wilayah Asia Pasifik. Lepasannya dari Fukushima selanjutnya terbawa oleh massa air ke jarak yang sangat jauh mengikuti pola arus laut global. Air tidak mengenal batasan wilayah sehingga kontaminan termasuk zat radioaktif dapat ditransportasikan dari satu wilayah ke wilayah lainnya. Waktu transit antara Utara-Pasifik Barat dan zona khatulistiwa diperkirakan selama 10 sampai 15 tahun [20]. Bagian dari arus Pasifik Utara Samudera perairan menuju Samudera Hindia melalui laut Indonesia dan kemudian dibawa ke arah selatan dari Samudra Atlantik. Transfer ini diperkirakan sekitar 30 sampai 40 tahun [21]. Sampai saat ini, para ilmuwan menganggap bahwa tidak ada pertukaran massa air laut antara Pasifik utara dan Pasifik selatan [21].

Profil konsentrasi ^{137}Cs dalam kolom sedimen dapat dijadikan kajian kemungkinan dampak kecelakaan nuklir di Fukushima. Profil konsentrasi ^{137}Cs di dalam kolom sedimen ditunjukkan pada Gambar 2.

Kronologi masuknya kontaminan (termasuk ^{137}Cs) tergantung dari deposisinya di dalam kolom sedimen [22]. Berdasarkan hal tersebut kecepatan sedimentasi merepresentasikan profile radioisotop dalam kolom sedimen. Walaupun demikian proses pencampuran fisik dan biologi dalam kolom sedimen mempengaruhi profile radioisotop tersebut. Diperkirakan hanya 10% radionuklida ^{137}Cs yang masuk ke dalam lingkungan laut terakumulasi dalam sedimen pesisir, sisanya berada dalam kolom air, dimana distribusinya terutama dikendalikan oleh proses fisik seperti sirkulasi massa air dan fenomena difusi/ konveksi [23].

Mengacu pada Gambar 1, konsentrasi ^{137}Cs di lapisan paling atas sedimen lebih rendah dibanding lapisan dibawahnya (10 - 20 cm). Hal ini mengindikasikan tidak terjadi peningkatan konsentrasi ^{137}Cs dari kecelakaan nuklir di Fukushima. Pada lapisan 20 cm konsentrasi ^{137}Cs lebih tinggi dibandingkan lapisan lainnya. Lapisan tersebut diperkirakan berasal dari tahun 1963 dimana puncak *global fall out* akibat percobaan bom nuklir [24,25].



Gambar 2. Profile konsentrasi ^{137}Cs dalam sedimen pesisir pantai selatan Yogyakarta.

KESIMPULAN

Data dasar konsentrasi ^{137}Cs dalam air laut dan sedimen di pesisir pantai selatan Yogyakarta masing-masing di bawah limit deteksi – $0,062 \text{ mBq.l}^{-1}$ dan $0,63 - 0,84 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Data dasar ini cukup dapat diperbandingkan dengan data konsentrasi ^{137}Cs baik di wilayah perairan Indonesia lainnya maupun data ASPAMARD. Hasil perbandingan dengan data ASPAMARD menunjukkan perairan pesisir selatan Yogyakarta yang merepresentasikan perairan laut Indonesia tidak terkena dampak kecelakaan nuklir di Fukushima. Di sisi lain profil konsentrasi ^{137}Cs dalam kolom sedimen tidak mengindikasikan presipitasi ^{137}Cs yang berasal dari kecelakaan di Fukushima

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. COCHRAN J.K., MASQU, P. Natural Radionuclides Applied to Coastal Zone Processes.
- [2]. LACQUE-LABARTHE, T., WARNAU, M., OBERHÄNSLI, F., TEYSSIE, J-L., BUSTAMANTE, P. Contrasting Accumulation Biokinetics And Distribution of ^{241}Am , Co, Cs, Mn and Zn During The Whole Development Time Of The Eggs Of The Common Cuttlefish, *Sepia officinalis*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Vol 382 No.2 Hal. 131-138, 2010
- [3]. LEGGETT, R.W., ECKERMAN, K.F., MECK, R.A. Reliability of Current Biokinetic and Dosimetric Models for Radionuclides: A Pilot Study. OAK RIDGE ORNL/TM-2008/131, 2008
- [4]. WATABE, T., ISHII, T., HIRANO, S., YOKOSUKA, S., KUROSAWA. Application of the Marine Organisms as a "Biological Monitor" to Evaluation of The Background Levels of Radioactivity in The Coastal Environment. Laboratory for Marine Radioecology, National Institute of Radiological Sciences, Japan 2007
- [5]. IAEA, Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation For Nuclear Power Plants: Safety Guide No. NS-G-3.2. IAEA Vienna, 2002.
- [6]. IAEA. Radionuclide Levels In Oceans And Seas: Final Report of A Coordinated Research Project. IAEA-TECDOC-1429, IAEA Vienna, 2005
- [7]. IAEA. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety report series No. 19. IAEA Vienna, 2001
- [8]. SUSENO, H. Profil Konsentrasi ^{137}Cs Di Perairan Pesisir Indonesia Yang Ditetapkan Menggunakan Metoda Pemekatan Sampel Melalui *Cartridge Filter* Berlapis Tembaga Ferrosianat. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah, Volume 15 No.1 Hal 1-6 Jakarta 2012
- [9]. PRIHATININGSIH, W.R., SUSENO, H. Validasi Metoda Analisis ^{137}Cs Dalam Air Laut Kepulauan Bangka Belitung. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah, Volume 15 No.1 Hal 73-77 Jakarta 2012
- [10]. SUSENO, H. Profil Konsentrasi ^{137}Cs Dalam Sedimen Pesisir Pulau Bangka. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah, Volume 15 No.2 Hal 83-88. Jakarta 2012
- [11]. SUSENO, H. Hasil Pemantauan ^{137}Cs Di Lingkungan Laut Sebagai Antisipasi Dampak Dari Kecelakaan Nuklir Fukushima. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah, Volume 15. Edisi

- Supplement Hal 49-54 Jakarta 2012
- [12]. SUSENO, H., Studi ^{137}Cs Dalam Air Laut Disekitar Perairan Bangka Selatan Dan Sumatera Selatan, Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah, Volume 16, Edisi suplemen, Hal. 35-42, Jakarta 2013
 - [13]. SUSENO, H. Korelasi Konsentrasi ^{137}Cs Terhadap Mineral Lempung dalam Sedimen Perairan Semenanjung Muria Jepara. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah, Volume 16, No 2 Hal. 31-36, Jakarta 2013
 - [14]. IAEA, Method for The Development of Emergency Response Preparedness for Nuclear or Radiological Accident, Vienna 1997
 - [15]. DJOHAN, T.S. Prospek Pengembangan Mangrove di Pantai Selatan Yogyakarta, Workshop Regional Mangrove: Rehabilitasi Hutan Mangrove Melalui Pemberdayaan Masyarakat Dalam Rangka Otonomi Daerah, STIPER, Yogyakarta 28 September 2000
 - [16]. SUSANTO, R. D., FANG, F., AND SUPANGAT, A. Upper Layer Variability of Indonesian Throughflow. Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society. Venice, Italy, 21-25 September 2009
 - [17]. SCHUMACHER, B.A. Methods For The Determination Of Total Organic Carbon (TOC) In Soils And Sediments. NCEA-C-1282EMASC-00. Ecological Risk Assessment Support Center Office of Research and Development US. Environmental Protection Agency, 2002
 - [18]. SUSENO, H. Studi Radioekologi Kelautan Pada Calon Tapak PLTN di Bangka Belitung, Makalah Presentasi Peneliti Utama Bidang Kimia Lingkungan, PTLR BATAN, Jakarta 2012
 - [19]. DURAN, E.B., POVINEC, P.P., FOWLER, S.W., AIREY, P.L., HONG, G.H. ^{137}Cs and $^{239/240}\text{Pu}$ Levels in the Asia-Pacific Regional Seas. J. Environ. Rad. No.76 Hal. 139-160, 2004.
 - [20]. POVINEC, P.P, AARKROG, A., BUESSELER, K.O., DELFANTI, R., HIROSE, K., HONG, G.H., ITO, T., LIVINGSTON, H.D., NIES, H., NOSHKIN, V.E., SHIMA, S., TOGAWA, O. ^{90}Sr , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ concentration surface water time series in the Pacific and Indian Oceans WOMARS results. Journal of Environmental Radioactivity No.81 Hal 63-87. 2005
 - [21]. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE. Impact on marine environment of radioactive releases resulting from the Fukushima-Daiichi nuclear accident. IRSN, Paris. 4th April 2011
 - [22]. FULLER, C.C., VAN GEEN, A., BASKARAN, M., ANIMA, R. Sediment chronology in San Francisco Bay, California, defined by ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{137}Cs , and $^{239,240}\text{Pu}$. Marine Chemistry No. 64 Hal 7-27, 1999
 - [23]. IAEA. Worldwide Marine Radioactivity Studies (WOMARS) Radionuclide Levels in Oceans and Seas, IAEA-TECDOC-1429, IAEA, Vienna, 2005
 - [24]. BEGY, R., COSMA, C., HORVATH, Z. Sediment Accumulation Rate In The Red Lake (Romania) Determined By Pb-210 And Cs-137 Radioisotopes Rom. Journ. Phys., Vol. 54, No 1 Hal. 9943-949, Bucharest, 2009
 - [25]. Jeter, H.W. Determining the Ages of Recent Sediments Using Measurements of Trace Radioactivity Terra et aqua no 78, 2000, 21-28