



APLIKASI SELULOSA BAKTERIAL-DIETILENTRIAMINA SEBAGAI LAPISAN PENGIKAT LOGAM Pb DAN Cd PADA METODE DIFFUSIVE GRADIENT IN THIN FILMS (DGT)

[Application of Bacterial Cellulose-Diethylenetriamine as Binding Layer of Metal Pb and Cd in Diffusive Gradient in Thin Films (DGT) Method]

Khairuddin^{1*}, Prismawiryanti¹, Indriani¹

¹⁾ Jurusan Kimia FMIPA Universitas Tadulako
Jl. Soekarno Hatta, Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu, Telp. 0451- 422611

Diterima 2 Februari 2017, Disetujui 6 Maret 2017

ABSTRACT

This research aimed to synthesis and apply of bacterial cellulose-diethylenetriamine as a binding layer on the diffusive gradients in thin films method for preconcentration of labile metal Pb and Cd in aquatic systems and sediment of Palu Bay. The results are expected to be used for the analysis of environmental contaminants aquatic pollutant/sediment replace conventional methods. DGT method easily carried into the field and sensitive to identify certain metal ions. The results showed concentration of heavy metals dissolved in seawater for Pb between 0.024 to 0.048 mg / L, while for Cd between 0.006 to 0.015 mg / L. The concentration of Pb in sediments from 7.426 to 16.043 mg / L and Cd 0.387 to 0.950 mg / L. Partial regression analysis between Pb and Cd concentrations in water with a concentration of cadmium metals Pb and Cd in the sediments showed that the concentration of heavy metals in water has a positive correlation with the concentration of Pb and Cd in the sediment.

Keyword: *Pb, Cd, DGT, bacterial cellulose-diethylenetriamine, Palu Bay*

ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah membuat dan mengaplikasikan selulosa bakterial yang dimodifikasi dengan senyawa dietilentrilamina sebagai lapisan pengikat logam dalam sistem perairan pada perangkat prototipe Diffusive Gradient in Thin Film (DGT) untuk kajian logam labil timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada air laut dan sedimen Teluk Palu. Metode DGT ini dapat digunakan untuk memonitor kualitas lingkungan perairan/sedimen secara in situ. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan untuk analisis polutan pencemar lingkungan perairan/sedimen menggantikan metode konvensional. Suatu kelebihan dari metoda DGT ini karena mudah dibawa ke lapangan dan sensitif untuk mengidentifikasi ion logam tertentu. Pengamatan saat penelitian terhadap kualitas perairan pada lokasi sampling di Perairan Teluk Palu dari parameter temperatur, salinitas, dan pH, masih dapat dikatakan berada pada kondisi normal pada saat pengukuran. Konsentrasi logam berat terlarut dalam air laut untuk Pb antara 0,024–0,048 mg/L, sedangkan untuk Cd antara 0,006-0,015 mg/L. Konsentrasi Pb dalam sedimen 7,426 – 16,043 mg/L dan Cd 0,387-0,950 mg/L. Hasil analisis regresi parsial antara konsentrasi logam Pb dan Cd dalam air dengan konsentrasi logam kadmium Pb dan Cd dalam sedimen menunjukkan bahwa antara konsentrasi logam berat tersebut dalam air memiliki korelasi yang positif dengan konsentrasi logam Pb dan Cd dalam sedimen.

Kata kunci: *Logam Pb, Logam Cd, DGT, selulosa bakterial-dietilentrilamina, Teluk Palu.*

*) Corresponding author: heru_jns@yahoo.co.id

LATAR BELAKANG

Kawasan pemukiman penduduk yang semakin meluas dan semakin berkembangnya kawasan industri di kota besar tidak lain diakibatkan oleh jumlah penduduk yang terus meningkat. Peristiwa tersebut menjadi pemicu terjadinya peningkatan pencemaran logam berat pada perairan sungai dan laut, dikarenakan semua limbah dari daratan, baik yang berasal dari pemukiman perkotaan maupun dari kawasan industri dan pada akhirnya bermuara ke sungai dan laut.

Unsur-unsur runtu (*trace elements*) di dalam air sungai maupun air laut terdapat dalam berbagai bentuk kimia atau spesi, berbagai bentuk ini dapat berupa koloid, kompleks anorganik, kompleks dengan bahan organik terlarut (*dissolved organic matter*), dan ion-ion bebas. Masing-masing spesi tersebut berbeda dalam hal toksisitas dan *bioavailability*. Toksisitas dan *bioavailability* spesi ion Pb dan Cd, seng, kadmium (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+}) terhadap organisme air jauh lebih tinggi dibandingkan jika unsur-unsur tersebut membentuk kompleks dengan bahan organik terlarut, koloid ataupun partikel lainnya. Tetapi hal tersebut di atas tidak seluruhnya berlaku terhadap unsur runtu logam lainnya. Sebagai contoh pada logam merkuri dan timbal, jika terjadi proses metilasi maka toksisitas kedua kompleks ini akan jauh lebih tinggi bila dibandingkan dalam keadaan ion bebas.

Logam berat juga dapat terakumulasi baik dalam sedimen laut maupun biota laut melalui proses bioakumulasi, gravitasi, biomagnifikasi, dan biokonsentrasi oleh biota laut (Chethan *et al.*, 2015).

Kadar logam berat dalam air yang terus meningkat akan diikuti oleh peningkatan kadar logam berat tersebut dalam tubuh biota, yang tentunya diakhiri dengan timbulnya pencemaran. Variasi spesi logam telah diidentifikasi pada perairan alami termasuk bentuk spesi organik dan anorganik dan sangat tergantung pada konsentrasi logam, kekuatan ion maupun pH. Timbal merupakan jenis logam yang kerap dijumpai pada sistem perairan dan dapat dalam bentuk ion bebas dan juga dalam bentuk kompleks dengan bahan organik terlarut. Logam ini akan menjadi beracun pada tingkatan 10 – 50 dari konsentrasi normal yang dibutuhkan pada proses pertumbuhan organisme dan biota air, sehingga perlu dilakukan monitoring (Shaaban *et al.*, 2014, dan Ahmad *et al.*, 2012).

Pencemaran di perairan akibat logam berat tidak dapat dibiarkan terus berlangsung, karena dapat memberikan dampak yang sangat buruk terhadap kelangsungan hidup biota laut dan makhluk hidup sekitarnya. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan khusus dan sering dilakukan pengukuran kadar logam berat di lingkungan, khususnya pada lingkungan perairan walaupun pengukuran logam

runut dalam sistem perairan relatif sulit untuk dilakukan.

Metode sampling menggunakan metode gradien difusi dalam film tipis (*Diffusive Gradient in Thin Films*) adalah pendekatan baru untuk pendugaan pencemaran logam berat dan status ekotoksikologi lingkungan perairan (Scally *et al.*, 2006, Dahlqvist *et al.*, 2002). Bill Davison dan Hao Zhang pertama kali mengembangkan metode ini dari tahun 1993 di Lancaster, Inggris dan kemudian dipatenkan oleh Lancaster University. Teknik ini adalah teknik prekonsentrasi *in-situ* dan merupakan teknik *passive sampling* yang sesuai untuk mengukur spesi labil yang terakumulasi di lingkungan akuatik. DGT terdiri dari alat sederhana yang terbuat dari plastik berbentuk bulat dengan diameter 2,5 cm. Alat ini diisi dengan lapisan pengkelat logam dan membran filter 0,45 μm serta hidrogel sebagai lapisan difusi. Hidrogel poliakrilamida adalah jaringan polimer tiga dimensi yang bersifat hidrofilik, tetapi tidak larut dalam air. Saat hidrogel terhidrasi, maka sekitar 95% air dapat berdifusi masuk ke dalam hidrogel. Hidrogel memiliki sifat menarik lainnya, yaitu kemampuannya untuk berinteraksi dengan spesies kimia (misalnya Cd, Pb, Cr, Hg) melalui gugus-gugus polar yang bertanggung jawab untuk sifat hidrofilik, kapasitasnya untuk memungkinkan difusi yang terkendali, respon pembengkakan (*swelling*) terhadap perubahan konsentrasi ion, pH, dan suhu (Shaaban *et al.*, 2014).

Logam berat dalam air laut terdapat dalam bentuk logam terlarut dan tersuspensi. Kedua bentuk ini dapat dipisahkan melalui penyaringan dengan menggunakan membran filter yang berukuran pori 0,45 μm . Ion berdifusi melalui filter membran dengan cara pembentukan gradien konsentrasi yang konstan sehingga terkumpul pada lapisan pengkelat (*binding layer*) yang menjadi dasar untuk mengukur logam dalam larutan secara kuantitatif. Massa logam pada lapisan pengkelat diukur setelah dielusi dengan larutan asam (Dunn *et al.*, 2007). Konsentrasi spesi analit yang diikat lapisan pengkelat logam DGT dianggap sama dengan konsentrasi yang berdifusi ke biota akuatik sehingga metode ini juga dapat memprediksi bioavailabilitas spesi-spesi anorganik labil seperti logam, fosfat, dan sulfida.

DGT terdiri dari tiga lapisan, diantaranya gel lapisan pengkelat logam, gel lapisan difusi, dan filter membran. Filter membran digunakan untuk memisahkan partikel tersuspensi pada peristiwa difusi. Ion logam labil dalam larutan akan berdifusi melalui filter membran dan lapisan difusi hingga akhirnya diprekonsentrasi pada gel pengkelat logam (Mojsilovic *et al.*, 2011, Czaja *et al.*, 2004).

Analit berdifusi dari larutan sampel melalui lapisan difusi kemudian diprekonsentrasi pada lapisan pengikat. Dengan demikian gradien konsentrasi pada lapisan difusi hingga konsentrasinya

sama dengan konsentrasi pada larutan sampel. Massa logam dikumpulkan oleh gel selulosa bakterial-dietilentriamina dari larutan logam menurut Persamaan (1).

$$C = \frac{M \cdot \Delta g}{D \cdot t \cdot A} \quad (1)$$

di mana C adalah konsentrasi logam dalam bulk solusi, M massa logam dalam gel selulosa bakterial-dietilentriamina, Δg ketebalan lapisan difusi, D koefisien difusi ion logam dalam lapisan difusi, t waktu kontak dan A luas permukaan kontak.

Massa logam dikumpulkan oleh selulosa bakterial-dietilentriamina dihitung setelah elusi gel selulosa bakterial-dietilentriamina dalam HNO_3 1 M menurut persamaan (2).

$$M = \frac{C_e(V_g + V_e)}{f_e} \quad (2)$$

dimana C_e adalah konsentrasi logam dalam eluen, V_g dan V_e masing-masing volume gel selulosa bakterial-dietilentriamina dan eluen, dan f_e adalah faktor elusi (Shaaban *et al.*, 2014).

Dalam penelitian ini dibuat modifikasi selulosa bakterial-dietilentriamina sebagai bahan lapisan pengikat logam untuk diaplikasikan pada metode gradien difusi dalam film tipis dalam pengukuran Pb baik dalam larutan maupun pada sampel air dan sedimen dari perairan laut Teluk Palu.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan, yaitu selulosa bakterial, Akrilamida, Air bebas mineral, Bis-akrilamida, Amonium

persulfat ($\text{NH}_4\text{S}_2\text{O}_8$), N,N,N',N'-Tetrametiletilediamina (TEMED), membran selulosa nitrat 0,45 μm , NaNO_3 , NaOH , HNO_3 .

Peralatan penelitian meliputi probe DGT (DGT Research – Lancaster University, Inggris), FTIR, Spektrofotometer Serapan Atom, pH meter, timbangan analitik.

Prosedur Penelitian

Sintesis lapisan Pengkelat Logam Dietilentriamina-Selulosa Bakterial

Serbuk selulosa direndam dalam larutan NaOH 15% selama satu jam pada temperatur kamar yang dilanjutkan dengan pencucian dengan air mengalir. Selulosa sebanyak 1 gram lalu diletakkan dalam gelas kimia dengan magnetik stirrer dan ditambahkan epiklororohidrin sebanyak 3 mL dan 100 mL larutan NaOH 8%. Reaksi dilakukan selama 10 jam sambil diaduk dengan magnetik stirrer. Produk hasil reaksi dicuci dengan air bebas mineral dan etanol anhidrat hingga pH 7,0 lalu dikeringkan pada temperatur 60°C. Produk hasil reaksi sebanyak 1 gram dicampurkan dengan 1 gram dietilentriamina dan 100 mL air bebas mineral dan NaHCO_3 sebagai katalis sambil terus diaduk pada temperatur 50°C selama 2 jam. Produk yang dihasilkan dicuci dengan air dan etanol anhidrat hingga pH 7,0 dan selanjutnya dikeringkan pada temperatur 60°C.

Karakterisasi Gugus Fungsi

Selulosa dan selulosa teraminasi

dietilentriamina dikarakterisasi pada bilangan gelombang 450 cm^{-1} sampai dengan 4000 cm^{-1} dengan spektrofotometer FTIR. Penyiapan cuplikan dilakukan dengan metode pellet KBr.

Pembuatan Gel Difusi

Pembuatan gel poliakrilamida sebagai gel difusi ion mengikuti prosedur yang digunakan oleh Jennifer Morford *et al.* (2003). Campuran gel monomer akrilamida (6%) dan cross linker bis-akrilamida (0,8%) direaksikan dengan tetrametiletillenadiamina (TEMED), dan katalis amonium persulfat (10% larutan) untuk membuat gel poliakrilamida. Larutan gel disiapkan melalui pencampuran akrilamida dan *cross-linker* bis akrilamida. Polimerisasi dimulai dengan menambahkan $6\ \mu\text{L}$ amonium persulfat dan $2,5\ \mu\text{L}$ tetrametiletilendiamina (TEMED) per mililiter larutan gel. Larutan gel yang dihasilkan lalu diletakkan pada cetakan kaca $0,78\text{ mm}$. Setelah dikeluarkan, gel dihidrasi untuk membuat gel menjadi stabil. Gel kemudian dicetak dengan diameter $2,5\text{ cm}$.

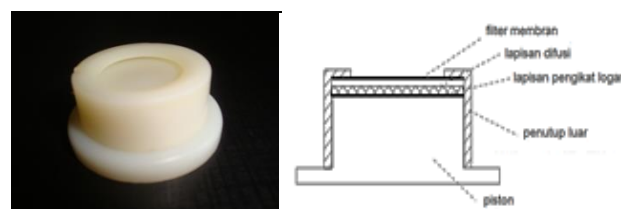
Pembuatan Gel Dietilentriamina-Selulosa Bakterial.

Sebanyak $0,2\text{ g}$ dietilentriamina-selulosa bakterial (100 mesh) ditambahkan permililiter larutan gel difusi. Polimerisasi gel melalui penambahan $6\ \mu\text{L}$ amonium persulfat dan $2\ \mu\text{L}$ TEMED permililiter larutan gel difusi untuk pembentukan gel dietilentriamina-selulosa

bakterial. Gel kemudian dicetak dengan diameter $2,5\text{ cm}$ kemudian disimpan dalam $0,01\text{ M NaNO}_3$ hingga akan digunakan.

Pemasangan Perangkat DGT

Untuk mengaplikasikan DGT, hal pertama yang dilakukan adalah menyiapkan unit DGT yaitu dengan cara meletakkan gel pengkelat logam dietilentriamina-selulosa bakterial, gel difusi poliakrilamida, serta membran selulosa nitrat secara berurutan seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Susunan filter membran $0,45\ \mu\text{m}$, gel lapisan difusi, dan lapisan pengikat logam dalam probe DGT

Pengambilan Sampel Sedimen

Sampel sedimen diperoleh dengan menggunakan potongan pipa paralon atau corer sampel yang ditancapkan ke dalam sedimen pada beberapa titik sampel dikawasan perairan estuaria Teluk Palu. Sampel yang diperoleh dimasukkan dalam botol plastik dan ditutup rapat.

Aplikasi DGT pada Sampel Sedimen Laut

Sejumlah sampel sedimen dimasukkan dalam pot. Rancangan sampler DGT untuk sedimen dimasukkan ke dalam sedimen selama $3 \times 24\text{ jam}$. Lapisan pengikat logam dari sampler kemudian dipisahkan dan dielusi dengan

10 mL HNO₃ 1 M selama 24 jam. Kadar logam dalam larutan hasil elusi dianalisis dengan AAS.

Aplikasi DGT pada Sampel Air Laut

Membran filter selulosa 0,45 µm dibasahi dengan air bebas ion, kemudian diatur membran gel dan penyaring pada dasar perangkat DGT. Lapisan pengikat logam kemudian ditempatkan gel difusi diikuti oleh membran filter. Tutup ditekan erat dalam posisi horizontal.

Air laut disampling dari empat titik di perairan Teluk Palu. Sampel air lalu ditempatkan pada beaker glass 1000 mL. Perangkat DGT yang telah disusun sesuai urutannya, dimasukkan pada air laut yang akan diuji. Setelah itu lapisan pengikat (binding layer) dielusi dalam 2 mL larutan HNO₃ 1 M selama 24 jam. Larutan hasil elusi diukur dengan menggunakan AAS sehingga dapat diketahui konsentrasi Pb²⁺ dan Cd²⁺.

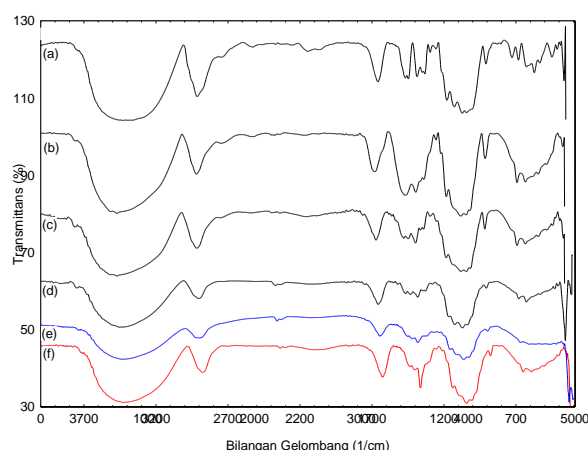
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sintesis dietilentriamina - selulosa bakterial, gugus hidroksil selulosa bakterial bereaksi dengan epiklorohidrin pada kondisi basa untuk memberikan derivat epoksi selulosa yang memudahkan reaksi dengan dietilentriamina.

Pola spektrum FTIR selulosa bakterial, natrium selulosa, selulosa epiklorohidrin, selulosa-dietilentriamina, dan logam Pb dan Cd teradsorpsi pada selulosa-dietilentriamina dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan spektrum

FTIR dari selulosa bakterial, selulosa dalam kondisi basa, epoksi selulosa dan dietilentriamina - selulosa. Bilangan gelombang puncak utama terletak di sekitar 3446 cm⁻¹ yang berasal dari - OH stretching selulosa. Tapi pada selulosa bakterial - dietilentriamina, puncak menjadi luas karena keberadaan gugus amina - NH₂. Bilangan gelombang 1029 cm⁻¹ sesuai untuk C-O-C stretching juga diamati pada semua sampel. Peningkatan puncak luas sekitar 1.795 cm⁻¹ diamati yang menegaskan keberadaan - NH pada senyawa dietilentriamina - selulosa.



Gambar 2 Spektrum FTIR (a) selulosa bakterial (b). natrium selulosa (c). selulosa epiklorohidrin. (d) selulosa bakterial - dietilentriamina (e) Pb(II)-selulosa bakterial - dietilentriamina. (f) Cd(II)-selulosa bakterial - dietilentriamina.

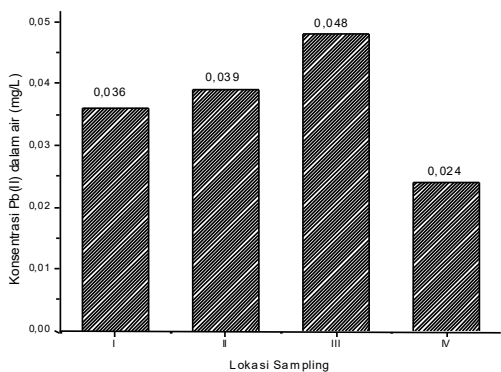
Konsentrasi Logam Pb(II) dalam Air

Aplikasi metode gradien difusi pada film tipis (DGT) dengan lapisan pengikat selulosa bakterial-dietilentriamina dan lapisan difusi poliakrilamida dilakukan pada sampel air dari perairan laut Teluk Palu. Sampel air laut Teluk Palu diambil dari empat titik lokasi pada sepanjang

peisir perairan laut Teluk Palu. Adapun koordinat geografis masing-masing lokasi adalah:

- Lokasi I : LS 00°52'40,45" BT 119°50'16,75"
- Lokasi II : LS 00°53'00,92" BT 119°50'56,07"
- Lokasi III : LS 00°52'33,38" BT 119°52'19,35"
- Lokasi IV : LS 00°51'32,05" BT 119°52'45,84"

Hasil analisis konsentrasi logam Pb(II) yang terlarut dalam air laut terdeteksi pada kisaran 0,024 – 0,048 mg/L.



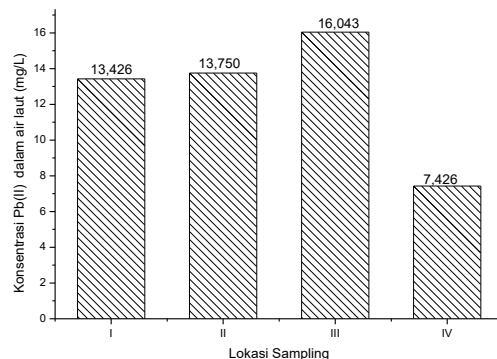
Gambar 3 Rerata Konsentrasi Ion Pb(II) dalam Air Laut.

Akumulasi Logam Pb(II) dalam Sedimen

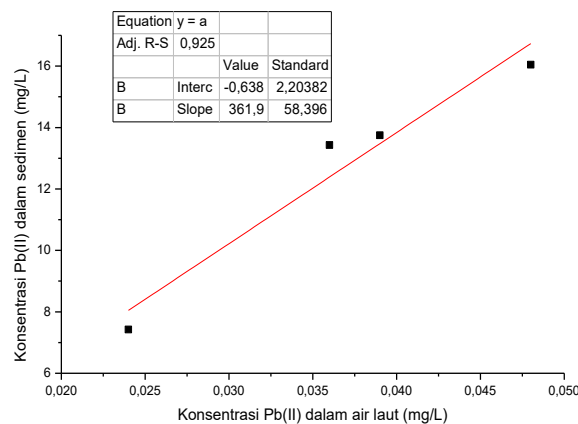
Rerata konsentrasi logam timbal (II) dalam sedimen tertinggi di peroleh pada lokasi III yaitu 16,043 mg/L dan terendah diperoleh pada lokasi IV yaitu 7,426 mg/L seperti terlihat pada Gambar 4.

Hasil analisis regresi parsial antara konsentrasi logam timbal (II) dalam air dengan konsentrasi logam timbal (II) dalam sedimen diperoleh persamaan regresi yaitu: $Y = 361,9X - 0,638$, dimana

Y = konsentrasi logam Pb(II) dalam sedimen dan X = konsentrasi logam timbal (II) dalam air dengan koefisien regresi (R^2)= 0,925 . Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa konsentrasi logam timbal (II) dalam sedimen ditentukan oleh keberadaan logam timbal (II) dalam air.



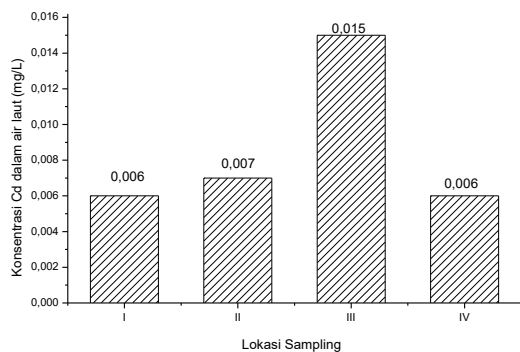
Gambar 4 Rerata Konsentrasi Ion Logam Pb(II) Dalam Sedimen.



Gambar 5 Hubungan Konsentrasi Ion Pb(II) dalam Air dan Sedimen.

Konsentrasi Logam Cd(II) dalam Air

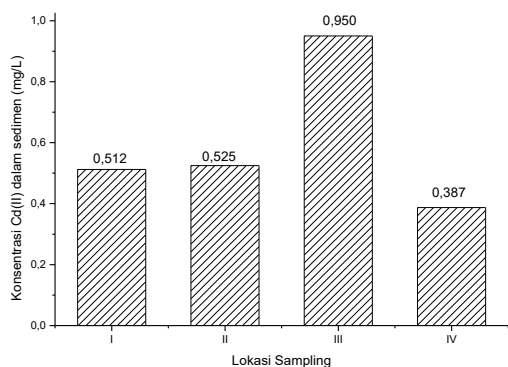
Konsentrasi rerata logam Cd(II) tertinggi diperoleh pada lokasi III yaitu 0,015 mg/L dan konsentrasi terendah diperoleh pada lokasi I yaitu 0,006 mg/L.



Gambar 6 Rerata Konsentrasi Ion Cd(II) dalam Air Laut.

Konsentrasi Logam Cd(II) Dalam Sedimen.

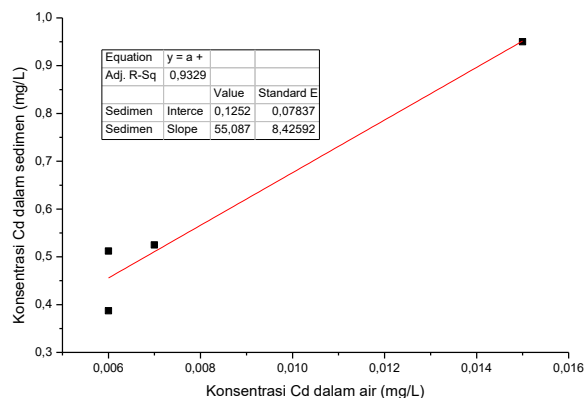
Rerata konsentrasi ion Cd(II) dalam sedimen tertinggi di peroleh pada lokasi III yaitu 0,950 mg/L dan terendah diperoleh pada lokasi IV yaitu 0,387 mg/L.



Gambar 7 Rerata Konsentrasi Ion Cd(II) dalam Sedimen.

Hasil analisis regresi parsial antara konsentrasi logam kadmium (II) dalam air dengan konsentrasi logam kadmium (II) dalam sedimen diperoleh persamaan regresi yaitu: $Y = 55,087X + 0,1252$, dimana Y = konsentrasi logam kadmium (II) dalam sedimen dan X = konsentrasi logam kadmium (II) dalam air dengan koefisien regresi (R²)= 0,9329. Hasil ini menunjukkan bahwa antara konsentrasi ion logam Cd(II) dalam air memiliki korelasi yang positif dengan konsentrasi

logam Cd(II) dalam sedimen.



Gambar 8 Hubungan Konsentrasi Ion Cd(II) dalam Air dan Sedimen.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa konsentrasi Pb(II) dan Cd(II) dalam larutan maupun air laut dapat diukur dengan metode DGT menggunakan gel lapisan pengikat logam selulosa – dietilentriamina.

Konsentrasi logam berat terlarut dalam air laut untuk Pb berkisar antara 0,024 – 0,048 mg/l, sedangkan untuk Cd berkisar antara (0,006-0,015) mg/L. Konsentrasi Pb dalam sedimen berkisar (7,426 – 16,043) mg/L dan Cd berkisar (0,387 -0,950) mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad R., Rajeev K., Haseeb S. 2012. Adsorption of Cu²⁺ from aqueous solution onto iron oxide coated eggshell powder: Evaluation of equilibrium, isotherms, kinetics, and regeneration capacity. *Arabian Journal of Chemistry*. 5 353–359.

Chethan P.D., B. Vishalakshi. 2015. Synthesis of ethylenediamine modified chitosan microspheres for removal of divalent and hexavalent ions. *International Journal of Biological*

Macromolecules, 75: 179–185.

- Czaja W, Romanovicz D., and Brown R. M. 2004. Structural investigations of microbial cellulose produced in stationary and agitated culture. *Cellulose*. 11: 403–411.
- Dahlqvist R., Zhang, H., Ingri, J. 2002. Performance of the diffusive gradients in thin films technique for measuring Ca and Mg in freshwater. *Analytica Chimica Acta*. 460: 247 – 256.
- Dunn R.J.K., Teasdale, P.R., Warnken, J., Jordan M.A. 2007. Evaluation of the in situ, time-integrated DGT technique by monitoring changes in heavy metal concentrations in estuarine waters. *Environmental Pollution*. 148: 213 - 220.
- Mojsilovic O., McLaren R.G., Condron, L.M. 2011. Modelling arsenic toxicity in wheat: Simultaneous application of diffusive gradients in thin films to arsenic and phosphorus in soil. *Environmental Pollution*. 159: 2996-3002.
- Morford J., Kalnejaisa L., Martina W., Francoisa R., Karleb I.M. 2003. Sampling marine pore waters for Mn, Fe, U, Re and Mo: modifications on diffusional equilibration thin film gel probes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 285: 85– 103.
- Scally S., Davison, W., Zhang, H. 2006. Diffusion coefficients of metals and metal complexes in hydrogels used in diffusive gradients in thin films, *Analytica Chimica Acta*. 558: 222–229.
- Shaaban A.F., Fadel D.A., Mahmouda A.A., Elkomy M.A., Elbahy S.M. 2014. Synthesis of a new chelating bearing amidoxime group for adsorption of Cu(II), Ni(II) and Pb(II) by batch and fixed-bed column methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2: 632–641.