

# DETERMINASI CESIUM-137 DARI AIR LAUT MENGGUNAKAN RESIN HEKSASIANOFERAT

Murdahayu Makmur dan Heru Umbara

<sup>\*)</sup>Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – Batan  
Kawasan Puspiptek Ged. 71 Lt.3 Serpong Tangerang Telp. 021-7563142, Fax. 021-7560927  
mdhyu@batan.go.id, murdahayu@yahoo.com, umbara@batan.go.id

## ABSTRACT

*Determination of cesium-137 in seawater was done using the hexacyanoferrate resin as ion exchanger from 3 point samplings of surface seawater. The hexacyanoferrate ion exchanger matrix was prepared by performing the reaction of silica gel supported with potassium hexacyanoferrate and copper (II) chloride. In order to test the performance of the ion exchanger, a batch experiment was performed. A known activity of cesium-137 was used to spike seawater then the hexacyanoferrate resin was added. The separated hexacyanoferrate resin was then counted with gamma spectrometer. The cesium-137 concentration used in the work varies between 0.5 Bq–20 Bq while the results of the adsorbing efficiency varies between 58–96%. In time variation between 0.5–20 minutes, the adsorbing efficiency varies between 77–96% with highest efficiency at contact time 60 minutes. The hexacyanoferrate ion exchange columns were used to process the Jepara's seawater. The calculated cesium-137 activities were 1.37 Bq/m<sup>3</sup>–2.76 Bq/m<sup>3</sup>.*

**Keywords:** Hexacyanoferrate ion exchanger, Cesium-137, Seawater, Gamma spectrometer

## PENDAHULUAN

Cesium-137 merupakan produk fisi dengan waktu paruh yang panjang, yang bisa lepas ke lingkungan dari tes bom nuklir, kecelakaan nuklir, dan dari pembuangan limbah nuklir. Sebagai salah satu unsur dalam grup alkali, cesium biasanya berada dan bermigrasi dalam bentuk mono valensi dalam lingkungan perairan. Konsentrasi cesium-137 di air laut sangat kecil ( $2.9 - 6.6 \times 10^{-9}$  M)<sup>1</sup> maka pemekatan nuklida ini dari sejumlah besar sampel sangat diperlukan.

Belakangan ini, banyak penukar ion diaplikasikan untuk pemekatan cesium-137 di dalam sampel cair. Penukar ion yang dikembangkan termasuk di dalamnya resin organik, ion penukar cair, dan ion penukar anorganik<sup>2</sup>. Walaupun resin organik sangat efektif dalam memisahkan cesium, tapi tidak mampu memisahkan cesium dari logam alkali lainnya yang keberadaannya di dalam air laut sangat banyak. Sementara itu, ion penukar anorganik mempunyai selektivitas yang tinggi terhadap

cesium dan stabil di dalam air laut, dan sering digunakan untuk pemekatan cesium dari air laut.

Penukar ion anorganik ada yang alami dan ada yang buatan. Yang alami seperti zeolit, mineral tanah liat dan yang buatan seperti hidro oksida, garam asam dari logam bervalensi banyak, garam heteropoliasid, heksasianoferat, dan aluminosilikat sintetik. Penukar ion alami lebih murah, tetapi sulit untuk mengontrol kualitas dan kemurniannya, walaupun cukup memadai untuk aplikasi skala industri, tetapi tidak cocok untuk digunakan dalam analisis kuantitatif di laboratorium. Penukar ion buatan yang sering digunakan untuk pemekatan cesium-137 antara lain amonium 12-molibdoposfat (AMP;  $[(NH_4)_3Mo_{12}O_{40}(xH_2O)]$ ), zeolit buatan, dan heksasianoferat<sup>3</sup>. Metode yang menggunakan ammonium molibdat untuk mengadsorpsi cesium-137 memerlukan prosedur preparasi yang panjang dan membutuhkan waktu yang lama untuk mengerjakannya. Di samping itu, prosedur tersebut harus dilakukan di laboratorium dan tidak bisa dilakukan di lapangan. Selain itu, karena AMP dalam bentuk

mikrokristalin, akan menghalangi laju alir sampel air laut melewati kolom penukar ion dan tidak cocok untuk sampel air laut yang banyak. Zeolit buatan tidak cocok untuk memisahkan cesium dari air laut karena tidak bisa memisahkan Na dan K. Dibandingkan dengan dua penukar ion buatan di atas, heksasianoferat mempunyai keunggulan lebih selektif terhadap *cesium* dan mudah dalam pemisahannya. Heksasianoferat dapat berupa campuran dari unsur transisi seperti Co, Ni, Cu dan Zn. Walaupun kesemua unsur tersebut cocok untuk pemisahan *cesium-137*, tetapi Cu-heksasianoferat mempunyai kestabilan yang paling tinggi di dalam air laut<sup>4</sup>, sehingga dalam penelitian ini akan digunakan Cu-heksasianoferat sebagai penukar ion untuk determinasi *cesium-137* pada air laut. Tujuan penelitian ini adalah determinasi *cesium-137* dari air laut menggunakan resin heksasianoferat.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Bahan

Bahan yang digunakan adalah air laut yang diambil dari Semenanjung Lemahabang Jepara pada koordinat 110°45'00" BT, 06°25'48,30" LS (kode sampel L-01), 110°47'00" BT, 06°23'06,48" LS (kode sampel L-03), 110°49'00" BT, 06°23'19,44" LS (kode sampel L-05). Bahan lainnya berdasarkan analisis yang dilakukan oleh Su<sup>[1]</sup> yang dimodifikasi.

### Metode

#### 1. Pembuatan matriks heksasianoferat

Pembuatan matriks heksasianoferat dilakukan dengan prosedur yang dilakukan oleh Su<sup>3</sup> di mana volume larutan yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Makmur<sup>4</sup> untuk mendapatkan kondisi optimal pembuatan matriks heksasianoferat ini. Silika gel sebanyak 100 gram dimasukkan ke dalam 250 ml larutan kalium heksasianoferat (II) trihidrat ( $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ ) 0,1M di dalam beker gelas. Pengadukan dilakukan selama 1 jam menggunakan pengaduk magnetik, kemudian dikeringkan diatas penangas. Setelah kering, campuran dimasukkan ke dalam larutan tembaga klorida ( $CuCl_2$ ) 0,2M sebanyak 250 ml dan dilakukan pengadukan selama 1 jam dengan pengaduk magnetik sehingga menghasilkan matriks heksasiano-

ferat. Matrik kemudian dicuci dengan air distilasi untuk menghilangkan sisa kalium heksasianoferat dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 80°C selama 24 jam untuk menghilangkan kelembapan.

#### 2. Pemekatan *cesium-137* dalam sampel air laut secara *batch*

##### a. Variasi konsentrasi *cesium* yang ditambahkan.

Percobaan ini berdasarkan prosedur yang telah dilakukan oleh Su<sup>3</sup> dengan modifikasi. Variasi aktivitas *cesium-137* yang digunakan adalah 0,5 Bq sampai dengan 20 Bq. Larutan sampel air laut disiapkan sebanyak 100 ml dalam beker gelas dan ditambahkan perunut *cesium-137* sehingga mempunyai aktivitas 0,5 Bq sampai dengan 20 Bq dan ditambahkan matriks heksasianoferat sebanyak 10 gram. Dilakukan pengadukan selama 60 menit dan kemudian matriks dipisahkan dari larutan. Resin diambil dan dikeringkan pada suhu 70° C di dalam oven, kemudian dicacah dengan menggunakan spektrometri gama pada energi 662 keV selama 6 jam.

##### b. Variasi waktu kontak

Percobaan ini berdasarkan prosedur yang telah dilakukan oleh Su,<sup>3</sup> dengan modifikasi. Aktivitas *cesium-137* yang digunakan adalah 0,5 Bq. Sampel air laut disiapkan sebanyak 100 ml dalam beker gelas dan ditambahkan perunut *cesium-137* sehingga mempunyai aktivitas sebesar 5 Bq. Kemudian dimasukkan matriks heksasianoferat sebanyak 10 gram. Pengadukan dilakukan dengan variasi waktu kontak 0,5 menit sampai 60 menit, dan matriks dipisahkan dari larutan. Resin diambil dan dikeringkan pada suhu 70°C di dalam oven, kemudian dicacah dengan menggunakan spektrometri gama pada energi 662 keV selama 6 jam.

#### 3. Determinasi *Cesium-137* dari Air Laut

##### a. Penyiapan Sampel

Sampel yang diambil merupakan air laut permukaan di Semenanjung Lemahabang Jepara yang ditempatkan pada jeriken dan dilakukan penyaringan dengan meng-

gunakan kertas saring berukuran pori 2,5  $\frac{1}{4}$  m untuk memisahkan padatan dari 6 liter larutan sampel.

- b. Determinasi *cesium-137* di dalam air laut  
Prosedur determinasi *cesium-137* berdasarkan prosedur yang telah dilakukan oleh  $Su^{[2]}$  di mana resin heksasianoferat dimasukkan ke dalam kolom yang sebelumnya di dasar kolom diletakkan *glass wool*. Sampel air laut kemudian dialirkan melewati kolom penukar ion dengan kecepatan 5ml/menit. Resin diambil, dimasukkan ke dalam botol plastik dan dikeringkan pada suhu 70°C di dalam oven, kemudian dicacah dengan menggunakan spektrometri gama pada enegi 662 keV selama 12 jam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Adsorpsi Cesium-137 dengan Variasi konsentrasi Cesium-137

Hasil adsorpsi *cesium-137* pada percobaan dengan variasi konsentrasi *cesium-137* dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 tampak bahwa matriks heksasianoferat mampu menyerap *cesium-137* yang berada di dalam air laut sampai 82% pada konsentrasi 1 Bq. Pada rentang konsentrasi 0,5 Bq–20 Bq didapatkan kemampuan matriks heksasianoferat bervariasi antara 58% (pada konsentrasi awal 10 Bq)

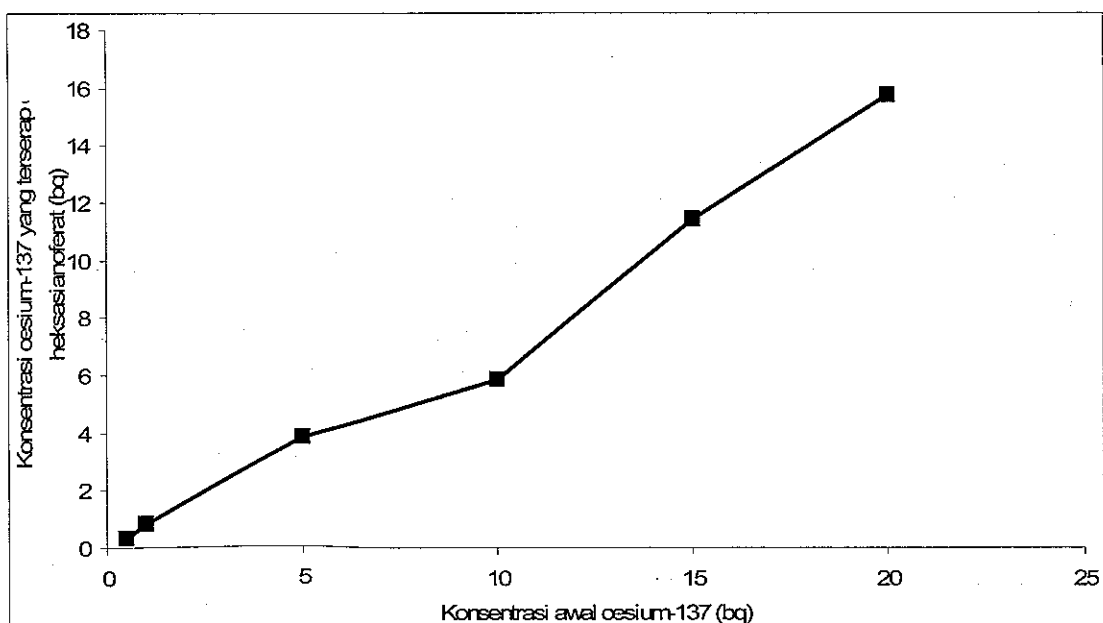
sampai 82% (pada konsentrasi 1 Bq). Tidak ada kecenderungan dalam penyerapan *cesium* dari air laut pada konsentrasi yang berbeda-beda. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa resin heksasianoferat dapat bekerja dengan baik pada rentang konsentrasi yang lebar (0,5 Bq–20 Bq).

$Su^3$  mendapatkan rentang kemampuan matriks heksasianoferat dalam menyerap cesium dari air laut berkisar antara 20–80 %. Hal ini dimungkinkan karena konsentrasi *cesium* pada air laut sangat kecil sehingga matriks heksasianoferat yang digunakan untuk menyerap *cesium* belum jenuh. Hal ini seperti terlihat pada Gambar 2, di mana untuk variasi konsentrasi tidak terdapat perbedaan yang nyata untuk persentase penyerapannya.

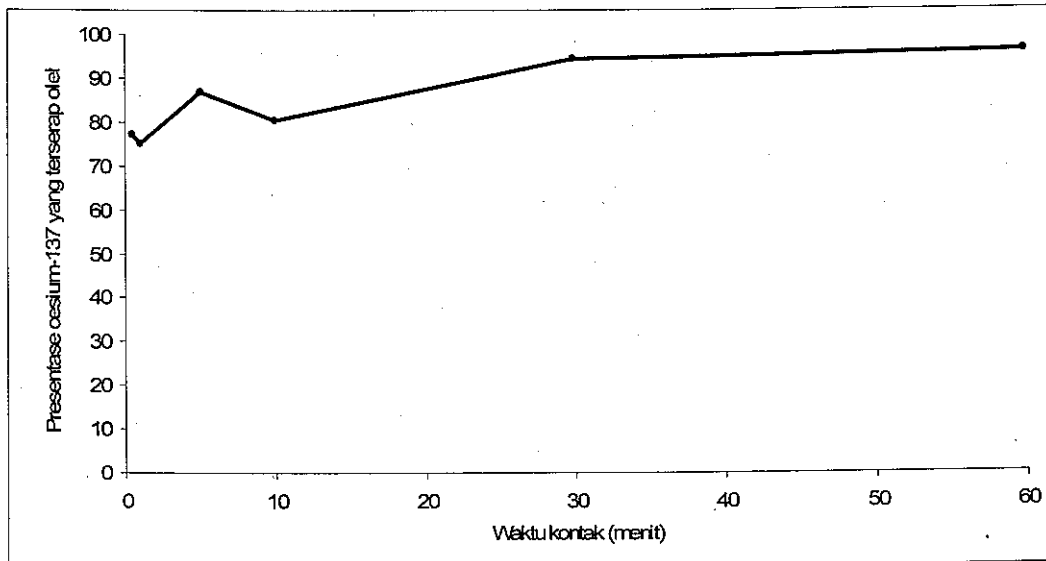
### Adsorpsi Cesium-137 dengan Variasi Waktu Kontak

Hasil penyerapan *cesium-137* oleh matriks heksasianoferat dengan variasi waktu kontak antara resin dan larutan sampel menunjukkan persentase penyerapan dalam rentang 77–96%. Hal ini memperlihatkan bahwa dalam waktu kontak kurang dari 1 menit, sudah mengikat *cesium* lebih dari separuhnya (Gambar 3).

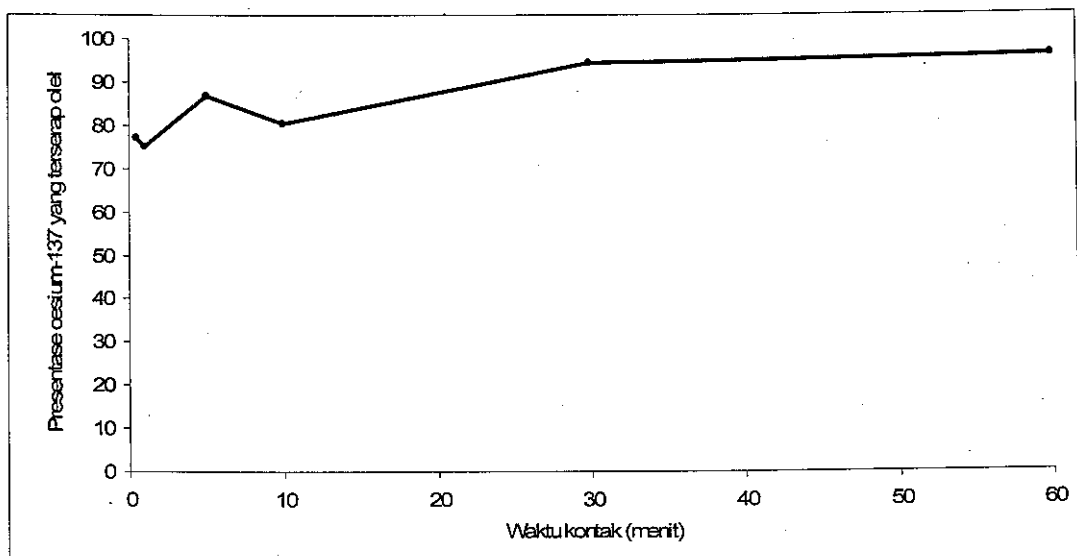
Dengan demikian, untuk volume sampel yang banyak metode ini dapat praktis digunakan, karena kemampuannya dalam mengikat *cesium* secara cepat. Hal ini diperlukan, karena konsentrasi *cesium-137* di air laut sangat kecil,



Gambar 1. Adsorpsi *cesium-137* oleh matriks heksasianoferat dengan variasi konsentrasi



Gambar 2. Presentase *cesium-137* yang terserap pada matriks heksasianoferrat



Gambar 3. Adsorpsi *cesium-137* oleh matriks heksasianoferrat dengan variasi waktu kontak

sehingga sejumlah besar volume sampel diperlukan dalam pendeteksian dengan spektrometri gama. Hasil penelitian Su<sup>3</sup>, didapatkan bahwa matriks ini dapat memisahkan *cesium* dari air yang ditambahkan perunut dalam waktu 2-3 menit dengan rasio konsentrasi awal per konsentrasi terserap sebesar 0,94 – 1,09.

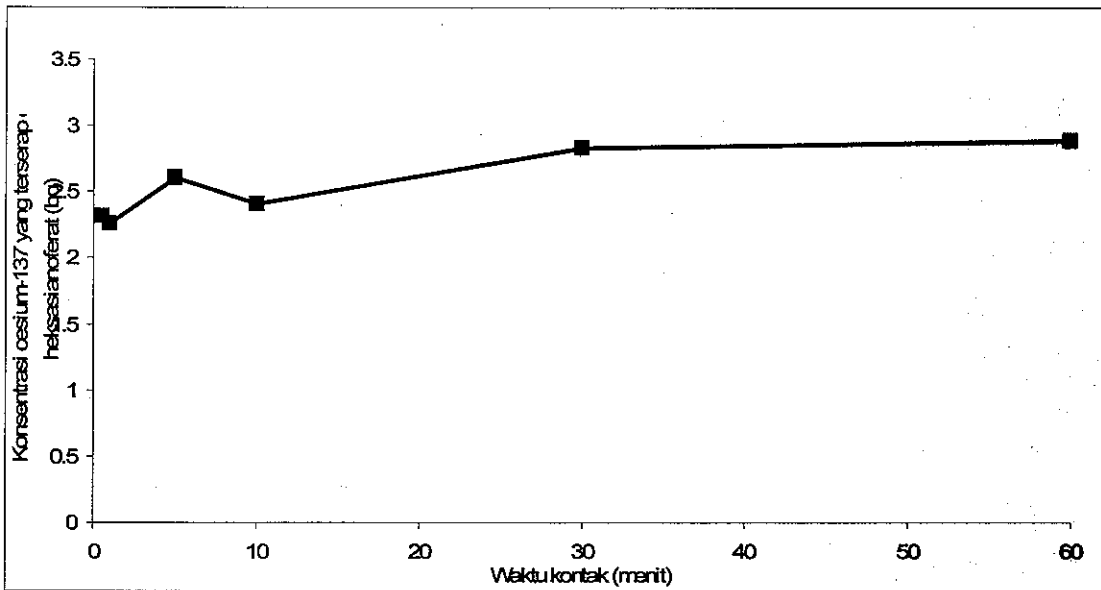
Studi yang dilakukan oleh Terada<sup>5</sup>, menyimpulkan bahwa efisiensi penyerapan dari matriks penukar ion akan menurun dengan semakin banyaknya volume sampel, sehingga jika volume sampelnya banyak, maka perlu penambahan jumlah matriks penukar ionnya. Tetapi dengan jumlah sampel yang sedikit dan konsentrasi *cesium* yang lebih tinggi, matriks

heksasianoferrat ini mampu memisahkan hampir semua *cesium-137* yang ditambahkan. Data persentase *cesium-137* yang dapat terserap pada matriks dapat dilihat pada Gambar 4.

#### Determinasi Cesium-137 dari Air Laut Semenanjung Lemahabang

Hasil analisis pada tiga titik sampel air laut di Semenanjung Lemahabang Jepara (Tabel 1) menunjukkan bahwa konsentrasi *cesium-137* di Laut Jepara masih berada dalam rentang konsentrasi *cesium-137* yang pernah dianalisis di air laut permukaan di Asia (Tabel 2).

Bila dibandingkan dengan *database* determinasi *cesium-137* yang dimiliki oleh Asia-



Gambar 4. Persentase cesium-137 yang terserap pada matriks heksasianoferat dengan variasi waktu kontak

Tabel 1. Konsentrasi Cs-137 Air Laut di Semenanjung Lemahabang Jepara

Nomor	Kode sampel	Lokasi	Konsentrasi Cs-137
1	L-01	110°45'00" BT, 06°25'48,30" LS	2,27 Bq/m <sup>3</sup>
2	L-03	110°47'00" BT, 06°23'06,48" LS	2,76 Bq/m <sup>3</sup>
3	L-05	110°49'00" BT, 06°23'19,44" LS	1,37 Bq/m <sup>3</sup>

Tabel 2. Konsentrasi Cesium-137 pada Air Permukaan di Laut Jepang dan Laut Pasifik

1	Hirose (2006) <sup>6</sup> - Laut Pasifik Selatan	0.07 – 1,7 Bq/m <sup>3</sup>
2	Povinec (2006) <sup>7</sup> - Samudera India	0.7 – 2, 23 Bq/m <sup>3</sup>
3	ASPAMARD (1995 – 2001) <sup>8</sup>	2.7 Bq/m <sup>3</sup>
4	GLOMARD (1996 – 2000) <sup>9</sup> - Laut Jepang -Laut Pasifik Utara	2.8 Bq/m <sup>3</sup> 2.4 Bq/m <sup>3</sup>
5	HAM <sup>10</sup> - Laut Pasifik Utara (1997)	2.1 Bq/m <sup>3</sup>
6	Japan Chem. Center (2003) <sup>11</sup> - Laut Pasifik Utara - Laut Jepang	1.74 Bq/m <sup>3</sup> 2.04 Bq/m <sup>3</sup>
7	Japan Chem. Center (2004) <sup>12</sup> - Laut Pasifik Utara - Laut Jepang	1.91 Bq/m <sup>3</sup> 2.1 Bq/m <sup>3</sup>
8	Japan Sea Cruises (2003) <sup>13</sup> - Laut Jepang Utara - Laut Jepang Selatan	2.58 Bq/m <sup>3</sup> 2.62 Bq/m <sup>3</sup>

Pacific Marine Radioactivity Database (ASPAMARD), Historical Artificial Radionuclides in the Pacific Ocean and its Marginal Seas (HAM), Global Marine Radioactivity (GLOMARD), dan laporan monitoring tahunan Radioactivity Survey Data in Japan dari Japan Chemical Analysis Center yang melakukan pengukuran konsentrasi cesium-137 di berbagai laut di sekitar Laut Indonesia, seperti Laut Jepang dan Laut Pasifik, maka dapat dikatakan bahwa besaran aktivitas yang terukur masih dalam rentang konsentrasi di laut tersebut.

Mengutip hasil penelitian Hirose<sup>10</sup>, bahwa konsentrasi rata-rata cesium-137 di laut dunia yang dihasilkan dari *fall out* yaitu sekitar 2 - 3 Bq/m<sup>3</sup>, maka dapat dikatakan bahwa, cesium-137 yang terukur di air laut permukaan laut Jepara hanya berasal dari *fall out* dan tidak ada masukan lokal yang mempengaruhi besaran aktivitas cesium-137 tersebut.

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis sampel air laut permukaan Semenanjung Lemahabang Jepara pada tiga titik sampel didapatkan bahwa konsentrasi cesium-137 pada air permukaannya berkisar antara 1,37 Bq/m<sup>3</sup> – 2,76 Bq/m<sup>3</sup>. Konsentrasi tersebut masih berada dalam rentang konsentrasi cesium-137 yang pernah dianalisis di Laut Pasifik dan Laut Jepang. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi yang terdeteksi pada air permukaan Laut Jepara hanya berasal dari *fall out* dan tidak ada masukan lokal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Heru Umbara selaku Kepala Bidang Radioekologi Kelautan - PTLR Batan yang memberikan dukungan terhadap penelitian ini dan Bapak Heny Suseno yang telah memberikan bimbingan untuk penulisan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

<sup>1</sup>Ólafsdóttir, Elisabet Dolinda; Pálsson, Sigurður Emil; Magnússon, Sigurður M. and Guðnason, Kjartan. 1999. "Distribution and Origin of Cs-137 in the Ocean around Iceland – An Indicator of Man Mad Radioactivity". *Rit Fiskideildar*, 16 : 69–77.

- <sup>2</sup>Gaur, S. 1996. Determination of Cs-137 in Environmental Water by Ion-Exchange Chromatography, *J. Chromatography A*, 733.: 57–1.
- <sup>3</sup>Su, Chih-Chieh; Huh, Chih-An and Chen, Ju-Chin., 2000. "A Rapid Method for the Determination of Cs-137 in Seawater". *TAO*, 11, (4) : 753-764.
- <sup>4</sup>Makmur, Murdahayu. 2007. "Pembuatan Matrik Penukar Ion Heksasianoferat untuk Pemekatan <sup>137</sup>Cs dari Air Laut". Prosiding Seminar Teknologi Pengolahan Limbah V, Tangerang, 26 Juni 2007: 224–229.
- <sup>5</sup>Terada, K., Hayakawa. H, Sawada. K, and T. Kiba, 1970. "Silica gel as a support for inorganic ion-exchangers for the determination of caesium-137 in natural waters". *Talanta*, 17: 955–963.
- <sup>6</sup>Hirose K, 2006. "Plutonium and <sup>137</sup>Cs in Surface Seawater of the South Pacific". Proceedings 2006 SHOOTs Workshop, Meteorological Research Institute, Japan.
- <sup>7</sup>Povinec P. 2006. "<sup>137</sup>Cs in the Indian Ocean". Proceedings 2006 SHOOTs Workshop, Meteorological Research Institute, Japan.
- <sup>8</sup>Duran, E.B., Povinec, P.P., Fowler, S.W., Airey, P.L., and Hong, G.H. 2004. "<sup>137</sup>Cs and <sup>239+240</sup>Pu levels in the Asia-Pacific regional seas". *Journal of Environmental Radioactivity*, 76:139–160.
- <sup>9</sup>Povinec P., Hirose K. and Honda T. 2004. "Spatial distribution of <sup>3</sup>H, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs and <sup>239,240</sup>Pu in surface waters of the Pacific and Indian Oceans - GLOMARD database". *Journal of Environmental Radioactivity*, 76:113–37.
- <sup>10</sup>Hirose, K. and Aoyama M. 2003. Present background levels of surface <sup>137</sup>Cs and <sup>239,240</sup>Pu Concentrations in the Pacific. *Journal of Environmental Radioactivity*, 69: 53–60.
- <sup>11</sup>Japan Chemical Analysis Center. 2003. "Radioactivity Survey Data in Japan: Environmental and Dietary Materials". Report No. 138.
- <sup>12</sup>Japan Chemical Analysis Center. 2004. "Radioactivity Survey Data in Japan: Environmental and Dietary Materials". Report No. 139.
- <sup>13</sup>Ito, Aramaki T. and Kitamura T. 2003. "Anthropogenic Radionuclides in the Japan Sea: Their Distributions and Transport Process". *Journal of Environmental Radioactivity*, 68: 249–267.