

METODA CEPAT UNTUK PENENTUAN CESIUM-137 DALAM AIR LAUT

Murdahayu Makmur

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

ABSTRAK

METODA CEPAT UNTUK PENENTUAN CESIUM-137 DALAM AIR LAUT. Telah dilakukan pengembangan metoda untuk penentuan cesium-137 dalam air laut. Penentuan cesium-137 dalam air laut dilakukan dengan menggunakan resin heksasianoferat sebagai penukar ion dari sejumlah besar air laut secara batch dan kolom, yang kemudian diukur dengan menggunakan spektrometri gama. Matrik penukar ion heksasianoferat dibuat dengan mereaksikan silika gel dengan kalium heksasianoferat dan tembaga klorida. Didapatkan bahwa rasio komposisi molar optimal antara heksasianoferat dan tembaga klorida adalah 0,5 untuk setiap 10 gram silika gel. Uji kinerja matrik heksasianoferat dilakukan secara batch, dimana air laut diberikan perunut ^{137}Cs dan kemudian diserap menggunakan resin heksasianoferat. Pengukuran aktifitas ^{137}Cs dilakukan dengan mencacah resin yang telah dipisahkan dari larutan sampel untuk mengetahui jumlah ^{137}Cs yang terikat pada matrik penukar ion. Didapatkan bahwa matrik heksasianoferat dapat memisahkan cesium-137 sebanyak 58% sampai dengan 82%. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk pemisahan cesium-137 adalah 77 – 96% untuk rentang waktu dari 0.5 menit – 60 menit dengan presentase tertinggi pada waktu kontak 60 menit. Matrik heksasianoferat kemudian digunakan untuk memisahkan Cs-137 dari 6 liter air laut yang dilakukan dengan menggunakan kolom. Berdasarkan hasil analisis pada tiga titik sampel di Semenanjung Lemahabang Jepara, didapatkan bahwa konsentrasi cesium-137 pada air permukaannya berkisar dari 1.37 Bq/m^3 – 2.76 Bq/m^3 .

ABSTRACT

Determination of cesium-137 in seawater had been done using the hexacyanoferrate resin as ion exchanger from 3 point sampling of surface seawater. The hexacyanoferrate ion exchanger matrix had been 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 of seawater then added the hexacyanoferrate resin. The separated hexacyanoferrate resin then counted with gamma spectrometer. The cesium-137 concentration used in the work varies between 0.5 Bq – 20 Bq results 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^3 – 2.76 Bq/m^3 .

PENDAHULUAN

Cesium-137 merupakan produk fisi dengan waktu paruh yang panjang, dimana bisa lepas ke lingkungan dari tes bom nuklir, kecelakaan nuklir, dan dari pembuangan limbah nuklir. Sebagai salah unsur dalam grup alkali, Cesium biasanya berada dan bermigrasi dalam bentuk mono valensi dalam lingkungan perairan.

Konsentrasi Cs-137 di air laut sangat kecil ($2.9 - 6.6 \times 10^{-9}$ M ; Gaur 1996), maka pemekatan nuklida ini dari sejumlah besar sampel sangatlah diperlukan.

Belakangan ini, banyak penukar ion diaplikasikan untuk pemekatan Cs-137 di dalam sampel cair. Penukar ion yang dikembangkan termasuk didalamnya resin organik, ion penukar cair dan ion penukar anorganik (Gaur, 1996). 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 selektifitas yang tinggi terhadap cesium dan stabil di dalam air laut, dan sering digunakan untuk pemekatan cesium dari air laut.

Penukar ion anorganik ada yang natural dan ada yang buatan. Yang natural seperti zeolit, mineral tanah liat dan yang buatan seperti hidro oksida, garam asam dari logam bervalensi banyak, garam heteropoliacid, heksasianoferat dan aluminosilikat sintetik. Walaupun penukar ion natural 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 Cs-137 antara lain Amonium 12-molibdoposfat ($AMP; [(NH_4)_3Mo_{12}O_{40}(xH_2O)]$), zeolit buatan dan heksasianoferat. Metoda yang menggunakan Ammonium Molibdat untuk mengadsorpsi Cs-137 memerlukan prosedur preparasi yang panjang dan membutuhkan waktu yang lama untuk mengerjakannya. Disamping 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 semua unsur tersebut cocok untuk pemisahan cesium-137, tetapi Cu-heksasianoferat mempunyai kestabilan yang paling tinggi di dalam air laut (Gaur, 1996) sehingga dalam penelitian ini akan digunakan Cu-heksasianoferat sebagai penukar ion.

TATA KERJA

Bahan

Bahan yang digunakan adalah silika gel (*MERK Silica Gel 60, 0.2 – 0.5 mm*), kalium heksasianoferat (II) trihidrat ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$), tembaga klorida ($CuCl_2$), HCl, dan peralatan yang digunakan adalah *Atomic Absorption Spectrometer (AAS)*, spektrometer gama, kolom penukar ion, stirer magnetik, penangas dan alat alat gelas.

Metode

1. Pembuatan matrik heksasianoferat

a. Variasi Konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$

Silika gel sebanyak 10 gram dimasukkan ke dalam 25 ml larutan kalium heksasianoferat (II) trihidrat ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$) di dalam beker gelas dan diaduk selama 1 jam menggunakan *magnetik stirer*. Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada *hot plate* untuk penguapan pelarutnya. Setelah kering, campuran dimasukkan ke dalam 25 ml larutan tembaga klorida ($CuCl_2$) 0.02 M. Campuran diaduk selama 1 jam dengan *magnetic stirrer* sehingga menghasilkan endapan tembaga heksasianoferat yang melapisi silika gel. Campuran kemudian di saring dan endapan silika gel pada kertas saring dibilas dengan air

distilat untuk menghilangkan sisa tembaga heksasianoferat. Filtrat dianalisis menggunakan AAS untuk penentuan Fe dan Cu yang tidak bereaksi. Variasi konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ yang digunakan adalah 0.0025 M sampai dengan konsentrasi 0.04 M

b. Variasi Konsentrasi $CuCl_2$

Silika gel sebanyak 10 gram dimasukkan ke dalam 25 ml larutan kalium heksasianoferat (II) trihidrat ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$) 0.01M di dalam beker gelas dan diaduk selama 1 jam menggunakan *magnetik stirrer*. Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada *hot plate* untuk penguapan pelarutnya. Setelah kering, campuran dimasukkan ke dalam 25 ml larutan tembaga klorida ($CuCl_2$). Campuran diaduk selama 1 jam dengan *magnetic stirrer* sehingga menghasilkan endapan tembaga heksasianoferat yang melapisi silika gel. Campuran kemudian di saring dan endapan silika gel pada kertas saring dibilas dengan air distilat untuk menghilangkan sisa tembaga heksasianoferat. Filtrat dianalisis menggunakan AAS untuk penentuan Fe dan Cu yang tidak bereaksi. Variasi konsentrasi $CuCl_2$ yang digunakan adalah 0.005 M sampai dengan konsentrasi 0.08 M.

c. Pembuatan matrik penukar ion heksasianoferat

Silika gel sebanyak 10 gram dimasukkan ke dalam 25 mL larutan kalium heksasianoferat (II) trihidrat ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$) di dalam beker gelas. Lakukan pengadukan selama 1 jam menggunakan pengaduk magnetik dan kemudian dikeringkan di atas penangas. Setelah kering, campuran dimasukkan ke dalam larutan tembaga klorida ($CuCl_2$) sebanyak 25 mL. Lakukan lagi pengadukan selama 1 jam dengan pengaduk magnetik sehingga menghasilkan matrik heksasianoferat. Matrik kemudian dicuci dengan air distilasi untuk menghilangkan sisa kalium heksasianoferat dan keringkan di dalam oven pada suhu 80° selama 24 jam untuk menghilangkan kelembaban.

2. **Pemekatan ^{137}Cs dalam sampel air laut secara batch**

a. Variasi konsentrasi cesium yang ditambahkan.

Larutan sampel air laut disiapkan sebanyak 100 mL dalam beker gelas dan di tambahkan perunut ^{137}Cs dengan variasi aktivitas 0.5 Bq sampai dengan 20 Bq. Kemudian dimasukkan matrik heksasianoferat sebanyak 10 gram. Dilakukan pengadukan selama 60 menit dan kemudian matrik dipisahkan dari larutan. Larutan di cacah dengan spektrometri gama untuk mengetahui ^{137}Cs yang tidak teradsorpsi ke dalam matrik.

b. Variasi waktu kontak

Larutan sampel air laut disiapkan sebanyak 100 mL dalam beker gelas dan ditambahkan perunut ^{137}Cs dengan aktivitas sebesar 5 Bq. Kemudian dimasukkan matrik heksasianoferat sebanyak 10 gram. Pengadukan dilakukan dengan variasi waktu kontak 0.5 menit sampai 60 menit. Kemudian matrik dipisahkan dari larutan. Larutan di cacah dengan menggunakan spektrometri gama untuk mengetahui ^{137}Cs yang tidak teradsorpsi ke dalam silika gel.

3. **Penentuan Cesium-137 dari Air Laut**

a. Penyamplingan Sampel

Sampel yang diambil merupakan air permukaan yang ditempatkan pada jergen 20 liter. Dan dilakukan penyaringan untuk memisahkan padatan

dari larutan sampel. Sampel diambil dari laut Semenanjung Lemahabang yang merupakan calon site PLTN pertama di Indonesia. Lokasi pengambilan sampel seperti dibawah ini.

L - 01 : 110°45'00" BT, 06°25'48,30" LS

L - 03 : 110°47'00" BT, 06°23'06,48" LS

L - 05 : 110°49'00" BT, 06°23'19,44" LS

b. Penentuan Cs-137 di dalam air laut

Resin heksasianoferat dimasukkan ke dalam kolom yang sebelumnya di dasar kolom diletakkan *glass wool*. Sampel air laut 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.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isotop ^{137}Cs merupakan produk fisi yang dominan karena kelimpahannya tinggi dan waktu paro yang relatif panjang (30,17 tahun), sehingga keberadaannya di lingkungan akan sangat mempengaruhi makhluk yang hidup di dalamnya, terutama dalam lingkungan perairan laut^[2]. Cesium pada perairan laut akan terakumulasi pada ikan atau biota lainnya, dan melalui rantai makanan akan masuk ke manusia sehingga keberadaannya isotop ini perlu di ketahui konsentrasinya^[3].

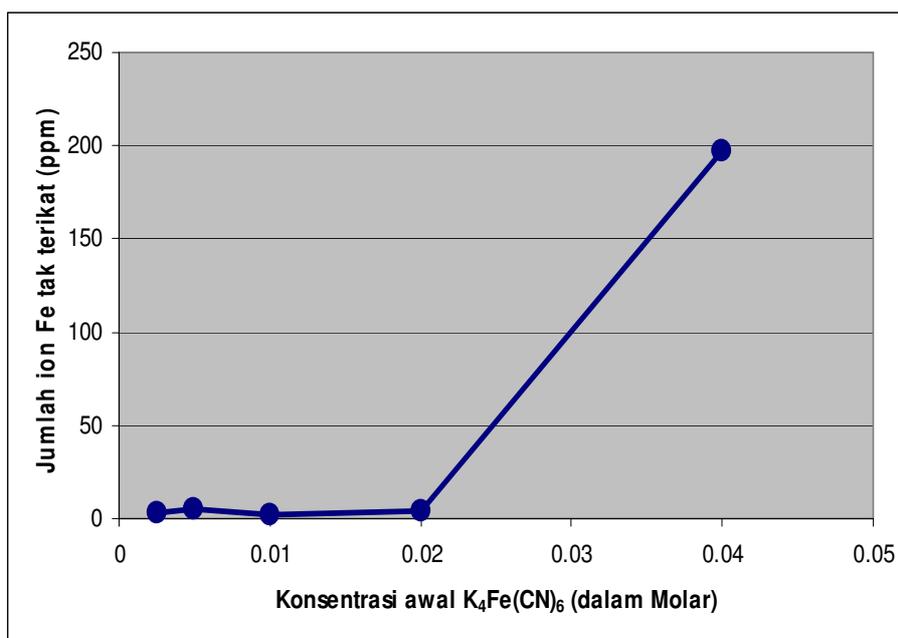
Konsentrasi rata rata ^{137}Cs di laut dunia yang dihasilkan dari fallout yaitu sekitar 2 Bq/m³^[5], konsentrasi ^{137}Cs di air laut permukaan di Asia Pasifik rata rata sekitar 3 Bq/m³^[6], di laut Pasifik Selatan sekitar 0.07 – 1,7 Bq/m³^[7], dan di Samudera India berkisar antara 0.7 – 2, 23 Bq/m³^[8]. Pada konsentrasi tertinggi di Samudera India, yaitu 2,23 Bq/m³, berarti 2,23 x 10⁻³ Bq/l, bisa dikatakan konsentrasi ^{137}Cs tersebut sangat kecil bila diukur langsung dengan spektrometri gama. Untuk itu diperlukan pemekatan ^{137}Cs dari sejumlah besar sampel air laut sebelum akhirnya diukur dengan menggunakan spektrometri gama.

Banyak metoda analitik telah dikembangkan untuk pemekatan ^{137}Cs di dalam sampel lingkungan, seperti penukar ion. Penukar ion yang dikembangkan antara lain penukar ion organik dan anorganik. Penukar ion 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, penukar ion anorganik mempunyai selektifitas yang tinggi terhadap cesium dan stabil di dalam air laut, dan sering digunakan untuk pemekatan cesium dari air laut.⁽⁴⁾ Penukar ion anorganik yang sering digunakan untuk pemekatan ^{137}Cs antara lain amonium 12-molibdoposfat (AMP;[(NH₄)₃Mo₁₂O₄₀(xH₂O)]), zeolit dan heksasianoferat. AMP sudah lama digunakan tetapi membutuhkan waktu yang panjang, dan sulit untuk dilakukan di luar laboratorium. Heksasianoferat mempunyai keunggulan lebih praktis karena bisa digunakan di lapangan dengan proses preparasi yang lebih cepat.

Pembuatan matrik penukar ion heksasianoferat dilakukan dengan mereaksikan senyawa K₄Fe(CN)₆.3H₂O dan CuCl₂ yang teradsorpsi pada silika gel. Kualitas penukar ion akan ditentukan oleh komposisi yang tepat antara ketiga senyawa tersebut. Uji komposisi untuk pembuatan matrik penukar ion ini dilakukan untuk menentukan jumlah terpakai dari masing masing senyawa yang akan direaksikan sehingga tidak ada senyawa yang terbuang dalam pembuatan matrik ini.

Variasi Konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$

Pada percobaan variasi konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$, dilakukan reaksi antara silika gel, $CuCl_2$ dengan jumlah dan konsentrasi tetap sedangkan konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ divariasikan mulai dari 0.0025 M sampai 0.04 M. Kriteria keberhasilan pembuatan matrik tersebut ditentukan oleh kuantitas ion Fe yang terikat. Hasil percobaan yang menunjukkan kuantitas ion Fe yang tidak terikat disajikan pada Gambar 1, dan Gambar 2 menunjukkan kuantitas ion Cu yang tidak terikat dalam pembuatan matrik penukar ion.



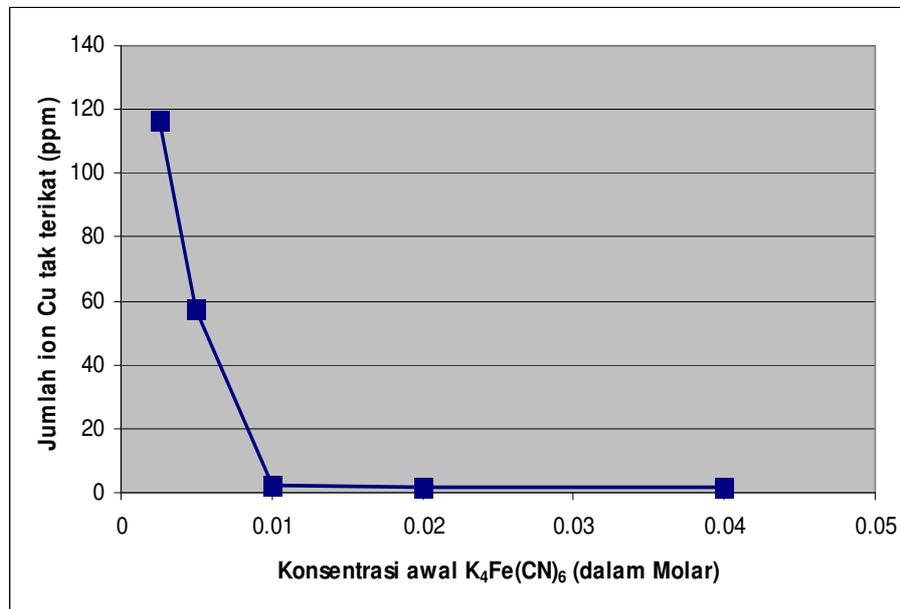
Gambar 1. Jumlah Fe yang tidak terikat pada variasi konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$

Berdasarkan **Gambar 1**, penambahan konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ sampai 0.02M, jumlah ion Fe yang tidak terikat mendekati nol. Berarti hampir semua ion Fe habis bereaksi dalam pembuatan matrik. Di sisi lain, penambahan konsentrasi di atas 0.02 M, terdapat sisa ion Fe yang cukup signifikan dan cenderung meningkat dengan semakin tinggi konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ yang ditambahkan. Percobaan ini membuktikan bahwa konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ yang ditambahkan akan optimal pada 0.02 M.

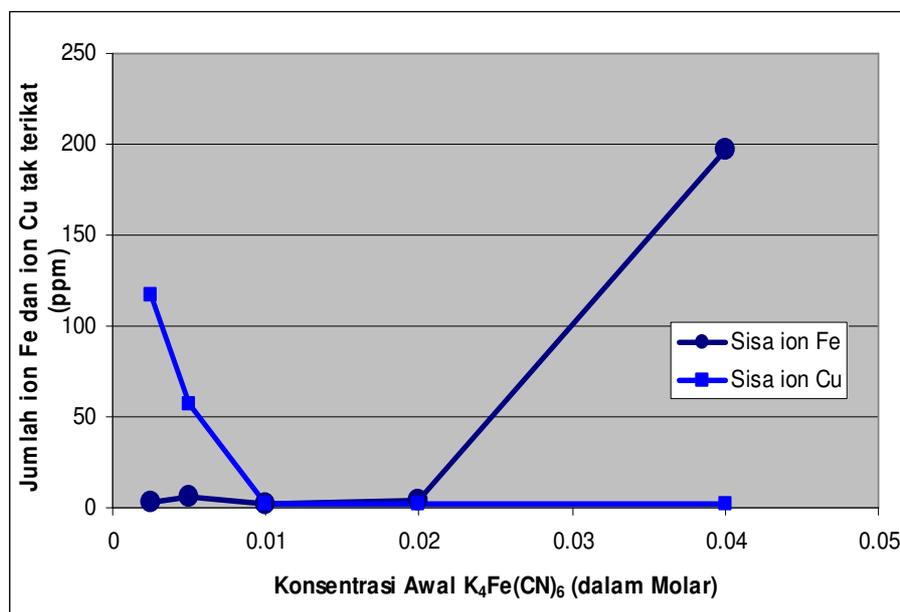
Untuk membuktikan reaksi pembuatan matrik telah sempurna dapat juga dilihat dari ada tidaknya ion Cu yang tidak terikat pada matrik yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Penambahan $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ dengan konsentrasi sampai 0.01 M, jumlah ion Cu tak terikat sangat banyak dan makin menurun dengan semakin tingginya konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ yang ditambahkan. Pada penambahan $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ dengan konsentrasi 0.02 M atau lebih tinggi, ion Cu bereaksi membentuk kompleks heksasianoferat. Dapat dikatakan bahwa untuk konsentrasi $CuCl_2$ 0.02 M, penambahan $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ akan optimal pada konsentrasi 0.01 M.

Pembuktian berikutnya dapat dilihat pada **Gambar 3**, pemakaian senyawa $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ akan optimal pada konsentrasi 0.01 M, dimana hampir semua ion Cu dari $CuCl_2$ dan ion Fe dari $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ bereaksi membentuk kompleks heksasianoferat dalam pembuatan matrik penukar ion ini. Senyawa $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ berlebih akan bereaksi dengan $CuCl_2$ membentuk senyawa kovalen koordinat lainnya

yang justru melarutkan ion Cu. Senyawa $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ merupakan senyawa koordinat dengan ligan CN. Ligan CN dapat bereaksi secara substitusi dengan ion Cu yang menghasilkan ligan $Cu[CN]_4^{2-}$



Gambar 2. Jumlah Cu yang tidak terikat pada variasi konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$

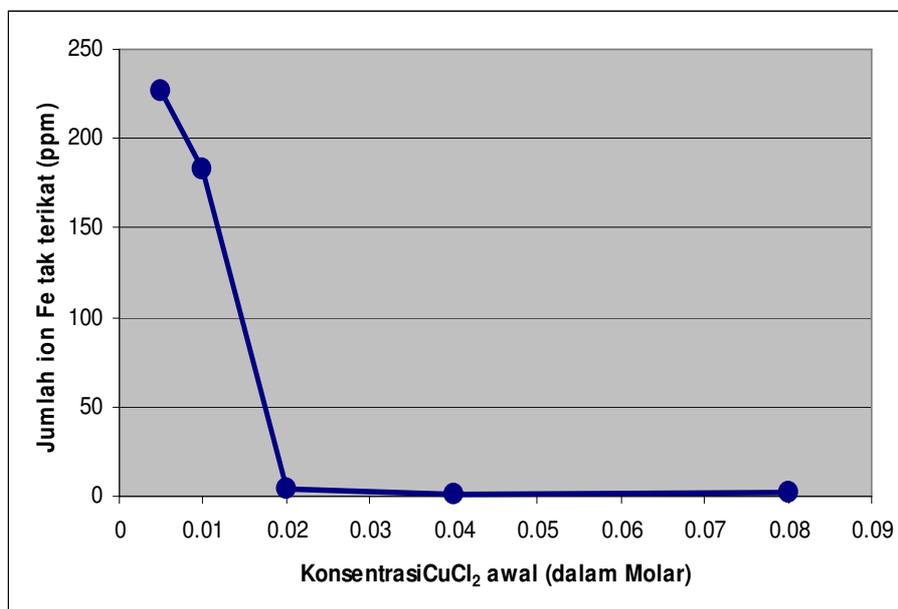


Gambar 3. Kondisi optimum adsorpsi dengan variasi konsentrasi $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$

Variasi Konsentrasi $CuCl_2$

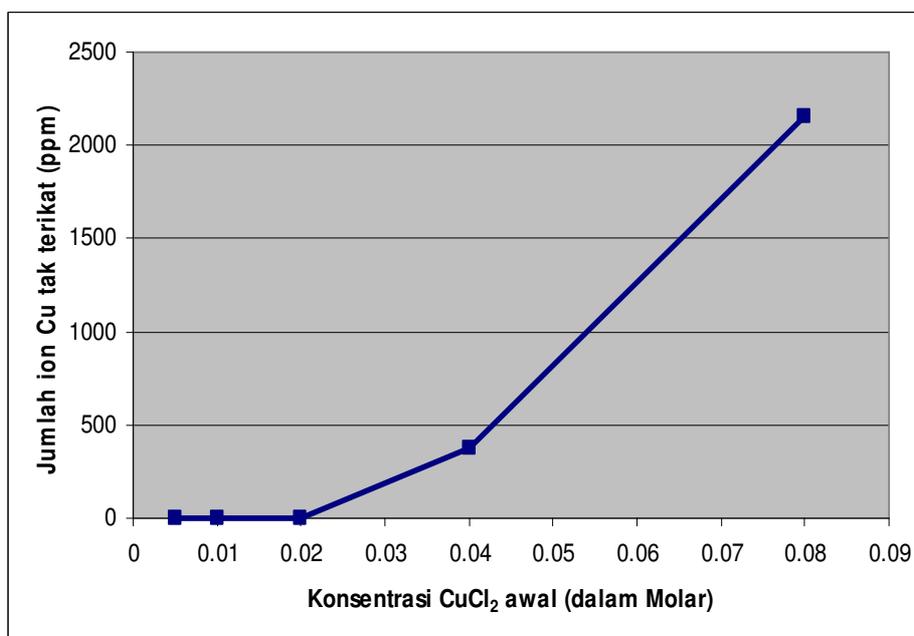
Percobaan kedua dilakukan dengan mereaksikan $CuCl_2$ 0.01 M - 0.16 M dengan silika gel dan $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ tetap. Percobaan ini dimaksudkan untuk

melihat sempurna atau tidaknya reaksi pembentukan matrik penukar ion apabila konsentrasi CuCl_2 bervariasi. Hasil percobaan dapat dilihat pada **Gambar 4** untuk melihat sisa ion Fe, dan Gambar 5 untuk melihat sisa ion Cu yang tidak bereaksi dalam pembuatan matrik penukar ion ini.



Gambar 4. Jumlah Fe yang tidak terikat untuk variasi konsentrasi CuCl_2

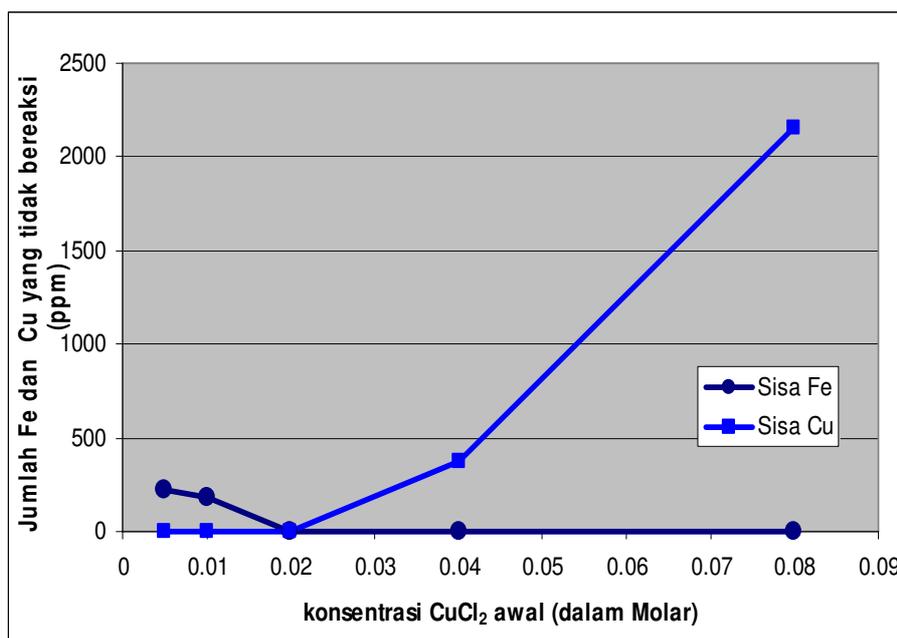
Dalam **Gambar 4**, konsentrasi CuCl_2 optimal pada 0.02 M, karena pada konsentrasi tersebut atau lebih tinggi, sisa ion Fe pada akhir percobaan sangat kecil. Hal ini disebabkan pada konsentrasi tersebut, semua ligan $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4+}$ bereaksi dengan ion Cu membentuk matrik heksasianoferat. Sedangkan pada konsentrasi yang lebih kecil dari 0.02 M, masih ada ligan $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4+}$ yang tidak terikat.



Gambar 5. Jumlah Cu yang tidak terikat pada variasi konsentrasi CuCl_2

Pada **Gambar 5** terlihat bahwa penambahan CuCl_2 sampai konsentrasi 0.02 M, ion Cu yang tidak terikat sangat kecil, sedangkan penambahan CuCl_2 pada konsentrasi di atas 0.02 M, jumlah ion Cu bebas cenderung naik yang berarti penambahan prekursor CuCl_2 tidak mempengaruhi kualitas matrik penukar ion karena kualitas tersebut lebih dipengaruhi oleh adanya keberadaan ligand CN dalam matrik kompleks heksasianoferrat.

Hasil percobaan untuk variasi konsentrasi CuCl_2 (**Gambar 6**) dapat menjelaskan bahwa komposisi optimal untuk pembuatan matrik penukar ion heksasianoferrat ini adalah pada penambahan CuCl_2 0.02 M, dimana sisa ion Fe dan ion Cu bebas sangat kecil yang berarti tidak banyak senyawa yang terbuang dalam pembuatan matrik ini.



Gambar 6. Kondisi optimum adsorpsi dengan variasi konsentrasi CuCl_2

Hasil yang dapat disimpulkan dari kedua percobaan di atas adalah bahwa komposisi $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 0.01 M dengan CuCl_2 0.02 M merupakan kondisi optimal dalam pembuatan penukar ion untuk penyerapan ^{137}Cs dari air laut. Reaksi kimia yang terjadi antara kedua senyawa yang digunakan dalam pembuatan matrik ini seperti persamaan reaksi dibawah ini, dimana ada tiga bentuk penukar ion heksasianoferrat dengan $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ sebagai bentuk utamanya.

- $2\text{Cu}^{2+} + \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} \rightarrow \text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$
- $\text{Cu}^{2+} + 2\text{K}^+ + \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} \rightarrow \text{K}_2\text{CuFe}(\text{CN})_6$
- $3\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 + 4\text{K}^+ + \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} \rightarrow 2\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$

Jika di dalam matrik penukar ion heksasianoferrat hanya terdiri dari senyawa $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ dengan perbandingan antara ion Fe dan ion Cu adalah 2/3, maka untuk pembentukan matrik penukar ion ini hanya diperlukan dua senyawa $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan tiga senyawa CuCl_2 . Tetapi karena matrik heksasianoferrat juga terdapat dalam bentuk senyawa $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ dan senyawa $\text{K}_2\text{CuFe}(\text{CN})_6$,

perbandingan tersebut tidak memberikan hasil yang optimal. Diperlukan percobaan uji komposisi ini untuk menentukan sempurna tidaknya reaksi yang terjadi untuk mendapatkan matrik penukar ion heksasianoferat yang berkualitas tinggi.

Pembuatan matrik penukar ion heksasianoferat

Pembuatan matrik penukar ion heksasianoferat dilakukan menggunakan komposisi optimal yang telah didapatkan yaitu untuk 10 gram silika gel direaksikan dengan kalium heksasianoferat (II) trihidrat ($K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$), 0.1 M sebanyak 25 mL dan tembaga klorida ($CuCl_2$), 0.2 M sebanyak 25 mL^[11]. Matrik dibuat dengan mereaksikan antara silika gel dan kalium heksasianoferat terlebih dahulu. Diharapkan, kalium heksasianoferat akan teradsorpsi pada pori-pori silika gel. Reaksi berikutnya, yaitu penambahan tembaga klorida yang dapat membentuk kompleks dengan kalium heksasianoferat menghasilkan penukar ion heksasianoferat yang akan mengadsorpsi ^{137}Cs . Bentuk utama dari penukar ionnya adalah $K_2Cu_3[Fe(CN)_6]_2$ merupakan kompleks dengan ligan $Fe(CN)_6^{4-}$ yang akan berikatan dengan ^{137}Cs . Kedua senyawa lain merupakan ikutan dari pembentukan matrik heksasianoferat yang ikut teradsorpsi pada silika gel.

Cesium, seperti logam alkali lainnya mudah larut dalam air, namun ketika berinteraksi dengan kompleks heksasianoferat akan menggeser logam alkali yang terikat pada kompleks penukar ion, sehingga cesium akan terikat pada kompleks. Dapat dikatakan bahwa kompleks heksasianoferat merupakan agen yang spesifik untuk memisahkan cesium dari larutan⁽⁹⁾.

Adsorpsi ^{137}Cs dengan variasi konsentrasi ^{137}Cs

Percobaan dengan variasi konsentrasi ^{137}Cs yang ditambahkan ke dalam air laut menggunakan konsentrasi 0.5 Bq sampai 20 Bq. Waktu adsorpsi yang digunakan adalah waktu maksimal yang pernah dicobakan oleh Chieh Chi⁽⁷⁾. Data percobaan dapat dilihat pada **Gambar 7**.

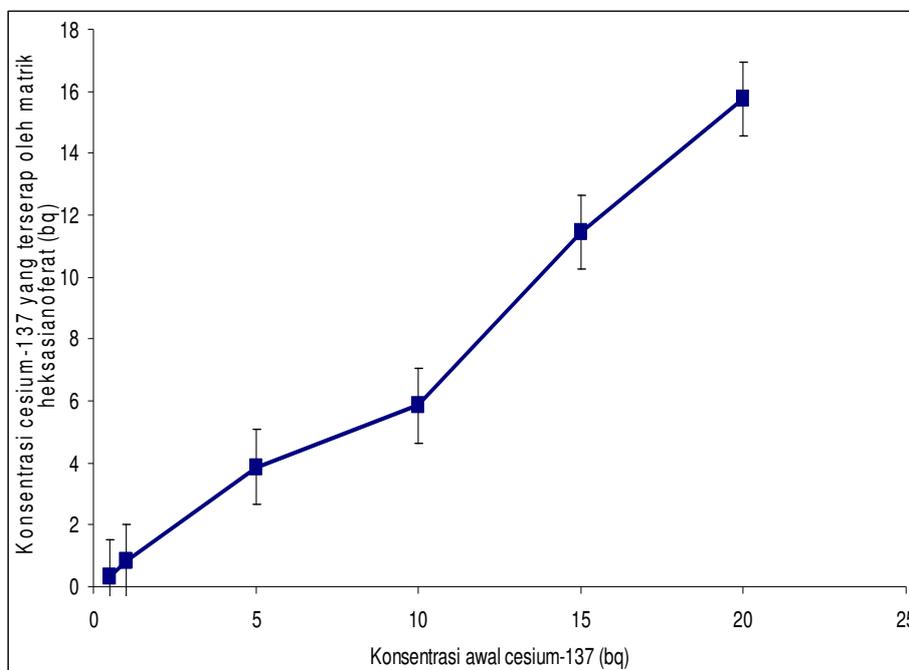
Dari **Gambar 7** diperlihatkan bahwa matrik heksasianoferat mampu menyerap cesium-137 yang berada di dalam air laut. Setelah dilakukan interaksi antara sampel air dengan matrik heksasianoferat, didapatkan bahwa cesium dapat terserap oleh matrik heksasianoferat sampai 82%, yaitu pada konsentrasi 1 Bq. Pada rentang konsentrasi 0.5 Bq – 20 Bq didapatkan bahwa kemampuan matrik heksasianoferat ini bervariasi antar 58%^[12] (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.

Hal ini juga pernah dilakukan oleh Chih chieh Su⁽⁷⁾, dimana didapatkan rentang kemampuan matrik heksasianoferat dalam menyerap cesium dari air laut berkisar antara 20 – 80 %. Hal ini dimungkinkan karena konsentrasi cesium pada air laut sangat kecil, sehingga matrik heksasianoferat yang digunakan untuk menyerap cesium belum jenuh. Hal ini seperti terlihat pada **Gambar 8**, dimana untuk variasi konsentrasi tidak terdapat perbedaan yang nyata untuk presentasi penyerapannya.

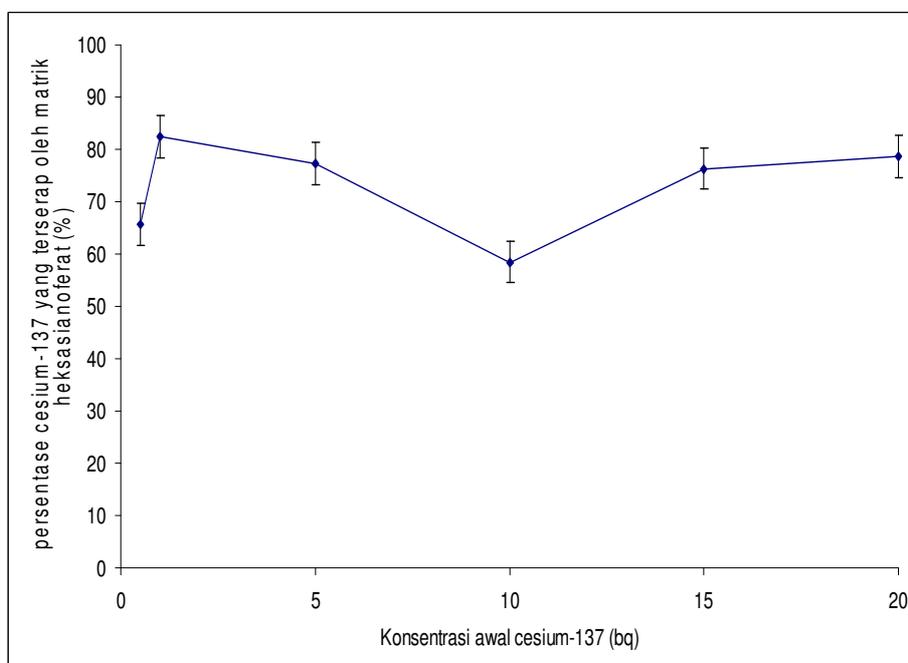
Adsorpsi ^{137}Cs dengan variasi waktu kontak

Percobaan dengan variasi waktu kontak antara penukar ion dan nuklida ^{137}Cs dilakukan dengan variasi waktu 0,5 menit, 1 menit, 2 menit, 5 menit, 10 menit, 30 menit dan 60 menit. Data hasil percobaan pada Gambar 9 berikut ini, konsentrasi ^{137}Cs yang digunakan adalah 3 Bq untuk setiap percobaan. Didapatkan bahwa penyerapan cesium oleh matrik heksasianoferat berkisar antara 77 – 96%, bisa dikatakan dalam waktu kontak kurang dari 1 menit, sudah mengikat cesium lebih dari separuhnya. Dengan demikian, untuk volume sampel yang banyak, maka metoda ini dapat praktis digunakan, karena kemampuannya dalam mengikat cesium secara cepat. Hal ini diperlukan, karena konsentrasi cesium di air laut sangat kecil, sehingga

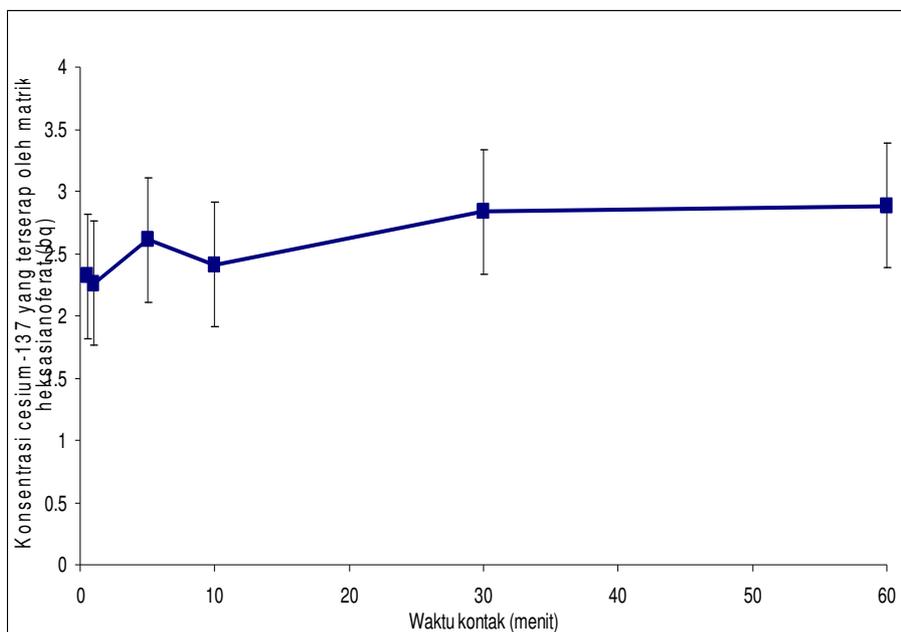
sejumlah besar volume sampel diperlukan dalam pendeteksian dengan spektrometri gama. Pada penelitian yang dilakukan oleh Chih Chieh Su⁽⁷⁾, didapatkan bahwa matrik ini dapat memisahkan cesium dari air yang ditambahkan perunut dalam waktu 2- 3 menit dengan rasio konsentrasi awal per konsentrasi terserap sebesar 0.94 – 1.09.



Gambar 7. Adsorpsi cesium-137 oleh matrik heksasianoferrat dengan variasi konsentrasi

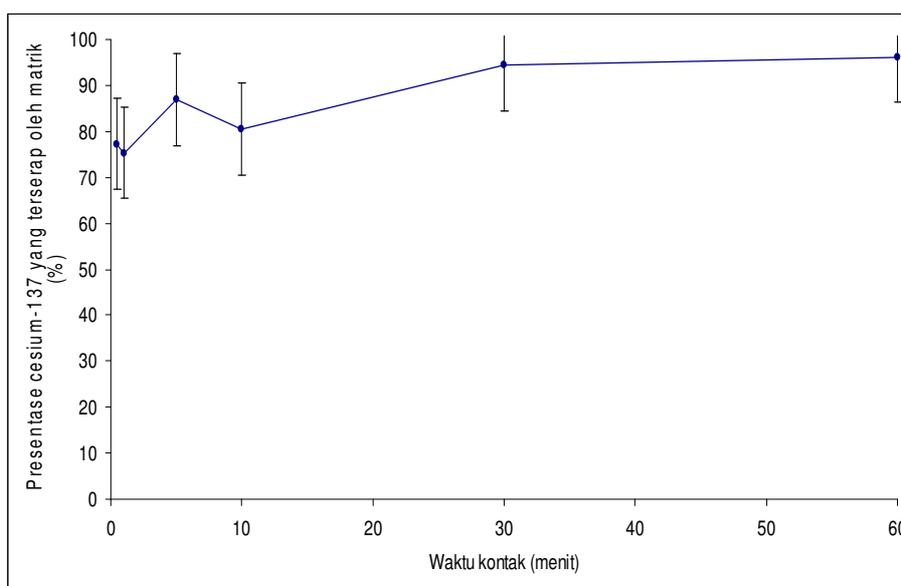


Gambar 8. Persentase cesium-137 yang terserap pada matrik heksasianoferrat



Gambar 9. Adsorpsi cesium-137 oleh matrik heksasianoferrat dengan variasi waktu kontak

Studi yang dilakukan oleh Terada et al⁽⁸⁾, menyimpulkan bahwa efisiensi penyerapan dari matrik penukar ion akan menurun dengan semakin banyaknya volume sampel, sehingga jika volume sampelnya banyak, maka perlu penambahan jumlah matrik penukar ionnya. Tetapi dengan jumlah sampel yang sedikit dan konsentrasi cesium yang lebih tinggi, matrik heksasianoferrat ini mampu memisahkan hampir semua cesium-137 yang ditambahkan. Data presentase cesium-137 yang dapat terserap pada matrik dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Presentase cesium-137 yang terserap pada matrik heksasianoferrat pada variasi waktu kontak

Penentuan Cesium-137 dari Air Laut Semenanjung Lemahabang

Semenanjung Lemahabang, Jepara merupakan calon lokasi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang direncanakan akan beroperasi pada tahun 2016. Kegiatan pengoperasian PLTN akan menimbulkan efluen gas dan cair yang akan masuk ke lingkungan dan mengandung berbagai jenis radionuklida buatan walaupun dalam jumlah yang relatif kecil dan di bawah batas keselamatan yang diizinkan. Sementara itu pada kawasan yang sama, telah beroperasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara Tanjung Jati B yang jaraknya ± 7 km di sebelah barat calon tapak PLTN. Dalam pengoperasiannya, PLTU akan melepaskan abu terbang yang mengandung berbagai jenis radionuklida alam (NORM) dari deret uranium dan thorium ke lingkungan.

Berbagai jenis radionuklida buatan dan alam yang terlepas ke lingkungan oleh adanya pengoperasian PLTN dan PLTU batu bara, dalam jangka waktu panjang berpotensi meningkatkan tingkat radioaktivitas di berbagai kompartemen lingkungan hidup. Penyebaran radionuklida ini pada akhirnya akan sampai ke manusia melalui berbagai jalur perantara, sehingga akan meningkatkan penerimaan dosis radiasi. Untuk itu perlu suatu upaya dalam rangka mempelajari dan memantau peningkatan radioaktivitas di lingkungan terutama pada perairan laut. Berdasarkan hal tersebut di atas maka perlu dilakukan pemantauan radioaktif di lingkungan sebagai base line data dalam pengambilan kebijakan di masa datang. Salah satu upaya pemantauan yang dilakukan adalah pemantau cesium-137 di air laut permukaan laut di Jepara. Metoda analisis yang digunakan adalah penukar ion heksasianoferat yang telah diuji kinerja dan kemampuannya dalam memisahkan cesium dari air laut. Hasil analisis pada tiga titik sampel di Semenanjung Lemahabang Jepara, didapatkan bahwa konsentrasi cesium-137 pada air permukaannya berkisar dari $1,37 \text{ Bq/m}^3 - 2,76 \text{ Bq/m}^3$. Data analisis dapat dilihat pada tabel dibawah ini.^[13]

Tabel 1. Konsentrasi Cesium-137 di Laut Jepara

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

Berdasarkan data analisis pada tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi cesium di laut jepara masih berada dalam rentang konsentrasi cesium-137 yang pernah di analisis di asia pasifik, dimana konsentrasi rata rata ¹³⁷Cs di air laut permukaan di Asia Pasifik rata rata sekitar 3 Bq/m^3 ^[6]. 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 aktifitas cesium-137 tersebut.

KESIMPULAN

Dalam pembuatan matrik penukar ion heksasianoferat, dibuktikan bahwa komposisi optimal dari kedua senyawa adalah $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ dengan konsentrasi 0.01 M dengan $CuCl_2$ dengan konsentrasi 0.02 M masing masing sebanyak 25 ml untuk setiap 10 gram silika gel untuk mendapatkan matrik penukar ion yang berkualitas tinggi. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa matrik heksasianoferat dapat memisahkan cesium-137 sebanyak 58% (pada konsentrasi awal 10 Bq) sampai 82% (pada konsentrasi 1 Bq) dari perunut yang diberikan ke dalam air laut. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk pemisahan adalah 77 – 96% untuk rentang waktu dari 0.5 menit – 60 menit dengan presentase tertinggi pada waktu kontak 60 menit. Disimpulkan bahwa metoda pemisahan cesium-137 dari air laut dengan matrik penukar ion heksasianoferat dapat digunakan untuk kegiatan penyamplingan pada banyak titik dalam rangka pemantauan radioaktifitas lingkungan kelautan, karena metoda ini cukup handal dalam pemisahan cesium-137 dan cepat serta bisa dilakukan di lapangan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa resin heksasianoferat ini merupakan metoda yang praktis dan cepat untuk pemekatan dan menganalisis ^{137}Cs dari air laut. Untuk lebih mengefektifkan waktu pencacahan, maka perlu untuk meningkatkan jumlah ^{137}Cs yang terserap pada silika gel dengan memperbanyak jumlah sampel, mengatur laju alir yang optimal serta memperbanyak jumlah resin yang akan digunakan. Dengan demikian metoda ini akan dapat digunakan untuk kegiatan pemantauan cesium in situ.

DAFTAR PUSTAKA

1. Elisabet Dolinda O., et al., Distribution and Origin of Cs-137 in the Ocean around Iceland – An Indicator of Man Mad Radioactivity, *Rit Fiskideildar 16*. 1999. p. 69 - 77
2. Chih-Chieh Su et al., A Rapid Method for the Determination of Cs-137 in Seawater. *TAO, Vol. 11, No. 4*. 2000. p. 753-764.
3. -----, Toxicological Profile for Cesium, US. Dept. of Health & Human Services. 2004. p. 111-165.
4. Gaur, S., Determination of Cs-137 in Environmental Water by Ion-Exchange Chromatography, *J. Chromatography A*, **733**. 1996. p. 57-71.
5. Galina Lujaniene, et al, Behaviour of Radiocesium in Marine Environment, *Environmental Research, Engineering and Management*, No.2 (28). 2004. p. 23 – 32
6. E.B.Duran et al., ^{137}Cs and $^{239+240}Pu$ Levels in the Asia Pacific Regional Seas, *Journal of Environmental Radioactivity*, 76. 2004. p. 139 – 160.
7. K. Hirose, et al, Plutonium and ^{137}Cs in Surface Seawater of the South Pacific, *Proceedings 2006 SHOOTs Workshop*, Meteorological Research Institute, Japan, 2006.
8. Povinec P.P., ^{137}Cs in the Indian Ocean, *Proceedings 2006 SHOOTs Workshop*, Meteorological Research Institute, Japan, 2006.
9. Dahuri R. Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan secara Terpadu, PT.Pradnya Paramita, Jakarta 1996. p. 26 – 61.
10. Terada, K., et al, Silica gel as a support for inorganic ion-exchanger for determination of cesium-137 in natural water, *Talanta*, 17, 955 - 963
11. Makmur M., Pembuatan Matrik Penukar Ion Heksasianoferat untuk Pemekatan ^{137}Cs dari Air Laut, *Prosiding Seminar Teknologi Pengolahan Limbah V tahun 2007*, ISSN: 1410-5086 2007