

**SPEIASI DAN BIOAVAILABILITAS LOGAM TEMBAGA (Cu) PADA BERBAGAI
UKURAN PARTIKEL SEDIMEN DI KAWASAN PANTAI SANUR**

Kristina Indra Yanthy T, Emmy Sahara, dan I G. A. Kunti Sri Panca Dewi

Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Udayana

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang bioavailabilitas dan spesiasi logam Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen yang diambil dari tiga lokasi di sepanjang Pantai Sanur, yaitu Pantai Sanur, Pantai Sindhu dan Pantai Mertasari. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan fraksi logam yang *bioavailable* bagi biota di pantai tersebut serta menentukan fraksi dari berbagai bentuk geokimia logam dalam sedimen. Preparasi sampel sedimen dilakukan dengan melakukan digesti dengan campuran HNO₃ dan HCl (3:1). Penentuan bioavailabilitas dan spesiasi dilakukan melalui ekstraksi tunggal dengan pelarut EDTA dan HCl, dan ekstraksi bertahap dengan beberapa pelarut.

Secara umum bioavailabilitas Cu yang diperoleh dengan ekstraksi EDTA lebih besar dari ekstraksi dengan HCl. Bioavailabilitas Cu yang paling tinggi ditemukan dalam sedimen dari Pantai Sanur dan Pantai Sindhu dengan ukuran partikel <63 µm dan dari Pantai Mertasari dengan ukuran partikel 63-106 µm. Dengan spesiasi, logam Cu pada fraksi *bioavailable* (fraksi *easily, freely, leachable, dan exchangeable* (EFLE), fraksi Fe/Mn oksida, fraksi organik dan sulfida) dan fraksi *resistant* diperoleh hasil berturut-turut sebagai berikut: Untuk Pantai Sanur pada ukuran partikel <63 µm sebesar 8,28% dan 10,31%, ukuran partikel 63-106 µm sebesar 5,34% dan 9,13%, ukuran partikel >106 µm sebesar 18,07% dan 5,26%. Pantai Sindhu pada ukuran partikel <63 µm sebesar 17,32% dan 15,69%, ukuran partikel 63-106 µm sebesar 6,98% dan 9,92%, ukuran partikel >106 µm sebesar 7,28% dan 7,77%. Pantai Mertasari pada ukuran partikel <63 µm sebesar 8,85% dan 11,79%, ukuran partikel 63-106 µm sebesar 13,33% dan 20,85%, ukuran partikel >106 µm sebesar 17,99% dan 38,42%.

Kata kunci: spesiasi, bioavailabilitas, logam Cu, sedimen, Pantai Sanur

ABSTRACT

A research on bioavailability and speciation of Cu in various sediment particle sizes collected from three sampling sites namely, Sanur, Sindhu and Mertasari Beaches along Sanur Beach was carried out. This study was aimed to determine the fractions of Cu available for aquatic organism and the geochemical forms of Cu in the sediments. Samples pretreatment were carried out by digestion with the use of the mixture of HNO₃ and HCl (3:1). The bioavailability and speciation were accomplished by the application of single extraction (with EDTA and HCl) and sequential extraction techniques.

Generally, it was found that EDTA extraction yielded higher bioavailability than that of HCl extraction. The highest bioavailability of Cu was showed by the sediment from Sanur Beach and Sindhu Beach at particle size of < 63 µm and from Mertasari Beach at particle size of 63-106 µm. From Cu speciation results it was found that the bioavailable (fractions of easily, freely, leachable, and exchangeable (EFLE), Fe/Mn oxide, organic and sulphide) and the resistant fractions were as follows: Sanur Beach at particle size of <63 µm were 8,28% and 10,31%, particle size of 63-106 µm were 5,34% and 9,13%, and particle size of >106 µm were 18,07% and 5,26%. Sindhu Beach at particle size of <63 µm were 17,32% and 15,69%, particle size of 63-106 µm were 6,98% and 9,92%, and particle size of >106 µm were 7,28% and 7,77%. Mertasari Beach at particle size of <63 µm 8,85% and 11,79%, particle size of 63-106 µm were 13,33% and 20,85%, and particle size of >106 µm were 17,99% and 38,42%.

Keywords: speciation, bioavailability, Cu metals, sediment, Sanur Beach

PENDAHULUAN

Keberadaan logam di lingkungan dan interaksinya dengan biota secara langsung terkait dengan sifat fisik kimia dari bentuk-bentuk atau fraksi yang mengikatnya. Istilah “Spesiasi” menggambarkan pendekatan analisis mulai dari penentuan konsentrasi total suatu unsur dilanjutkan dengan fraksinasi, klasifikasi kelompok, yang bertujuan untuk mengukur senyawa logam tunggal di dalam air dan sedimen (Pascoli, 1999).

Menurut Forstner dan Prosi (1979) kemampuan logam untuk dapat diabsorpsi oleh organisme didefinisikan sebagai “*Bioavailabilitas*” (ketersediaan hayati). Analisis spesiasi logam dalam ekosistem perairan muncul sebagai dasar yang kuat untuk pengembangan prediksi penilaian *bioavailabilitas* logam yang terikat pada sedimen maupun air.

Logam-logam berat yang mencemari lingkungan perairan memiliki sifat “Biomagnification” artinya dapat terakumulasi dalam jaringan organisme (Sunoko dkk, 1994). Logam berat juga dapat terakumulasi dalam sedimen yang terdapat pada perairan (Connel, dan Miller, 1995). Logam-logam yang terakumulasi di dalam sedimen sebenarnya tidak terlalu berbahaya bagi makhluk hidup di perairan, tetapi karena adanya pengaruh kondisi aquatik yang bersifat dinamis dan adanya perubahan pH yang menyebabkan logam-logam yang terendapkan dalam sedimen terionisasi ke perairan. Keadaan ini biasa terjadi di kawasan laut atau pantai (Batley, 1987).

Kawasan Pantai Sanur merupakan salah satu pantai di Bali yang diperkirakan telah tercemar. Hal ini dikarenakan banyaknya aktivitas yang dilakukan oleh industri pariwisata yang banyak menghasilkan limbah domestik, limbah dari industri galangan kapal, dan limbah dari olah raga/transport air yang menggunakan mesin, yang memungkinkan adanya pencemaran logam berat Cu yang cukup tinggi. Keberadaan logam Cu yang berasal dari kegiatan industri pariwisata banyak bersumber dari cairan pembersih lantai yang mengandung CuO dan yang dihasilkan dari cat-cat pelapis kapal. Logam Cu yang terkandung di dalam limbah

inilah yang nantinya terbawa menuju kawasan Pantai Sanur. Susilawan (2003) telah melaporkan bahwa konsentrasi logam Cu total pada sedimen di Pantai Sanur berkisar antara 14,8496-48,0843 mg/kg. Konsentrasi ini lebih besar daripada yang terdapat di air laut yaitu 0,0149-0,1115 mg/L.

Ketersediaan logam berat bagi organisme sangat dipengaruhi oleh keadaan fraksi penyusun sedimen terutama fraksi yang mampu mengadsorpsi atau bereaksi dengan logam-logam tersebut. Fraksi-fraksi yang mengikat logam berat diantaranya fraksi penukar ion, karbonat, pereduksi Fe/Mn oksida dan hidroksida, material organik dan sulfida, material kristal (Hanna, 1992). Pada penelitian sebelumnya Cahyadi (2000) telah melaporkan bahwa logam Cu yang terikat pada sedimen yang terdapat di pelabuhan benoa terikat paling besar pada fraksi organik sebagai senyawa sulfida (25-46%).

Dalam sedimen, logam berat terdistribusi pada berbagai ukuran partikel sedimen. Pada penelitian Agustinawati (2001) telah dipelajari hubungan antara ukuran partikel sedimen dengan konsentrasi logam berat Pb dan Cu di Pelabuhan Benoa. Fraksi logam tembaga (Cu) total paling besar konsentrasinya ditemukan pada ukuran partikel sedimen <63 μm yaitu 104,137-132,816 mg/kg, sedangkan untuk ukuran partikel 88-63 μm yaitu 46,355-196,359 mg/kg, ukuran partikel 100-88 μm yaitu 33,635-50,470 mg/kg, ukuran partikel 300-100 μm yaitu 0,474-26,039 mg/kg, untuk ukuran partikel >300 μm yaitu 0,153-9,242 mg/kg. Hal ini menandakan bahwa konsentrasi logam berat bertambah dengan semakin kecilnya ukuran partikel sedimen.

Sampai sejauh ini belum ada laporan mengenai spesiasi dan bioavailabilitas logam Cu dalam sedimen di kawasan Pantai Sanur, begitu pula dengan laporan mengenai distribusi dari berbagai fraksi geokimia logam Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen. Berkaitan dengan hal di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai spesiasi dan bioavailabilitas logam Cu tersebut pada berbagai ukuran partikel sedimen di kawasan Pantai Sanur.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : sampel sedimen Pantai, sampel air laut, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, HNO_3 , H_2O_2 , aquades, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, HONH_3Cl , HCl , EDTA. Semua zat kimia yang digunakan mempunyai derajat kemurnian proanalisis..

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain : *Eikman Grab Sediment Sampler*, botol polietilen, botol semprot, kantong plastik polietilen, kotak es, ayakan ukuran 63 dan 106 μm , indikator universal, gelas beaker, oven, mortar, kertas saring, corong kaca, neraca analitik, pipet volume, pipet tetes, batang pengaduk, labu ukur, gelas ukur, tabung reaksi, thermometer, pemanas listrik, *ultasonic bath*, penangas air, pengaduk magnet, alat sentrifugasi, desikator, Spektrofotometer Serapan Atom (AAS).

Cara Kerja

Pengambilan sampel sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada 3 lokasi secara acak di Kawasan Pantai Sanur, dimana sampel yang diambil adalah sedimen di bagian permukaan dengan kedalaman 0 sampai 10 cm. dari masing-masing lokasi diambil sekitar 0,5 kg sampel dengan menggunakan *Eikman Grab Sediment Sampler*. Dari masing-masing lokasi diambil air laut untuk tujuan pengayaan. Sampel dimasukkan ke dalam plastik polietilen, dimasukkan ke dalam kotak es dan segera dibawa ke laboratorium.

Perlakuan sampel sedimen

Sampel sedimen basah diayak menggunakan 2 buah ayakan, yaitu ayakan 63 μm dan 106 μm . Sampel sedimen diayak dengan bantuan air laut yang diambil dari tempat pengambilan sampel sedimen. Pengayakan sedimen basah dengan bantuan air laut dilakukan dengan tujuan agar semua butiran sedimen yang lolos dari ayakan mencerminkan ukuran sebenarnya di alam. Sampel hasil dari pengayakan terbagi menjadi 3 bagian, yaitu

sampel dengan ukuran partikel <63 μm , antara 63-106 μm , dan >106 μm . Butiran sedimen yang bercampur dengan air diendapkan selama satu hari sehingga terjadi pemisahan antara bagian padat dan cair. Selanjutnya cairan yang jernih didekantasi dan endapan pada setiap ukuran partikel dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C sampai diperoleh berat konstan. Sedimen yang sudah kering digerus, kemudian disimpan dalam botol kering sampai siap untuk dianalisis.

Pembuatan kurva kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dengan cara mengukur absorbansi dari larutan Cu dengan konsentrasi 1, 2, dan 4 ppm. Masing-masing larutan diukur absorbansinya pada $\lambda = 324,7$ nm. Kurva kalibrasi dibuat dengan memplot konsentrasi terhadap absorbansi.

Penentuan konsentrasi Cu total dalam sampel sedimen

Ditimbang teliti 1 gram sedimen kering lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan 10 mL campuran HNO_3 dan HCl (3:1) dan didestruksi dengan alat *ultrasonic bath* selama 45 menit pada suhu 60°C. Destruksi dilanjutkan dengan pemanas listrik pada suhu 140°C selama 45 menit. Hasil destruksi ini disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 25 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Kandungan Cu dalam filtrat ini kemudian diukur dengan AAS.

Penentuan Bioavailabilitas Cu dengan Ekstraksi Tunggal

- Ditimbang teliti 1 gram sedimen kering lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan 40 mL EDTA 0,05 M pH 6 dan diaduk selama 8 jam dengan menggunakan pengaduk magnet. Hasil ekstraksi ini disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Kandungan Cr dalam filtrate ini kemudian diukur dengan AAS.
- Ditimbang teliti 1 gram sedimen kering lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan 20 mL HCl 0,5 M dan diaduk selama 8 jam dengan menggunakan pengaduk magnet. Hasil

ekstraksi ini disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Kandungan Cr dalam filtrate ini kemudian diukur dengan AAS.

Penentuan Bioavailabilitas dan Spesiasi dengan Ekstraksi Bertahap

Untuk mengetahui bioavailabilitas dan konsentrasi/fraksi berbagai bentuk geokimia dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Ekstraksi tahap 1 (Penentuan Fraksi *easily, freely, leachable, and exchangeable* (EFLE))

Ditimbang teliti 5 gram sedimen kering lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan 25 mL NH₄CH₃COO 1 M pH 7 dan diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet selama 3 jam. Hasil ekstraksi ini disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 25 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Kandungan Cu dalam filtrat ini kemudian diukur dengan AAS. Residu yang diperoleh dibilas dengan 10 mL aquades kemudian digunakan untuk ekstraksi selanjutnya.

b. Ekstraksi tahap 2 (Penentuan Fraksi Fe/Mn - oksida)

Residu dari ekstraksi tahap 1 ditambahkan 25 mL HONH₃Cl 0,25 M pH 2 diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet selama 3 jam. Hasil ekstraksi ini disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 25 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Kandungan Cu dalam filtrat ini kemudian diukur dengan AAS. Residu yang diperoleh dibilas dengan 10 mL aquades kemudian digunakan untuk ekstraksi selanjutnya.

c. Ekstraksi tahap 2 Penentuan Fraksi Organik dan sulfida)

Residu dari ekstraksi tahap 2 dimasukkan ke dalam gelas beaker 50 mL kemudian ditambahkan 7,5 mL H₂O₂ 30% dipanaskan dalam waterbath pada suhu 90-95°C. Selanjutnya campuran ditambahkan dengan 25 mL NH₄CH₃COO 1 M dan HCl sampai pH 2 lalu diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet selama 3 jam. Hasil ekstraksi ini disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 25 mL dan

diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Kandungan Cu dalam filtrat ini kemudian diukur dengan AAS. Residu yang diperoleh dibilas dengan 10 mL aquades kemudian digunakan untuk ekstraksi selanjutnya.

d. Ekstraksi tahap 4 (Penentuan Fraksi *sis/resistant*)

Residu yang tersisa dari ekstraksi tahap 3 ditambahkan 15 mL HCl pekat dan 5 mL HNO₃ pekat (*aqua regia*, HCl dan HNO₃, 3:1). Campuran dipanaskan menggunakan pemanas listrik selama 45 menit pada suhu 140°C. Filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL lalu diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Kandungan Cu dalam filtrat ini kemudian diukur dengan AAS.

Penentuan konsentrasi Cr dalam sampel sedimen

Filtrat hasil ekstraksi diukur dengan AAS menggunakan lebar celah 1 nm. Penentuan konsentrasi logam Cr pada sampel sedimen dilakukan dengan teknik kurva kalibrasi yang berupa garis linier, sehingga dapat ditentukan konsentrasi sampel dari absorbansi yang terukur. Setelah konsentrasi pengukuran diketahui, maka konsentrasi sebenarnya dari Cr dalam sampel kering dapat ditentukan dengan perhitungan :

$$M = \frac{C \times V \times f}{b}$$

Dimana:

- M = Konsentrasi logam Cr dalam sampel sedimen (mg/Kg)
- C = Konsentrasi berdasarkan nilai absorbansi (mg/L)
- V = Volume larutan hasil ekstraksi sampel (mL)
- f = Faktor pengenceran
- b = Berat sampel sedimen (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan kurva kalibrasi Cu standar

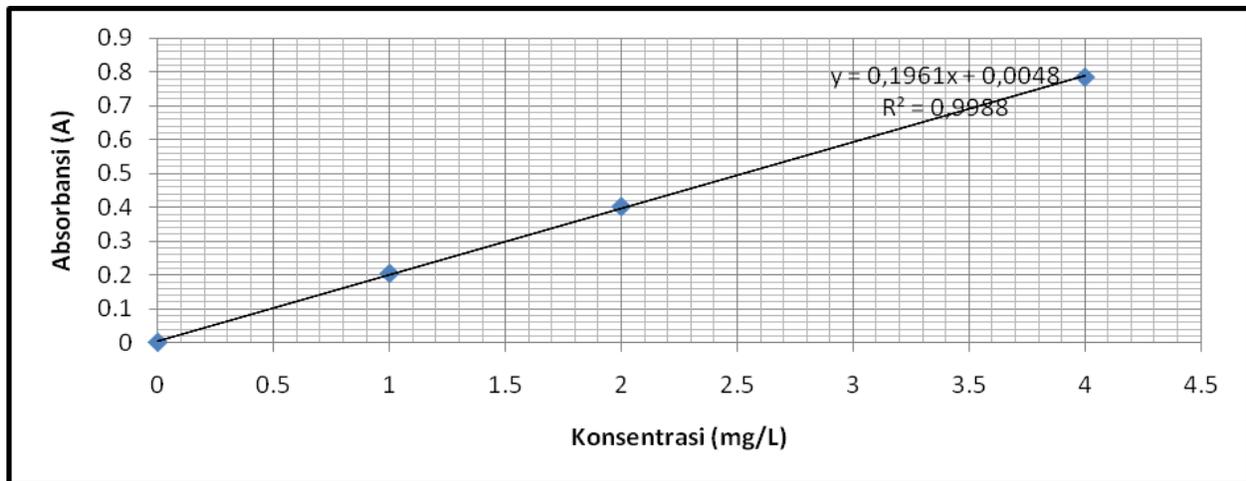
Hasil dari pengukuran absorbansi larutan Cu standar pada panjang gelombang 324,7 nm dapat dibuat kurva kalibrasi.

Persamaan regresi untuk kurva di atas diperoleh $y = 0,1961x + 0,0048$ dengan $r = 0,9988$, nilai ini menunjukkan bahwa absorbansi

dengan konsentrasi memberikan hubungan yang linier.

Penentuan kandungan logam Cu total dalam sampel sedimen

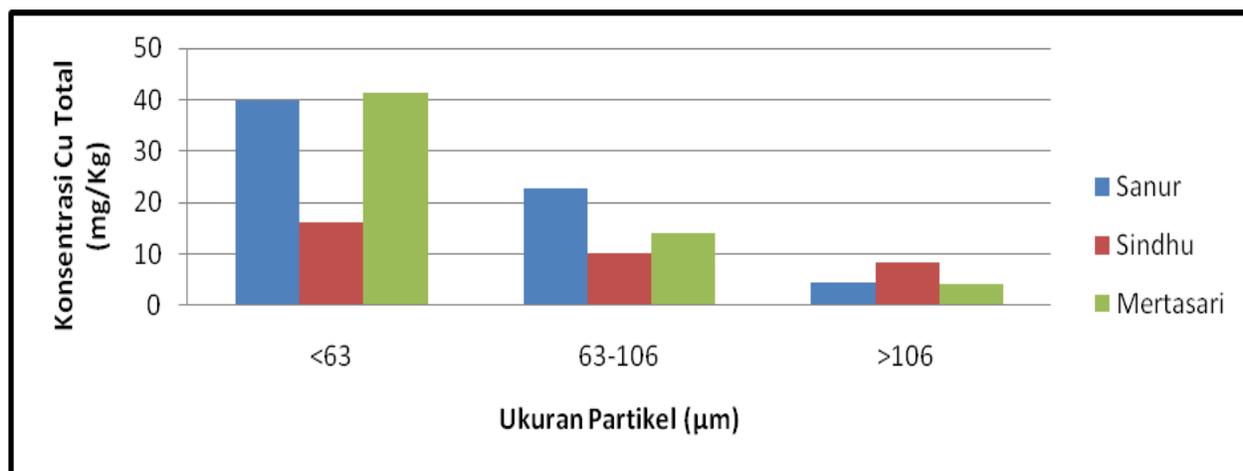
Penentuan kandungan logam Cu total dalam sampel sedimen ditentukan dengan mengalurkan absorbansi sampel pada kurva kalibrasi. Pengukuran logam Cu total dalam sedimen dapat dilihat dalam Tabel 1.



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Absorbansi terhadap Konsentrasi

Tabel 1. Konsentrasi Logam Cu Total pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen

Lokasi	Ukuran Partikel (μm)	Konsentrasi (mg/L)			Konsentrasi (mg/kg) \pm SD
		1	2	3	
PANTAI SANUR	<63	1,5971	1,6277	1,5665	39,8542 \pm 0,7595
	63-106	0,9240	0,8934	0,9240	22,6627 \pm 0,4407
	>106	0,1897	0,1591	0,1897	4,4610 \pm 0,4382
PANTAI SINDHU	<63	0,6486	0,6486	0,6486	16,1088 \pm 0,0024
	63-106	0,4039	0,4039	0,4039	10,0771 \pm 0,0026
	>106	0,3733	0,3121	0,3121	8,2677 \pm 0,8783
PANTAI MERTA SARI	<63	1,6583	1,6583	1,6889	41,3427 \pm 0,4436
	63-106	0,5569	0,5875	0,5569	14,0597 \pm 0,4380
	>106	0,1591	0,1591	0,1897	4,1938 \pm 0,4373



Gambar 2. Perbandingan Konsentrasi Cu Total pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen

Tabel 2. Bioavailabilitas Logam Cu Melalui Ekstraksi dengan EDTA dan Ekstraksi HCl

Lokasi	Pereaksi	Ukuran Partikel (μm)	Konsentrasi Cu(mg/kg) ± SD	Bioavailabilitas %
PANTAI SANUR	EDTA	<63	32,7496 ± 0	82,17
		63 - 106	1,9192 ± 0	8,47
		>106	0,9138 ± 0	20,48
	HCl	<63	3,1896 ± 0,2938	8,00
		63 - 106	1,8321 ± 0	8,08
		>106	0,4751 ± 0,2938	10,65
PANTAI SINDHU	EDTA	<63	3,3589 ± 0	20,85
		63 - 106	1,6622 ± 0,2938	16,49
		>106	0,3054 ± 0	3,69
	HCl	<63	0,9103 ± 0	5,65
		63 - 106	0,1524 ± 0	1,51
		>106	0,1527 ± 0	1,85
PANTAI MERTA SARI	EDTA	<63	4,3772 ± 0,8816	10,59
		63 - 106	1,8325 ± 0	13,03
		>106	0,3053 ± 0	7,28
	HCl	<63	1,4248 ± 0,2204	3,45
		63 - 106	0,7899 ± 0,1396	5,62
		>106	0,1522 ± 0	3,63

Konsentrasi logam Cu total dalam sedimen dari lokasi Pantai Sanur pada ukuran partikel paling kecil <63 μm sebesar 39,8542 mg/kg, pada ukuran partikel 63-106 μm sebesar 22,6627 mg/kg, dan pada ukuran partikel terbesar >106 μm sebesar 4,4610 mg/kg.

Sedimen dari lokasi Pantai Sindhu memiliki konsentrasi logam Cu total berturut-turut dari ukuran partikel paling kecil <63 μm sebesar 16,1088 mg/kg, ukuran partikel 63-106 μm diperoleh sebesar 10,0771 mg/kg, dan pada

ukuran partikel terbesar >106 μm diperoleh sebesar 8,2677 mg/kg.

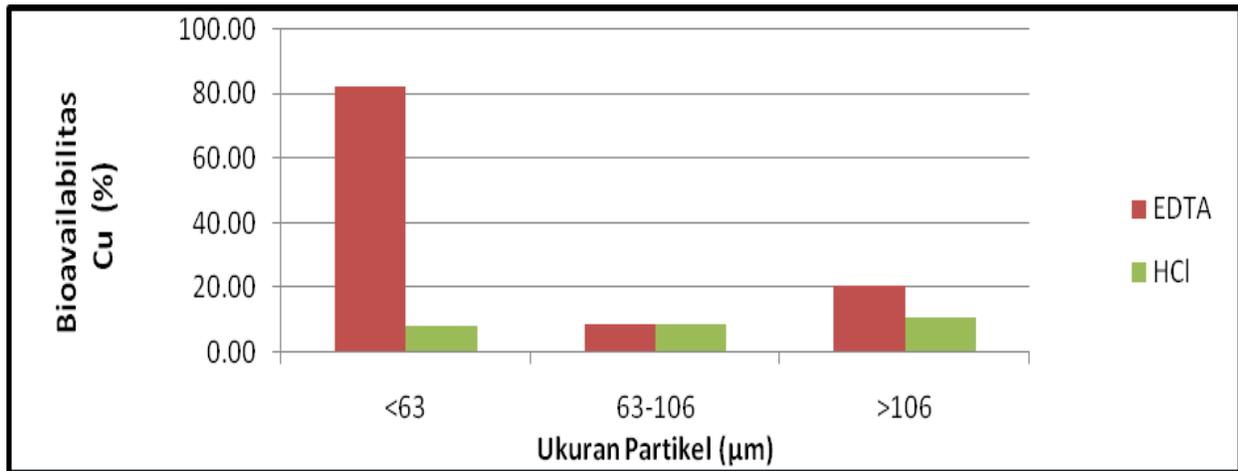
Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa Pantai Mertasari memiliki konsentrasi logam Cu total dalam sedimen berturut-turut dari yang terbesar terletak pada ukuran partikel terkecil <63 μm sebesar 41,3427 mg/kg, ukuran partikel 63-106 μm sebesar 14,0597 mg/kg, dan pada ukuran partikel terbesar >106 μm diperoleh sebesar 4,1938 mg/kg.

Dari hasil yang diperoleh di 3 titik lokasi diatas dapat dilihat bahwa partikel sedimen yang ukurannya paling kecil <63 μm memiliki konsentrasi logam Cu total terbesar, sedangkan partikel sedimen yang ukurannya terbesar >106

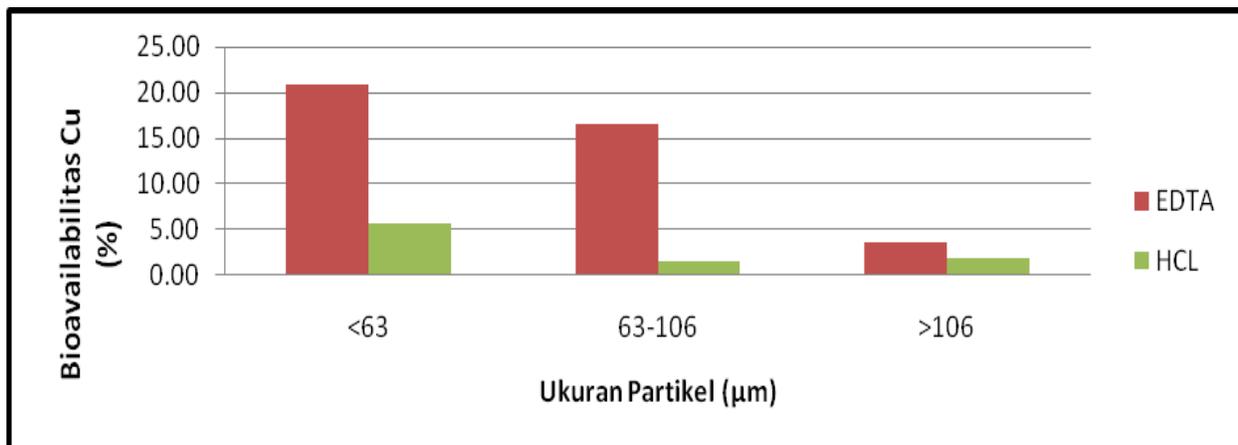
μm memiliki konsentrasi logam Cu total terkecil. Jadi semakin kecil ukuran partikel sedimen semakin besar konsentrasi logam Cu totalnya.

Penentuan bioavailabilitas logam Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen dengan ekstraksi tunggal

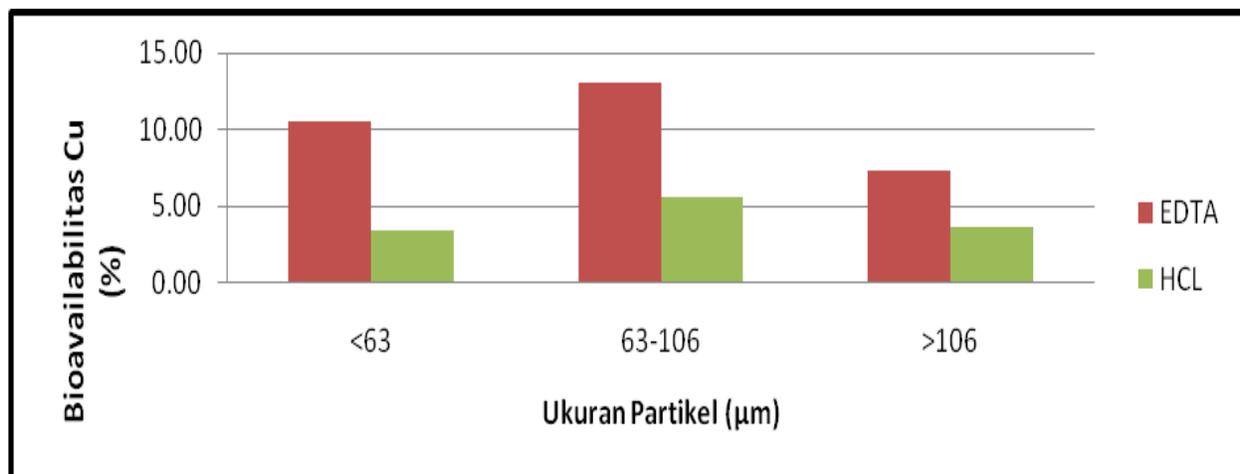
Besarnya bioavailabilitas dalam sampel sedimen dapat ditentukan melalui ekstraksi dengan EDTA dan HCl (Batley, 1987). Fraksi logam yang didapatkan dari Ekstraksi EDTA dan HCl keduanya menunjukkan Fraksi *bioavailable*. Hasil bioavailabilitas logam Cu dengan ekstraksi tunggal dalam sampel sedimen dapat dilihat dalam Tabel 2.



Gambar 3. Perbandingan Konsentrasi Cu Total pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen



Gambar 4. Bioavailabilitas Cu dalam Sedimen dari Pantai Sindhu dengan Ekstraksi EDTA dan HCl



Gambar 5. Bioavailabilitas Cu dalam Sedimen dari Pantai Mertasari dengan Ekstraksi EDTA dan HCl

Logam Cu dari lokasi Pantai Sanur yang dapat terekstraksi dengan EDTA (pH 6) pada ukuran partikel <63 μm sebesar 82,17%, ukuran partikel 63-106 μm sebesar 8,47%, dan ukuran partikel >106 μm sebesar 20,48%, sedangkan yang dapat terekstraksi dengan HCl pada ukuran partikel <63 μm sebesar 8,00%, ukuran partikel 63-106 μm sebesar 8,08%, dan ukuran partikel >106 μm sebesar 10,65%.

Pada lokasi Pantai Sindhu Logam Cu yang dapat terekstraksi dengan EDTA (pH 6) berturut-turut dari ukuran partikel <63 μm sebesar 20,85 %, ukuran partikel 63-106 μm sebesar 16,49 %, dan ukuran partikel >106 μm sebesar 3,69%, sedangkan dari ekstraksi HCl diperoleh hasil pada ukuran partikel <63 μm sebesar 5,65%, ukuran partikel 63-106 μm sebesar 1,51%, dan ukuran partikel >106 μm sebesar 1,85%.

Logam Cu dalam sedimen yang dapat terekstraksi EDTA (pH 6) di lokasi Pantai Mertasari pada ukuran partikel <63 μm sebesar 10,59%, ukuran partikel 63-106 μm sebesar 13,03%, dan ukuran partikel >106 μm sebesar 7,28%, sedangkan yang terekstraksi HCl pada ukuran partikel <63 μm sebesar 3,45%, ukuran partikel 63-106 μm sebesar 5,62%, dan ukuran partikel >106 μm sebesar 3,63%.

Dari masing-masing lokasi dapat diketahui bahwa pada lokasi Pantai Sanur dan Pantai Sindhu logam Cu yang bioavailabilitasnya tinggi terletak pada ukuran

partikel <63 μm sebesar 82,17% dan 20,85%, sedangkan pada lokasi Pantai Mertasari terletak pada ukuran partikel 63-106 μm yaitu sebesar 13,03%. Hal ini dikarenakan semakin banyak persentase logam Cu yang dapat terekstraksi dengan EDTA, maka semakin lemah ikatan logam dalam sedimen sehingga semakin besar kandungan logam yang dapat terionisasi ke perairan dan tersedia untuk biota yang hidup di lingkungan tersebut, begitu juga sebaliknya semakin kecil persentase logam Cu yang dapat terekstraksi dengan EDTA maka semakin kuat ikatan logam dalam sedimen sehingga semakin kecil kandungan logam yang dapat terionisasi ke perairan dan tersedia untuk biota yang hidup di lingkungan tersebut.

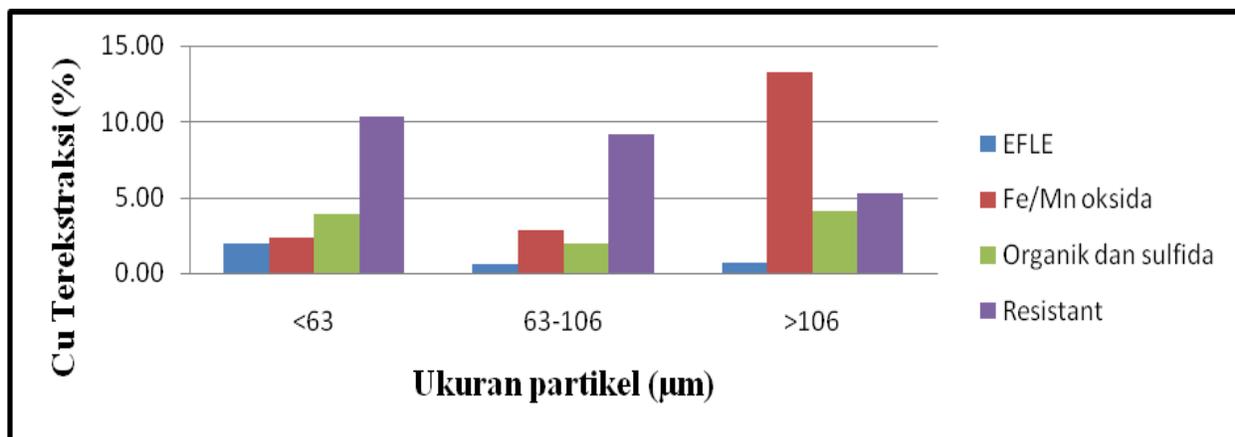
Penentuan bioavailabilitas dan spesiasi logam Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen dengan ekstraksi bertahap.

Penentuan bioavailabilitas dan spesies atau penentuan fraksi geokimia logam Cu pada berbagai ukuran partikel di dalam penelitian ini menggunakan teknik ekstraksi bertahap (Hanna, 1992). Ekstraksi bertahap ini akan memberikan informasi mengenai logam berat dalam fraksi EFLE (*easily, freely, leachable dan exchangeable*), fraksi Fe/Mn oksida, fraksi organik dan fraksi *resistant*. Hasil konsentrasi dan bioavailabilitas Cu dengan ekstraksi bertahap dapat dilihat pada Tabel 3.

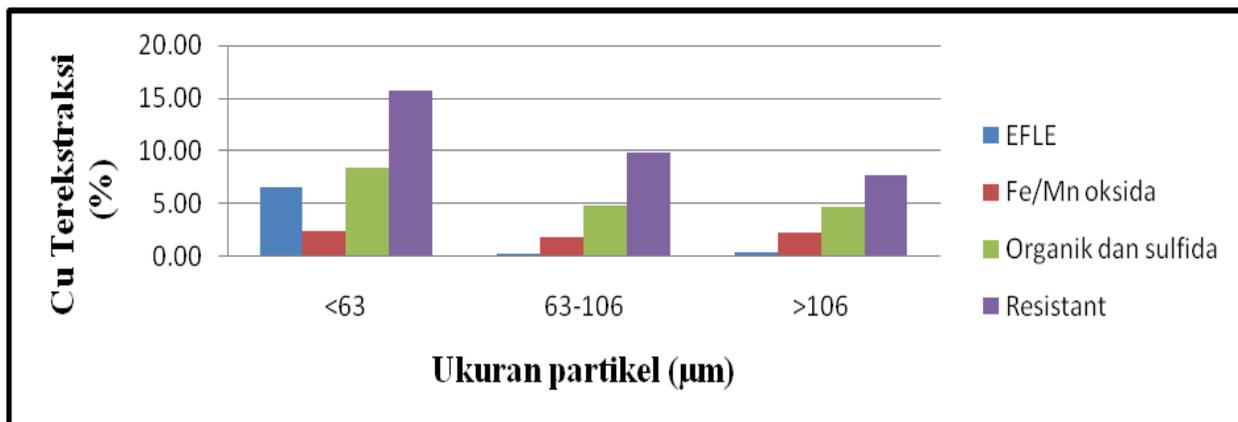
Tabel 3. Konsentrasi dan Bioavailabilitas Cu dengan Ekstraksi Bertahap

Lokasi	Ukuran Partikel (μm)	Tahap	Konsentrasi (mg/kg)	Bioavailabilitas (%)	Nonioavailable (%)
PANTAI SANUR	<63	1	$0,7950 \pm 0$	1,99	-
		2	$0,9479 \pm 0$	2,38	-
		3	$1,5594 \pm 0$	3,91	-
		sisa	$4,1075 \pm 0,0883$	-	10,31
	63 - 106	1	$0,1325 \pm 0,0883$	0,58	-
		2	$0,6422 \pm 0,1529$	2,83	-
		3	$0,4384 \pm 0,0883$	1,93	-
		sisa	$2,0694 \pm 0,0884$	-	9,13
	>106	1	$0,0306 \pm 0$	0,69	-
		2	$0,5915 \pm 0,0883$	13,26	-
		3	$0,1836 \pm 0$	4,12	-
		sisa	$0,2345 \pm 0,0883$	-	5,26
PANTAI SINDHU	<63	1	$1,0495 \pm 0,0882$	6,51	-
		2	$0,3872 \pm 0,0883$	2,40	-
		3	$1,3551 \pm 0,0883$	8,41	-
		sisa	$2,5268 \pm 0,0876$	-	15,69
	63 - 106	1	$0,0306 \pm 0$	0,30	-
		2	$0,1836 \pm 0$	1,82	-
		3	$0,4895 \pm 0$	4,86	-
		sisa	$0,9995 \pm 0,1767$	-	9,92
	>106	1	$0,0306 \pm 0$	0,37	-
		2	$0,1835 \pm 0$	2,22	-
		3	$0,3874 \pm 0,0884$	4,69	-
		sisa	$0,6423 \pm 0$	-	7,77
PANTAI MERTA SARI	<63	1	$0,8973 \pm 0,0883$	2,17	-
		2	$1,1013 \pm 0$	2,66	-
		3	$1,6621 \pm 0,0883$	4,02	-
		sisa	$4,8742 \pm 0,0883$	-	11,79
	63 - 106	1	$0,2341 \pm 0,0882$	1,67	-
		2	$0,8958 \pm 0,0882$	6,37	-
		3	$0,7431 \pm 0,0882$	5,29	-
		sisa	$2,9316 \pm 0,1527$	-	20,85
	>106	1	$0,0306 \pm 0$	0,73	-
		2	$0,6934 \pm 0,0883$	16,53	-
		3	$0,0306 \pm 0$	0,73	-
		sisa	$1,6111 \pm 0,1766$	-	38,42

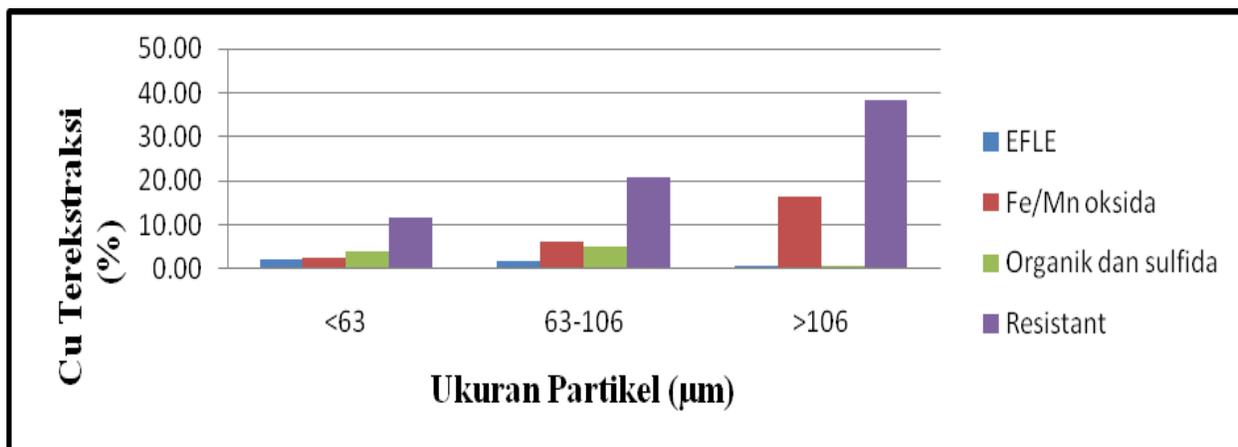
Keterangan : Tahap 1 : Fraksi EFLE, Tahap 2 : Fraksi Fe/Mn-oksida, Tahap 3 : Fraksi organik dan Tahap 4/sisa : Fraksi *resistant*



Gambar 6. Fraksi Geokimia Cu (%) dalam Sedimen dari Pantai Sanur dengan Ekstraksi Bertahap



Gambar 7. Fraksi Geokimia Cu (%) dalam Sedimen dari Pantai Sindhu dengan Ekstraksi Bertahap



Gambar 8. Fraksi Geokimia Cu (%) dalam Sedimen dari Pantai Mertasari dengan Ekstraksi Bertahap

Fraksi geokimia yang ada hubungannya dengan sumber masuknya logam berat Cu ke perairan dibedakan menjadi fraksi *non-resistant* dan fraksi *resistant*. Penjumlahan secara matematis dari fraksi EFLE (*easily, freely, leachable dan exchangeable*), fraksi Fe/Mn oksida, dan fraksi organik disebut sebagai fraksi *non-resistant* atau fraksi *bioavailable*.

Fraksi geokimia logam Cu (Gambar 6) pada ukuran partikel <63 µm dan 63-106 µm didominasi oleh fraksi *resistant* sebesar 10,31% dan 9,13%, sedangkan pada ukuran partikel >106 µm didominasi fraksi Fe/Mn oksida sebesar 13,26%. Hasil analisis menunjukkan bahwa sedimen dengan ukuran partikel <63 µm dan 63-106 µm memiliki fraksi logam *resistant* sebesar 10,31% dan 9,13% lebih tinggi dari pada fraksi logam *non-resistant* yaitu sebesar 8,28% dan 5,34%, sedangkan untuk ukuran partikel >106 µm memiliki fraksi logam *non-resistant* sebesar 18,07% lebih tinggi dari pada fraksi *resistant* sebesar 5,26%.

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa fraksi geokimia logam Cu dalam sedimen di Pantai Sindhu, pada ukuran partikel <63 µm, 63-106 µm, dan >106 µm berturut-turut di dominasi oleh fraksi *resistant* berturut-turut sebesar 15,69%, 9,92%, dan 7,77%. Hasil analisis menunjukkan pada ukuran partikel <63 µm dalam sedimen memiliki fraksi logam *non-resistant* sebesar 17,32% lebih besar dari pada fraksi logam *resistant* sebesar 15,69%, sedangkan pada ukuran partikel 63-106 µm dan >106 µm fraksi logam *resistantnya* sebesar 9,92% dan 7,77% lebih besar dari komponen logam *non-resistantnya* sebesar 6,98% dan 7,28%.

Fraksi geokimia logam Cu dalam sedimen di lokasi Pantai Mertasari pada ukuran partikel <63 µm, 63-106 µm, dan >106 µm didominasi oleh fraksi *resistant* yaitu masing-masing sebesar 11,79%, 20,85%, dan 38,42%, sedangkan hasil analisis menunjukkan bahwa sedimen pada ukuran partikel <63 µm, 63-106 µm, dan >106 µm memiliki fraksi logam *resistant* berturut-turut sebesar 11,79%, 20,85%, dan 38,42% lebih besar dari fraksi *non-resistant* sebesar 8,85%, 13,33% dan 17,99%.

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh dari fraksi geokimia logam Cu pada masing-masing lokasi di atas diketahui bahwa

logam Cu dalam sedimen yang terdapat dalam fraksi *resistant* terletak di lokasi Pantai Sanur pada ukuran partikel <63 µm dan 63-106 µm, Pantai Sindhu pada ukuran partikel 63-106 µm dan >106 µm, dan Pantai Mertasari pada ukuran partikel <63 µm, 63-106 µm, dan >106 µm. Komponen logam Cu yang terdapat dalam fraksi *non-resistant* terletak di lokasi Pantai Sanur pada ukuran partikel >106 µm dan di lokasi Pantai Sindhu pada ukuran partikel <63 µm.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Bioavailabilitas logam Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen yang diperoleh melalui ekstraksi EDTA (pH 6) lebih besar dibandingkan dengan logam Cu yang terekstraksi HCl. Bioavailabilitas yang paling tinggi diperoleh dalam sedimen dengan ukuran partikel <63 µm dari lokasi Pantai Sanur dan Pantai Sindhu berturut-turut sebesar 82,17% dan 20,85%, dan pada sedimen dengan ukuran partikel 63-106 µm dari Pantai Mertasari yaitu sebesar 13,03%.
2. Spesiasi logam Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen dengan ekstraksi bertahap memberikan hasil bahwa fraksi *bioavailable* (fraksi EFLE, fraksi Fe/Mn oksida, fraksi organik dan sulfida) dan fraksi *resistant* dalam sedimen berturut-turut sebagai berikut: Untuk Pantai Sanur pada ukuran partikel <63 µm sebesar 8,28% dan 10,31%, ukuran partikel 63-106 µm sebesar 5,34% dan 9,13%, serta sedimen dengan ukuran partikel >106 µm sebesar 18,07% dan 5,26%. Sedimen dari Pantai Sindhu, pada ukuran partikel <63 µm sebesar 17,32% dan 15,69%, ukuran partikel 63-106 µm sebesar 6,98% dan 9,92%, serta sedimen dengan ukuran partikel >106 µm sebesar 7,28% dan 7,77%. Sedimen dari Pantai Mertasari pada ukuran partikel <63 µm sebesar 8,85% dan 11,79%, ukuran partikel 63-106 µm sebesar 13,33% dan 20,85%, serta ukuran partikel >106 µm sebesar 17,99% dan 38,42%.

Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai spesiasi dan bioavailabilitas logam berbahaya lain seperti Hg, As, Cd dan lain sebagainya pada berbagai ukuran partikel sedimen di kawasan Pantai Sanur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui kesempatan ini penulis menyampaikan banyak-banyak terimakasih kepada bapak Drs. Made Arsa, M.Si., ibu Ir. Ni G.A.M. D. Adhi Suastuti, M.Si., dan ibu Ida Ayu Gede Widihati, S.Si., M.Si. atas saran dan masukannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Cahyadi, 2000, Bioavailability dan Spesiasi Logam Pb dan Cu pada Sedimen di Pelabuhan Benoa, *Skripsi*, Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Udayana Denpasar
- Agustinawati, 2001, Distribusi Logam Pb dan Cu pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen di Pantai Sanur, *Skripsi*, Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Udayana Denpasar
- Apri Susilawan, 2003, Distribusi Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) dalam Air Laut, Sedimen, dan Terumbu Karang di Pantai Sanur, *Skripsi*, Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Udayana Denpasar
- Arifin, Z. 2003. Geokimia Logam Berat Pb, Cd, Cu Dan Zn Dalam Sedimen Di Perairan Teluk Jakarta, *Laporan Hasil Penelitian*, IPB, Bogor
- Batley, G.E., 1987, *Heavy Metal Speciation in Waters, Sediments, and Biota from Lake Macquarie*, New South Wales
- Connel, W. D and G. J. Miller, 1995, *Chemistry and Ecology of Pollution*, a.b. Y. Koestoer, Penerbit UI. Press, Jakarta.
- Forstner U & F. Prosi, 1979, Heavy metals Pollution in Freshwater ecosystem, In: *O.Rovera: Biological Aspects of Freshwater Pollution*, p.272-280
- Hanna, R.G., 1992, *Squential Extraction of Metals in Cox River Sediments*, Water Board and Australian Marine Science Association Inc, Sydney
- Pascoli Castelvechio, 1999, *Natural Waters and Water Technology*, Italy
- Sunoko, H.R., I., Sumantri, dan Budiono, 1994, Kadar Logam Berat di Perairan Muara Banjir Kanal Timur Kota Madya Semarang, *Makalah Penunjang Seminar Pemantauan Pencemaran Laut*, 1-26