

SPEIASI DAN BIOAVAILABILITAS LOGAM BERAT Pb DAN Cu PADA SEDIMET LAUT DI KAWASAN PANTAI CELUKAN BAWANG

I Made Siaka*, Dwindi Safitri, Oka Ratnayani
Program Studi Kimia, Fakultas MIPA Universitas Udayana
Jl. Raya Kampus Unud Bukit Jimbaran, Bali-Indonesia 80361
*Email: made_siaka@unud.ac.id

ABSTRAK: Karakteristik logam berat pada organisme dan sistem ekologis tidak dapat diterangkan hanya dengan mengetahui kandungan logam total dalam perairan, melainkan dengan penentuan bentuk geokimia atau spesies logam tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan spesiasi dan bioavailabilitas logam berat Pb dan Cu pada sedimen di Kawasan Pantai Celukan Bawang Buleleng, Bali. Analisis logam total, spesiasi dan bioavailabilitas ditentukan dengan menerapkan metode digesti dan ekstraksi bertahap. Kandungan logam Pb dan Cu total dalam sedimen Pantai Celukan Bawang berturut-turut 17,2865-39,4533 mg/kg dan 12,9665-56,1346 mg/kg. Spesies logam Pb paling banyak berada sebagai fraksi *resistant* (29,75-67,10%), diikuti oleh fraksi tereduksi asam (22,45-31,67%), fraksi EFLE (*easily, freely, leachable, exchangeable*) dengan kisaran dari tidak terdeteksi (ND) hingga 29,33%, dan yang terendah berasosiasi dengan fraksi teroksidasi organik (ND-14,18%). Spesies logam Cu juga didominasi oleh fraksi *resistant* (80,52-90,22%), fraksi teroksidasi organik (4,81-17,20%) berada pada urutan ke dua, diikuti oleh fraksi EFLE (0,88-5,83%), dan terendah adalah fraksi tereduksi asam (ND-1,14%). Bioavailabilitas logam Pb yang sertamerta bioavailabel berkisar ND-29,33% dan yang berpotensi bioavailabel adalah 33,35-42,78%, sedangkan logam Pb yang nonbioavailabel adalah 29,75-67,10%. Berbeda dengan Pb, logam Cu didominasi oleh bentuk non bioavailabel yaitu berkisar 80,52-90,22%, diikuti oleh Cu yang berpotensi bioavailabel, yaitu 5,95-16,61%, dan terkecil adalah Cu yang bersifat sertamerta bioavailabel (0,88-5,83%).

Kata kunci: spesiasi; bioavailabilitas; Pb; Cu; pantai Celukan Bawang

ABSTRACT: The characteristics of heavy metals in organisms as well as on ecological systems cannot be explained by the only knowing total metal contents in sediments but by determining the geochemical forms or the metal species in the sediments. This study aimed to determine the speciation and bioavailability of heavy metals, Pb and Cu in sediments of Celukan Bawang Beach area of Singaraja, Bali. The total metals, speciation and bioavailability analysis were determined by applying a digestion and sequential extraction methods. The total metal contents of Pb and Cu in the sediments were 17.2865-39.4533 mg/kg and 12.9665-56.1346 mg/kg, respectively. The species distribution of the metals in the sediments was as follows: species of Pb was dominated by the form of resistant fraction (29.75-61.10%), followed by reducible acid fraction (22.45-36.25%), EFLE fraction (*easily, freely, leachable, exchangeable*) ranging from undetectable (ND) to 29.33%, and the lowest percentage fraction was associated with the organic oxidizable phase (ND-14.18%). The resistant fraction was also the most dominant for Cu (80.52-90.22%), but the oxidizable fraction (4.81-17.20%) was found in the second level, followed by the EFLE fraction (0.88-5.83%), and the lowest was associated with reducible fraction (ND-1.14%). The readily bioavailable Pb ranged from 3.62 to 29.33% and potentially bioavailable Pb was 33.35-42.78%, nonbioavailable Pb was 29.75-61.10%. Different from Pb, Cu metal was dominant as non bioavailable metal (80.52-90.22%) but 0.88-5.83% of the Cu was readily bioavailable and 5.95-16.61% was potentially bioavailable.

Keywords: speciation; bioavailability; Pb; Cu; Celukan Bawang beach

1. PENDAHULUAN

Aktivitas kehidupan manusia yang sangat tinggi ternyata telah menimbulkan bermacam-macam efek yang buruk bagi kehidupan manusia dan tatanan lingkungan hidup, salah satunya adalah pencemaran perairan. Di dalam perairan terdapat sedimen yang merupakan muara pembuangan dari bahan pencemar yang berasal dari daratan sehingga sedimen dapat digunakan sebagai indikator pencemaran. Salah satu bahan pencemar perairan tersebut adalah logam berat [1].

Keterikatan senyawa logam berat dengan komponen sedimen disebut spesies. Spesiasi suatu senyawa kimia dapat didefinisikan sebagai suatu proses identifikasi dan kuantifikasi berbagai spesies, bentuk dan fase yang terdapat pada suatu media. Spesiasi logam berat dalam media lingkungan (air, tanah, dan sedimen) akan menentukan bioavailabilitasnya. Bioavailabilitas adalah ketersediaan suatu zat yang dapat diserap oleh organisme hidup dan dapat menyebabkan respon fisiologis atau toksikologi merugikan [2].

Logam berat Pb dan Cu dalam perairan merupakan suatu masalah yang perlu mendapatkan perhatian khusus karena logam berat tersebut dapat berpengaruh buruk terhadap kesehatan manusia jika logam tersebut terakumulasi dalam tubuh organisme yang hidup di perairan tersebut. Logam berat dapat terakumulasi lebih besar pada organisme tropik tingkat tinggi dalam rantai makanan [3].

Kawasan Pantai Celukan Bawang berpotensi mengalami pencemaran logam berat Pb dan Cu karena adanya aktivitas industri maupun pelabuhan. Adanya aktivitas manusia tersebut yang melibatkan penggunaan bahan bakar fosil akan menghasilkan limbah gas yang mengandung logam berat Pb, dan ini terbawa ke udara kemudian terendapkan ke laut. Selanjutnya, dapat menurunkan kualitas lingkungan laut di sekitarnya.

Potensi pencemaran logam Cu juga dapat terjadi karena berasal dari aktivitas pencucian kapal dan limbah domestik seperti cairan pembersih lantai yang bermuara di pantai tersebut.

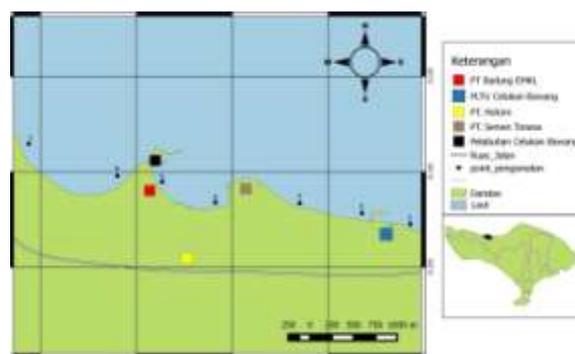
Pada penelitian ini dilakukan analisis kandungan logam Pb dan Cu total, spesiasi dan bioavailabilitas logam tersebut dalam sedimen laut di Kawasan Pantai Celukan Bawang.

2. PERCOBAAN

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: sampel sedimen, $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, H_2O_2 , HNO_3 pekat, HCl pekat, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dan akuades.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: labu ukur, pipet volume, gelas ukur, gelas beaker, *shaker* (penggojog listrik), kertas saring Whatman 42, neraca analitik, oven, ayakan $63\mu\text{m}$, pH meter, *hot plate*, dan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) merk Shimadzu AA- 7000.



Gambar 1. Denah pengambilan sampel

2.2 Metode

2.2.1 Pengambilan Sampel Sedimen

Sampel diambil di 7 titik secara acak di pantai celukan bawang. Penomoran sampel dimulai dari arah barat ke timur (kanan ke kiri pada peta). Sampel air

disimpan dalam botol polietilen dan ditambah HNO₃ pekat hingga pHnya tidak lebih dari 2. Sampel sedimen diambil dengan kedalaman ± 30 cm kira-kira sebanyak 500g pada masing-masing titik. Sampel langsung diayak dengan ayakan berukuran 63 µm di tempat dengan bantuan air laut di lokasi pengambilan sampel.

2.2.2 Preparasi sampel sedimen

Sampel sedimen yang bercampur dengan air diendapkan sampai endapan terpisah. Selanjutnya endapannya dikeringkan dalam oven pada suhu tidak lebih dari 60°C hingga kering (berat konstan).

2.2.3 Digesti Sedimen

Sebanyak 1 g sampel sedimen dimasukkan ke dalam gelas beaker, kemudian ditambah dengan 10 mL larutan *reverse aquaregia* (campuran HCl pekat dan HNO₃ pekat (1:3)). Selanjutnya campuran tersebut didigesti dalam *ultrasonic bath* pada suhu 60°C selama 45 menit. Digesti dilanjutkan dengan memanaskan larutan tersebut pada *hotplate* selama 45 menit dengan suhu 140°C. Larutan hasil digesti disentrifugasi, kemudian filtrat yang diperoleh diencerkan dengan aquades pada labu ukur 25 mL. Larutan ini kemudian disaring dan diukur dengan AAS [4].

2.2.4 Spesiasi Logam Pb dan Cu

Ekstraksi tahap 1 (fraksi EFLE)

Sebanyak 5 g sampel sedimen ditambahkan 25 mL CH₃COONH₄ 1 M (pH 7), digojog selama 3 jam dengan *shaker*. Selanjutnya, disentrifugasi dan supernatannya didekantasi dan disaring, lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Pb dan Cu dalam filtrat diukur dengan AAS pada panjang gelombang 217,0 nm untuk Pb dan 324,7 nm untuk Cu.

Ekstraksi tahap 2 (fraksi tereduksi asam atau fraksi Fe-Mn oksida)

Residu dari tahap 1 dicuci dengan 10 mL akuades kemudian ditambah 25 mL NH₂OH.HCl 0,25 M, diatur pada pH 2 dengan menambahkan HCl dan digojog selama 3 jam dengan *shaker*, kemudian disentrifugasi dan disaring. Filtratnya diencerkan dengan aquades pada labu ukur 50 mL dan dianalisis dengan AAS. Residu yang dihasilkan digunakan untuk ekstraksi selanjutnya.

Ekstraksi tahap 3 (fraksi oxidisable organic)

Residu tahap 2 dicuci dengan 10 mL akuades. Selanjutnya, ditambah 7,5 mL larutan H₂O₂ 30% dan dipanaskan dalam penangas air pada suhu 90 – 95°C. Campuran kemudian ditambah 25 mL larutan CH₃COONH₄ 1 M, diatur pHnya 2 dengan menambahkan HCl, kemudian digojog selama 3 jam lalu disentrifugasi dan disaring. Filtrat diencerkan pada labu ukur 50 mL dengan aquades, lalu logam Pb dan Cu diukur dengan AAS. Residu digunakan untuk ekstraksi selanjutnya.

Ekstraksi tahap 4 (fraksi resitant)

Residu tahap 3 dicuci dengan 10 mL akuades kemudian ditambah 10 mL larutan *reverse aquaregia*, campuran tersebut didigesti dalam *ultrasonic bath* pada suhu 60°C selama 45 menit. Digesti dilanjutkan dengan memanaskan larutan di atas *hotplate* selama 45 menit dengan suhu 140°C. Larutan hasil digesti disentrifugasi dan disaring, kemudian filtrat yang diperoleh diencerkan dalam labu ukur 50 mL dengan aquades. Larutan ini kemudian disaring dan diukur dengan AAS. Pada tahap ini diperoleh logam Pb dan Cu yang bersifat *resistant*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

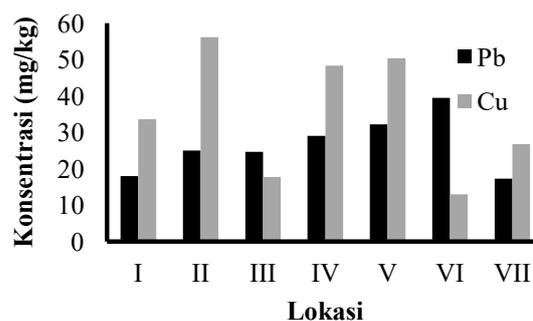
3.1 Konsentrasi Pb dan Cu total dalam Sedimen

Dalam penelitian sebelumnya yang tidak dipublikasikan, dilakukan analisis untuk menentukan konsentrasi logam Pb dan Cu dalam air laut pada ketujuh titik lokasi pengambilan sampel sedimen. Hal

ini dilakukan untuk dapat membandingkan jumlah kandungan logam Pb dan Cu total dalam air dan sedimen. Kandungan logam berat Pb dan Cu lebih banyak dalam sedimen dari pada dalam air laut di setiap lokasi pengambilan sampel. Hal ini disebabkan karena keadaan pH air laut pada lokasi pengambilan sampel memiliki rentang pH 7,34 hingga 8,17. Pada keadaan pH tersebut, logam berat Pb dan Cu cenderung membentuk hidroksida atau oksida yang cenderung mengendap ke dasar perairan sehingga keberadaannya di sedimen lebih besar dari pada di air laut [5]. Hasil yang sama juga diperoleh pada penelitian yang dilakukan oleh Siaka (2016) [6] didapatkan konsentrasi Logam Pb dan Cu total dalam sedimen lebih besar dibandingkan dengan jumlah logam total yang terdapat di air laut.

Distribusi logam berat Pb dalam sedimen meningkat dari lokasi I hingga puncaknya pada lokasi VI dan pola distribusi ini mirip dengan pola distribusinya di air. Ini berarti bahwa banyaknya logam berat Pb di perairan berbading lurus dengan banyaknya logam berat di sedimen. Tingginya konsentrasi logam Pb di lokasi I-VI disebabkan karena pada lokasi tersebut menjadi pusat tempat kegiatan perindustrian serta aktivitas pelabuhan di perairan kawasan Pantai Celukan Bawang. Pada lokasi VII mengalami penurunan sangat tajam, karena tidak banyak kegiatan yang dilakukan di lokasi tersebut bila dibandingkan dengan lokasi I sampai dengan VI. Lokasi I dan II memiliki kadar logam berat Pb yang lebih kecil dibandingkan lokasi III sampai VI, meskipun lokasi pengambilan sampel terletak di dekat PLTU Celukan Bawang. Keadaan ini dimungkinkan karena logam berat Pb yang dihasilkan oleh PLTU lebih banyak teremis ke udara daripada ke air sehingga hanya sedikit yang mengendap ke sedimen.

Pada Gambar 2. distribusi logam Cu berbentuk tidak beraturan. Konsentrasi logam Cu tertinggi diperoleh pada sampelsedimen dari Lokasi II yaitu di



Gambar 2. Kandungan logam Pb dan Cu total dalam sedimen

sebelah barat PLTU Celukan Bawang. Tingginya konsentrasi logam Cu di kawasan tersebut dapat disebabkan oleh adanya penggunaan cairan pembersih yang masif pada pemukiman padat penduduk yang sebagian besar pembuangan limbah cairannya mengalir ke laut. Hal ini ditandai dengan banyaknya saluran (selokan-selokan) yang mengarah ke laut di sekitar kawasan pantai tersebut. Selain pemukiman dan industri, aktivitas pencucian kapal di pelabuhan juga memberikan kontribusi besar bagi keberadaan logam Cu dalam sedimen.

3.3 Spesiasi Logam Pb dan Cu pada Sedimen

Pada ekstraksi tahap I diperoleh fraksi EFLE yang relatif rendah yaitu tidak terdeteksi (ND) hingga 29,33% (Tabel 1.) untuk logam Pb. Fraksi ini menunjukkan bahwa hampir seperempat dari logam Pb total dalam sedimen merupakan spesies paling labil. Spesies ini berada sebagai ion bebas, senyawa karbonat, senyawa mudah larut atau senyawa yang mudah tertukarkan. Akan tetapi, logam Cu yang terekstraksi sebagai fraksi labil (EFLE) lebih rendah dibandingkan logam Pb yaitu pada kisaran 0,94-5,83% (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa tidak banyak logam Cu yang memiliki ikatan yang lemah/labil.

Fraksi Fe/Mn oksida untuk logam Pb relatif tinggi dan yang tertinggi terdapat pada lokasi VI yaitu lokasi yang berdekatan dengan pelabuhan kapal barang, sedangkan logam Cu sebagian besar tidak terdeteksi,

Tabel 1. Spesiasi Logam Pb dalam Sedimen

Persen Terekstraksi (%)	Lokasi						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
EFLE	13,62	20,14	22,69	26,83	29,33	27,47	ND
Tereduksi Asam	25,85	22,45	34,78	32,51	34,21	31,67	30,25
Teroksidasi Organik	8,21	14,18	6,23	0,84	ND	11,11	2,65
<i>Resistant</i>	52,33	43,23	36,30	39,82	36,46	29,75	67,10

Keterangan: ND = *Non Detected*

Tabel 3 Spesiasi Logam Cu dalam Sedimen

Persen Terekstraksi (%)	Lokasi						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
EFLE	0,94	0,88	2,87	1,75	1,54	5,83	2,36
Tereduksi Asam	ND	ND	ND	0,07	0,10	1,,14	ND
Teroksidasi Organik	11,28	17,20	16,61	7,96	8,46	4,81	10,88
<i>Resistant</i>	87,78	81,92	80,52	90,22	89,90	88,22	86,76

Keterangan: ND = *Non Detected*

hanya lokasi IV, V dan VI yang memiliki fraksi Fe/Mn oksida. Hal ini menunjukkan bahwa Fe/Mn oksida dalam sedimen cenderung mengikat Pb lebih banyak sehingga Cu kurang berasosiasi dengan fraksi tersebut.

Timbal (Pb) dengan persentase sebesar ND-14,18% merupakan spesies yang berasosiasi dengan bahan organik/sulfida yang disebut dengan *oxidisable organic* di mana logam yang terikat pada bahan organik/sulfida dapat terdegradasi apabila ada jika ada oksidator kuat pada sedimen/perairan tersebut. Pada logam Cu, fraksi *oxidisable organic* merupakan fraksi yang cukup tinggi dibandingkan dengan fraksi EFLE dan fraksi *reducible acid* meskipun hanya berkisar 4,81%-17,20%. Hal ini menunjukkan bahwa kurang dari 20% logam Cu tersebut berasosiasi dengan organik dan ini dapat dikatakan bahwa Cu memiliki afinitas sangat kuat terhadap organik [7].

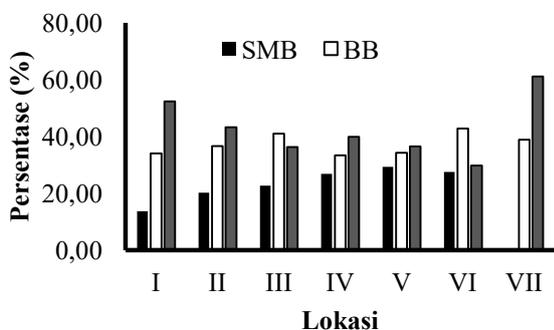
Sebesar 29,75-61,10% logam Pb dan 80,52-90,22% logam Cu berada pada fraksi *resistant*. Fraksi ini bersifat sangat stabil karena terikat kuat dengan fase silikat dan atau mineral stabil. Logam yang berasosiasi dengan silikat atau mineral stabil merupakan cemaran yang berasal dari pelapukan batuan secara alami. Logam yang terdapat pada fraksi ini hanya dapat larut dengan pereaksi *Aquaregia* (HNO₃ dan HCl 1:3) yang mana kation terikat kuat pada residu dapat larut dengan cepat membentuk ion-ion dari kedua logam atau *Aquaregia* sebagai pengoksidasi kation logam [8].

Dari uraian di atas, spesiasi Pb dalam sedimen di kawasan Pantai Celukan Bawang didominasi oleh fraksi *resistant* (29,75-67,10%) kemudian diikuti fraksi tereduksi asam (*reducible acid*) (22,45-31,67%) dan fraksi EFLE (*easily, freely, leachable* dan *exchangeable*) (ND-29,33%), sementara fraksi teroksidasi organik (*oxidisable organic*) paling rendah

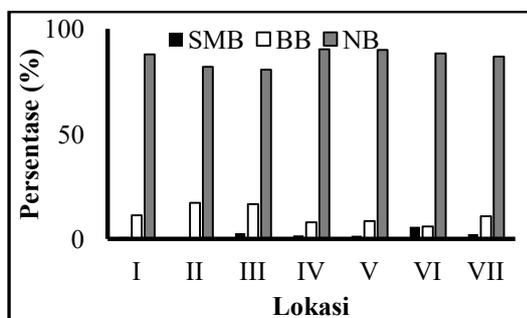
yaitu (ND-14,18%). Berbagai fraksi Cu dalam sedimen dari yang terbesar ke yang terkecil berturut-turut sebagai berikut: fraksi *resistant* (80,52-90,22%), teroksidasi organik (4,81-17,20%), dan fraksi *EFLE* (0,88-5,83%) sedangkan fraksi *reducible acid* dari tidak terdeteksi sampai 1,14%.

3.4 Bioavailabilitas Pb dan Cu

Bioavailabilitas logam berat Pb dan Cu ditetapkan dengan membandingkan konsentrasi logam yang terekstraksi pada setiap tahap dengan konsentrasi logam berat total pada masing-masing sampel sedimen di setiap lokasi. Logam yang terekstraksi pada tahap 1 (*EFLE*) merupakan logam yang sertamerta bioavailabel (tersedia untuk hayati). Tahap 2 dan 3 (*reducible acid* dan *oxidisable organic*) adalah logam yang berpotensi bioavailabel dan tahap 4 (*resistant*) adalah logam yang non bioavailabel. Bioavailabilitas logam berat Pb dan Cu dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Bioavailabilitas logam Pb



Gambar 4. Bioavailabilitas logam Cu

Secara umum, tingkat bioavailabilitas logam Pb pada ketujuh lokasi menurun sesuai urutan non bioavailabel > berpotensi bioavailabel > sertamerta bioavailabel. Dari Gambar 3. dapat diketahui bahwa logam Pb yang sertamerta bioavailabel (ND-29,33%) meningkat dari lokasi I hingga lokasi V kemudian turun ke lokasi VI dan tidak terdeteksi pada lokasi VII. Logam Pb pada tahap I bersifat langsung bioavailabel karena sifatnya yang mudah lepas, sehingga logam Pb dalam fraksi ini mudah terbawa oleh arus laut. Dampak yang ditimbulkan adalah mudah terserapnya ion-ion logam ini oleh biota air dan dikhawatirkan dapat masuk ke rantai makanan.

Pada fraksi berpotensi bioavailabel persentasenya cukup tinggi yaitu berkisar antara 33,35% dan 42,78%. Berpotensi bioavailabel artinya tidak akan bersifat bioavailabel dalam keadaan normal, namun untuk logam yang terikat pada Fe/Mn oksida ikatannya akan berubah labil apabila adanya perubahan potensial reduksi dan untuk logam Pb yang terikat pada organik/sulfida akan terdegradasi dibawah proses oksidasi [9].

Logam Pb non bioavailabel berkisar antara 29,75% sampai 67,10%. Jumlah ini mengindikasikan logam yang bersifat non bioavailabel atau keberadaannya di alam tidak akan terserap oleh biota laut karena sifatnya yang memiliki ikatan kuat. Logam-logam ini berasal dari pelapukan batuan alami (*natural origin*) [8].

Persentase tertinggi dari logam Cu sebesar 80,52% sampai 90,22% berada sebagai logam yang non bioavailabel atau logam Cu yang terikat pada mineral stabil. Hal ini ini mengindikasikan bahwa sebagian besar logam Cu yang berada pada kawasan Pantai Celukan Bawang berasal dari pelapukan batuan alami (*natural origin*) dan tidak akan dapat berubah ikatannya menjadi labil sehingga tidak bioavailabel. Persentase logam Cu yang bersifat sertamerta bioavailabel jumlahnya relatif rendah (0,88-5,83%), pada persentase tersebut kemungkinan tidak banyak logam

Cu yang dapat terserap oleh biota air. Disamping itu, sebanyak 5,95-16,61% logam Cu yang berpotensi bioavailabel akan sulit terdegradasi dan menjadi bioavailabel karena sifat Cu yang memiliki afinitas sangat kuat terhadap zat organik yang terdapat pada mediana yaitu sedimen [7] sehingga Cu sulit lepas menjadi spesies logam bebas.

4. KESIMPULAN

Konsentrasi logam Pb dan Cu total berturut-turut 17,2865-39,4533 mg/kg dan 12,9665-56,1346 mg/kg. Spesiasi logam Pb di sedimen memiliki sebaran: fraksi *resistant* (29,75 - 67,10%) > fraksi tereduksi asam (22,45-31,67%) > fraksi EFLE (*easily, freely, leachable* dan *exchangeable*) (ND-29,33%) > fraksi teroksidasi organik (ND - 14,18%), sedangkan pada Cu sebarannya: fraksi *resistant* (80,52 -90,22%) > teroksidasi organik (4,81-17,20%) > fraksi EFLE (0,88-5,83%) > fraksi tereduksi asam (ND - 1,14%). Bioavailabilitas logam Pb sebanyak ND -29,33% bersifat sertamerta bioavailabel, 33,35 - 42,78% berpotensi bioavailabel dan 29,75 - 67,10% non bioavailabel. Bioavailabilitas logam Cu lebih banyak bersifat non bioavailabel 80,52 - 90,22%, sedangkan untuk bioavailabilitas yang bersifat sertamerta bioavailabel yaitu 5,95 - 16,61% dan berpotensi bioavailabel sebesar 0,88 - 5,83%.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak pengelola Kawasan Pantai Celukan Bawang yang telah memberikan izin untuk pengambilan sampel.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djuaningsih, N, A.K. Benito, H. Salim. 1982. *Aspek Toksikologi Lingkungan. Laporan Analisis Dampak Lingkungan.* Lembaga Ekologi Universitas Padjajaran Bandung
- [2] Davidson, C.M., R.P. Thomas, S.E. McVey, R. Perala, D. Littlejohn, and

- A.M. Ure. 1994. Evaluation Of A Sequential Extraction Procedure For The Speciation Of Heavy Metals In Sediments. *Analytica Chimica Acta*, 291: 277-286
- [3] Batley, G.E. 1987. *Heavy Metal Speciation in Waters, Sediments, and Biota from Lake Macquarie.* New South Wales.
- [4] Siaka, M., Owens, C. M., and Birch, G. F. 1998. Evaluation of Some Digestion Methods For The Determination of Heavy Metals In Sediment Samples By Flame-AAS. *Analytical Letters*. 31(4): 703-718.
- [5] Darmono, 1995, *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, UI-press, Jakarta
- [6] Siaka, I M., I G. A. M. D. A. Suastuti, I P. B. Mahendra. 2016. Distribusi Logam Berat Pb dan Cu Pada Air Laut, Sedimen, dan Rumput Laut di Perairan Pantai Pandawa. *Jurnal Kimia*. 10(2): 190-196
- [7] Reichman, S.M.A. 2002. *The Response Of Plant To Metal Toxicity: A Review Of Focusing On Copper, Magnase And Zinc, Australian Minerals And Energy* Environment Foundation: Melbourne, Australia.
- [8] Badri, M. A. and S. R, Aston. Observations In Heavy Metal Geochemical Associations In Polluted And Non-Polluted Estuarine Sediments. *environmental pollution (series B)*. 6, pp. 181-193, 1983
- [9] Gasparatos, D., C. Haidouti, adrinopoulos and O, areta., 2005. *Chemical Speciation And Bioavailabiliyy Of Cu, Zn And Pb In Soil From The National Garden Of Athens, Greece*, Proceedings: International Conference On Environmental Science And Technology, Rhodes Island, Greece, 1 – 3 September 2005