

FRAKSINASI DAN BIOAVAILABILITAS LOGAM Pb DAN Cr DALAM SEDIMEN DI PELABUHAN BENOA

Ni Luh Eka Lusiana Dewi, Emmy Sahara, dan A. A. I. A. M. Laksmiwati

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbara

ABSTRAK

Telah dilakukan fraksinasi dan penentuan bioavailabilitas logam Pb dan Cr dalam sedimen di Pelabuhan Benoa. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi logam dalam berbagai bentuk kimianya dimana sampel diayak dalam keadaan basah dan kering dengan ukuran < 63 μm . Dari hasil fraksinasi ini dapat diketahui bioavailabilitas kedua logam. Untuk penentuan logam total, dilakukan digesti dengan aqua regia (HCl : HNO₃ = 3:1). Fraksinasi dilakukan dengan tehnik ekstraksi bertahap sehingga dapat diketahui fraksi-fraksi yang menyusun konsentrasi logam total. Pengukuran konsentrasi logam dilakukan dengan tehnik Spektroskopi Serapan Atom dengan metode kurva kalibrasi. Konsentrasi logam Pb total dalam sedimen yang diayak basah dan kering berturut-turut sebesar 18,4852 mg/kg dan 23,3974 mg/kg, sementara konsentrasi Cr total dengan kedua cara pengayakan berturut-turut 17,7131 mg/kg dan 24,9371 mg/kg. Hasil fraksinasi logam Pb dalam sedimen yang diayak basah dan kering menunjukkan pola yang sama yaitu fraksi *freely*, *leachable*, dan *exchangeable* (EFLE) < fraksi Fe/Mn-oksida < fraksi *resistat* < fraksi organik dan sulfida. Fraksinasi Cr dengan pengayakan basah menunjukkan fraksi EFLE < fraksi *resistant* < fraksi organik dan sulfida < fraksi Fe/Mn-oksida, sementara dengan penyakan kering fraksi EFLE < Fe – Mn oksida < fraksi *resistant* < fraksi organik dan sulfida. Fraksi *bioavailable* dan *resistant* yang diperoleh untuk logam Pb dalam sedimen yang diayak basah berturut-turut adalah 74,13% dan 22,88%, sedangkan yang diayak kering adalah 82,84% dan 13,85%, sedangkan fraksi *bioavailable* dan *resistant* yang diperoleh untuk logam Cr dalam sedimen yang diayak basah berturut-turut adalah 77,59% dan 11,23%, sedangkan yang diayak kering berturut-turut 90,55% dan 13,21%.

Kata kunci: Bioavailabilitas, Pb, Cr, Sedimen, Pelabuhan Benoa

ABSTRACT

The fractionation and the bioavailability determination of Pb and Cr in sediment of Benoa Bay have been studied. This study was aimed to determine the metals concentration in their various chemical forms. A 63 μm nylon mesh screen was used for wet and dry sieving the sediment samples. Through fractionation, the bioavailabilities of both metals could be determined. For the total metals determinations, the samples were digested with aqua regia which is the mixture of HCl and HNO₃(3:1). Fractionation was done with the application of the four steps sequential extraction technique. All metals measurements were carried out with the use of the technique of Atomic Absorption Spectrophotometry. The total concentrations of Pb in sediments sieved in wet and dry conditions were 18.4852 mg/kg and 23.3974 mg/kg, respectively, whereas the total concentrations of Cr in those of wet and dry conditions were 17.7131 mg/kg and 24.9371 mg/kg, respectively. The fractionations of Pb in sediments sieved in wet and dry conditions showed the same patterns which were as follow: freely, leachable, dan exchangeable (EFLE) fraction < Fe/Mn-oxide fraction < resistant fraction < organic dan sulfide fraction. The fractionation of Cr in wet sieved sediment was as follows: EFLE fraction < resistant fraction < organic and sulfide fraction < Fe/Mn-oxide fraction whereas that of Cr in dry sieved sediment was as follows EFLE < Fe – Mn oxide fraction < resistant fraction < organic and sulfide fraction. The bioavailable and resistant fractions found for Pb in wet sieved sediment were 74.13% and 22.88%, respectively, whereas those of Pb found in dry sieved sediment were 82.84% dan 13.85%, respectively. The bioavailable and resistant fractions found for Cr in wet sieved sediment were 77.59% and 11.23%, respectively, whereas those of Cr in dry sieved sediment were 90.55% and 13.21%, respectively.

Keywords: Bioavailability, Pb, Cr, Sediment, Benoa Bay

PENDAHULUAN

Bahan pencemar pantai dapat berupa logam berat pada sedimen. Beberapa penelitian logam berat total pada perairan di Bali telah dilakukan, salah satunya tentang logam berat pada sedimen. Santosa (2000) melaporkan bahwa konsentrasi logam Pb total pada sedimen di Pelabuhan Benoa berkisar antara 12,496–21,804 mg/kg. Penelitian yang dilakukan oleh Cahyadi (2000) ditemukan bahwa kadar logam Pb dan Cu total dalam sedimen di Pelabuhan Benoa cukup tinggi yaitu sebesar 16,604–72,242 mg/kg dan untuk logam Cu 62,299–133,229 mg/kg.

Hasil penelitian oleh Cahyadi mengindikasikan bahwa kondisi perairan di sekitar Pelabuhan Benoa telah tercemar logam berat Pb. Menurut Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP.02/MENKLH/1998 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut (Taman Laut Konservasi) menetapkan kadar maksimum logam Pb dalam sedimen adalah $\leq 0,075$ mg/L (MENKLH, 1998).

Kandungan logam total seperti yang telah dilaporkan di atas belum memberikan informasi mengenai toksisitasnya terhadap biota. Untuk mendapatkan informasi mengenai toksisitas suatu logam dalam suatu sampel, dewasa ini berbagai penelitian mengenai spesiasi dan bioavailabilitas atau ketersediaan hayati suatu logam banyak dilaporkan. Spesiasi memberikan gambaran mengenai perilaku dan karakter suatu unsur misalnya mobilitas, fungsi, ketersediaan, defisiensi, dan toksisitasnya. Perilaku suatu unsur baik pada organisme maupun pada sistem ekologis tidak dapat diterangkan hanya dengan mengetahui jumlah total unsur tersebut dalam sampel melainkan juga ditentukan oleh bentuk spesi unsur tersebut (Fitri, 2008). Bioavailabilitas merupakan fraksi logam dalam sedimen yang bersifat labil yang dapat diakumulasi oleh organisme di suatu perairan. Umumnya, bioavailabilitas logam dalam sedimen lebih kecil jumlahnya dibandingkan dengan di permukaan air. Hal ini disebabkan karena sedimen mengandung agen pengompleks seperti sulfida dan karbon organik yang dapat mengurangi bioavailabilitas logam tersebut (Batley, 1987).

Sari (2012) dan Murdianti (2012) telah melakukan penelitian mengenai spesiasi dan bioavailabilitas logam Pb dan Cr dalam sedimen di Kawasan Pesisir Sanur. Dalam penelitiannya bioavailabilitas dalam sampel sedimen ditentukan dengan dua cara yaitu ekstraksi tunggal dan ekstraksi bertahap. Melalui ekstraksi tunggal dengan EDTA dan HCl dapat diketahui fraksi logam yang *bioavailable* dan *resistant*, sedangkan dengan ekstraksi bertahap dapat diketahui fraksi logam yang *bioavailable* yang terdiri dari berbagai fraksi diantaranya fraksi *easily, freely, leachable, and exchangeable* (EFLE), fraksi Fe/Mn-oksida, fraksi organik, dan fraksi sisa/resistant. Secara matematis hasil penjumlahan fraksi *bioavailable* dan fraksi *resistant* suatu logam mencerminkan konsentrasi totalnya. Hasil spesiasi yang sangat memuaskan telah dilaporkan oleh Davidson, *et al.*, (1994). Dalam laporannya dinyatakan bahwa preparasi sampel sangat mempengaruhi studi spesiasi. Dalam preparasi sampel, pengayakan dapat dilakukan terhadap sampel basah dan kering (Davidson, *et al.*, 1994).

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai spesiasi dan bioavailabilitas logam dengan metode ekstraksi bertahap yang memberikan hasil yang memadai. Dalam penelitian ini akan diambil sampel sedimen dari Pelabuhan Benoa mengingat Pelabuhan Benoa adalah pelabuhan utama di Provinsi Bali yang setiap tahun aktivitas kunjungan kapalnya terus bertambah. Pelabuhan ini digunakan sebagai tempat berlabuhnya kapal penangkap ikan, kapal dagang yang limbahnya terbuang ke laut. Bahan bakar minyak kapal-kapal tersebut mengandung zat tambahan *tetraethyl* yang mengandung Pb untuk meningkatkan kualitasnya. Kromium di perairan berasal dari limbah industri antara lain industri pelapisan logam yang menggunakan senyawa logam berat sebagai zat pewarna dan pelapis. Dengan demikian limbah dari kapal-kapal dan limbah industri tersebut dapat menyebabkan kadar Pb dan Cr di perairan tersebut menjadi meningkat sehingga dapat ditentukan konsentrasi masing-masing spesies/bentuk geokimia logam Pb dan Cr dalam sedimen di Pelabuhan Benoa dan bioavailabilitas kedua logam tersebut dalam sedimen dapat ditentukan sehingga dapat ditentukan konsentrasi masing-masing spesies/bentuk geokimia logam Pb dan Cr dalam

sedimen di Pelabuhan Benoa dan bioavailabilitas kedua logam tersebut dalam sedimen dapat diketahui.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan adalah sampel sedimen yang diambil secara acak di Pelabuhan Benoa. Disamping itu juga digunakan bahan kimia lainnya seperti : HNO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$, CH_3COOH , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, dan H_2O_2 yang semuanya pro-analisis dan aquades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk analisis adalah : pipet volume, pipet tetes, gelas beaker, gelas ukur, labu ukur, *sentrifuge*, neraca analitik, kertas saring, batang pengaduk, desikator, mortar, ayakan 63 μm , oven, *hot plate*, *ultrasonic bath*, pH meter, sendok polietilen, kantong plastik polietilen, botol polietilen, botol semprot, sendok plastik dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

Cara Kerja

Preparasi Sampel

Terhadap sampel sedimen dilakukan pengayakan dalam keadaan basah dan kering.

1. Pengayakan basah.

Sedimen basah diayak dengan ayakan 63 μm sambil dibilas dengan aquades. Campuran sedimen dibiarkan selama satu hari sehingga terjadi pemisahan antara bagian padat dan cair. Selanjutnya bagian cair dibuang dan endapan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C sampai kering (massa konstan). Setelah kering sedimen digerus dan diayak lagi menggunakan ayakan 63 μm .

2. Pengayakan kering.

Sampel sedimen basah dioven dengan suhu 60°C sampai kering (massa konstan). Selanjutnya sedimen kering digerus dan diayak menggunakan ayakan 63 μm sehingga diperoleh sedimen kering dengan ukuran $\leq 63 \mu\text{m}$.

Penentuan konsentrasi Pb dan Cr total

Ditimbang teliti sebanyak 1 g sampel sedimen kering lalu dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer. Kemudian ditambahkan 10 mL

campuran HCl pekat dan HNO_3 pekat (3:1). Campuran didigesti dalam *ultrasonic bath* pada suhu 60°C selama 45 menit, selanjutnya dipanaskan dengan pemanas listrik pada suhu 140°C selama 45 menit. Larutan kemudian disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 4000 rpm. Bagian jernih/supernatan yang diperoleh disaring dan filtratnya ditampung dalam labu ukur 25 mL lalu diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan ini kemudian diukur dengan AAS.

Prosedur ini dilakukan sebanyak tiga kali dan dilakukan terhadap sampel sedimen yang diayak dalam keadaan basah maupun diayak dalam keadaan kering.

Fraksinasi logam Pb dan Cr dalam sedimen

a. Penentuan fraksi *easily, freely, leachable, and exchangeable* (EFLE)

Sebanyak 1 gram sampel sedimen kering dimasukkan dalam labu erlenmeyer bertutup. Selanjutnya ditambahkan 40 mL asam asetat 0,1 mol/L. Campuran dikocok selama 2 jam dengan alat pengocok listrik. Campuran kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit sehingga terjadi pemisahan bagian padatan dan cairan. Cairan didekantasi lalu dimasukkan dalam labu ukur 50 mL. Residu dicuci dengan 5 mL aquades, air bilasan dimasukkan ke dalam labu ukur lalu diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan ini kemudian diukur absorbansinya dengan AAS.

b. Penentuan fraksi Fe/Mn-oksida

Ke dalam residu dari hasil ekstraksi pada (a) ditambahkan 40 mL $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$ 0,1 mol/L dan asam nitrat sampai pH larutan menjadi 2. Campuran dikocok selama 2 jam dengan alat pengocok listrik. Campuran lalu disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Bagian cairan didekantasi dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Residu dicuci dengan 5 mL aquades, air bilasan dimasukkan ke dalam labu ukur lalu diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan ini kemudian diukur absorbansinya dengan AAS.

c. Penentuan fraksi Organik dan sulfida

Ke dalam residu dari hasil ekstraksi pada (b) ditambahkan 10 mL H_2O_2 8,8 mol/L. Campuran dibiarkan dalam suhu ruangan selama 1 jam dengan sekali-sekali dikocok,

selanjutnya dipanaskan dalam penangas air pada suhu 85°C selama 1 jam. Ke dalam campuran ditambahkan 10 mL H₂O₂ dan dipanaskan dalam penangas air pada suhu 85°C selama 1 jam. Selanjutnya campuran ditambahkan dengan 50 mL ammonium asetat 1 M dan dilakukan pengaturan pH dengan menambahkan asam nitrat sampai pH 2. Campuran dikocok selama 2 jam dengan alat pengocok listrik. Kemudian campuran disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm. Cairan didekantasi dan dimasukkan dalam labu ukur 100 mL. Residu dicuci dengan 5 mL aquades, air bilasan dimasukkan ke dalam labu ukur lalu diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Larutan ini kemudian diukur absorbansinya dengan AAS.

d. Penentuan fraksi sisa/*resistant*

Untuk menentukan fraksi *resistant*, terhadap residu yang tersisa dari ekstraksi pada (d) dilakukan prosedur yang sama seperti prosedur penentuan konsentrasi logam total.

Prosedur fraksinasi ini dilakukan untuk sampel yang diayak basah maupun kering.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Pb dan Cr Total dalam Sampel Sedimen

Hasil perhitungan konsentrasi Pb total dalam sedimen yang diayak basah dan kering dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan untuk Cr total dalam sedimen yang diayak basah dan kering dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi logam Pb total dalam sedimen yang diayak basah dan kering berturut-turut sebesar 18,4852 mg/kg dan 23,3974 mg/kg.

Tabel 1. Konsentrasi Pb Total dalam Sedimen yang Diayak Basah dan Kering

Pengayakan Basah		Pengayakan Kering	
mg/L	mg/kg	mg/L	mg/kg
0,7185	17,9630	0,9815	24,5395
0,7704	19,2554	0,8889	22,2267
0,7296	18,2371	0,9370	23,4259
Rata-rata	18,4852 ± 0,6810	Rata-rata	23,3974 ± 1,1567

Tabel 2. Konsentrasi Cr Total dalam Sedimen yang Diayak Basah dan Kering

Pengayakan Basah		Pengayakan Kering	
mg/L	mg/kg	mg/L	mg/kg
0,6963	17,4049	1,0707	26,7750
0,7539	18,8463	0,8979	22,4499
0,6754	16,8882	1,0236	25,5864
Rata-rata	17,7131 ± 1,0148	Rata-rata	24,9371 ± 2,2345

Tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cr total dalam sedimen yang diayak basah dan kering berturut-turut sebesar 17,7131 mg/kg dan 24,9371 mg/kg.

Konsentrasi kedua logam seperti ditunjukkan di atas mengindikasikan bahwa kondisi perairan di Pelabuhan Benoa telah tercemar oleh kedua logam berat di atas karena jauh melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Menurut Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP.02/MENKLH/I/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut (Taman Laut Konservasi) menetapkan kadar maksimum logam Pb dan Cr dalam sedimen berturut-turut sebesar ≤ 0,075 mg/L dan ≤ 0,05 mg/L.

Tingginya konsentrasi logam Pb di Pelabuhan Benoa ini dapat disebabkan oleh banyaknya aktivitas transportasi air yang dapat menghasilkan emisi gas yang mengandung tetrametil-Pb dan tetraetil-Pb yang ditambahkan dalam bahan bakar dan berfungsi sebagai anti ketuk pada mesin-mesin kendaraan. Begitu pula tingginya konsentrasi Cr total dalam sedimen disebabkan oleh bahan-bahan pencemar yang mengandung Cr seperti limbah rumah tangga, hotel-hotel, restoran yang mengalirkan limbah ke Pelabuhan Benoa dan gas buangan dari perahu bermotor yang melintasi lokasi Pelabuhan Benoa.

Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Pb dan Cr dalam Sedimen

Konsentrasi dan persentase logam Pb dan Cr yang terekstraksi dengan ekstraksi bertahap dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Konsentrasi dan Persentase Logam Pb yang Terekstraksi pada Pengayakan Basah dan Kering

Ekstraksi Bertahap	Pengayakan Basah		Pengayakan Kering	
	Konsentrasi Trasi (mg/Kg)	Persentase Tereks-traksi (%)	Konsentrasi Trasi (mg/Kg)	Persentase Tereks-traksi (%)
Tahap 1	2,2224	12,02	2,8394	12,14
Tahap 2	3,9509	21,37	3,0863	13,19
Tahap 3	7,5314	40,74	13,4564	57,51
Tahap 4	4,2287	22,88	3,2406	13,85
Jumlah	17,9333	97,01	22,6228	96,69
Logam Total	18,4852		23,3974	
Beda Relatif	2,30 %		3,31 %	

Keterangan :

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

Tabel 3 menunjukkan bahwa bioavailabilitas logam Pb dalam sedimen yang diayak basah dan kering di Pelabuhan Benoa pada fraksi organik dan sulfida > fraksi sisa/*resistant* > fraksi Fe-Mn oksida > fraksi EFLE.

Spesiasi logam Pb dalam sedimen yang diayak basah dan kering didominasi oleh fraksi organik dan sulfida yaitu 40,74% dalam sedimen yang diayak basah dan 57,51% dalam sedimen yang diayak kering. Banyaknya fraksi organik dan sulfida dibandingkan fraksi lain dapat berasal dari tumpahan minyak pada saat pengisian bahan bakar yang mengandung tetrametil-Pb dan tetraetil-Pb. Selain itu hal ini dapat juga disebabkan oleh banyaknya limbah organik yang dihasilkan oleh aktivitas manusia seperti limbah hotel. Dengan demikian logam Pb yang terdapat di lokasi pengambilan sampel di Pelabuhan Benoa banyak berikatan dengan senyawa organik dan sulfida. Penelitian yang dilakukan oleh Arifin dan Fadhlina (2007) di Teluk Jakarta juga mengatakan bahwa logam Pb didominasi oleh fraksi organik dan sulfida yaitu sebesar 8,55-93,77%.

Fraksi EFLE (*easily, freely, leachable, and exchangeable*) terdeteksi 12,02% dalam sedimen yang diayak basah dan 12,14% dalam sedimen yang diayak kering. Hal ini menandakan sedikit ditemukannya logam Pb yang mudah lepas dan

dapat dipertukarkan serta bentuknya yang berikatan dengan karbonat. Trend yang sama juga ditunjukkan oleh fraksi sisa/*resistant* dalam sedimen yang diayak basah dan kering yaitu berturut-turut sebesar 22,88% dan 13,85% > fraksi Fe/Mn-oksida dalam sedimen yang diayak basah dan kering yaitu berturut-turut sebesar 21,37% dan 13,19%.

Tabel 4. Konsentrasi dan Persentase Logam Cr yang Terekstraksi pada Pengayakan Basah dan Kering

Ekstraksi Bertahap	Pengayakan Basah		Pengayakan Kering	
	Konsentrasi Trasi (mg/Kg)	Persentase Tereks-traksi (%)	Konsentrasi Trasi (mg/Kg)	Persentase Tereks-traksi (%)
Tahap 1	1,0036	5,67	1,7450	7,00
Tahap 2	6,8940	38,92	3,1191	12,51
Tahap 3	5,8457	33,00	17,7150	71,04
Tahap 4	1,9897	11,23	3,2936	13,21
Jumlah	15,7330	88,82	25,8727	103,76
Logam Total	17,7131		24,9371	
Beda Relatif	11,18 %		3,75 %	

Keterangan:

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

Tabel 4 menunjukkan bahwa bioavailabilitas logam Cr dalam sedimen yang diayak basah di Pelabuhan Benoa pada fraksi Fe/Mn-oksida > fraksi organik dan sulfida > fraksi sisa/*resistant* > fraksi EFLE. Pada sedimen yang diayak kering fraksi organik dan sulfida > fraksi sisa/*resistant* > fraksi Fe/Mn-oksida > fraksi EFLE.

Spesiasi logam Cr dalam sedimen yang diayak basah didominasi oleh fraksi Fe/Mn-oksida yaitu 38,92% dan sedimen yang diayak kering didominasi oleh fraksi organik dan sulfida yaitu 71,04%. Tingginya logam Cr dalam sedimen yang diayak kering pada fraksi organik dan sulfida karena sedimen banyak mengandung bahan organik yang mempunyai kapasitas penyerapan logam berat paling tinggi dibandingkan sedimen yang terikat pada fraksi EFLE, Fe/Mn-oksida dan sisa/*resistant*. Penelitian yang dilakukan oleh

Murdianti (2012) di Pantai Sanur juga menunjukkan bahwa logam Cr didominasi oleh fraksi organik dan sulfida yaitu sebesar 23,11%.

Fraksi EFLE terdeteksi 5,67% dalam sedimen yang diayak basah dan 7,00% dalam sedimen yang diayak kering. Hal ini menandakan sedikit ditemukannya logam Cr yang mudah lepas dan dipertukarkan serta bentuknya yang berikatan dengan karbonat.

Hasil penjumlahan dari fraksi EFLE, Fe/Mn-oksida, organik dan sulfida, sisa/*resistant* pada logam Pb dalam sedimen yang diayak basah dan kering berturut-turut sebesar 17,9333 mg/kg dan 22,6228 mg/kg. Hasil penjumlahan dari fraksi EFLE, Fe/Mn-oksida, organik dan sulfida, sisa/*resistant* pada logam Cr dalam sedimen yang diayak basah dan kering berturut-turut sebesar 15,7330 mg/kg dan 25,8727 mg/kg.

Untuk memperoleh beda relatif logam Pb dan Cr dalam sedimen yang diayak basah dan kering maka selisih konsentrasi total dan hasil penjumlahan dari fraksi EFLE, Fe/Mn-oksida, organik-sulfida, sisa/*resistant* dibagi konsentrasi total kemudian dikali 100 persen. Beda relatif logam Pb dalam sedimen yang diayak basah dan kering dengan ekstraksi bertahap berturut-turut sebesar 2,30% dan 3,31%. Beda relatif logam Cr dalam sedimen yang diayak basah dan kering berturut-turut sebesar 11,18% dan 3,75% .

Secara matematis hasil penjumlahan fraksi *bioavailable* dan fraksi *resistant* suatu logam mencerminkan konsentrasi totalnya. Hasil yang dilaporkan oleh Sari (2012) dan Murdianti (2012) mengenai spesiasi dan bioavailabilitas logam Pb dan Cr dalam sedimen di Kawasan Pesisir Sanur tidak menunjukkan hal itu dimana jumlah fraksi *bioavailable* dan *resistant* tidak sebanding dengan jumlah logam totalnya.

Dalam studi ini didapatkan hasil yang lebih bagus dari yang sudah dilakukan oleh peneliti yang terlebih dahulu (Sari, 2012 ; Murdianti, 2012) dimana hasil penjumlahan fraksi *bioavailable* dan fraksi *resistant* dalam penelitian ini mencerminkan konsentrasi totalnya karena beda relatifnya bekisar antara 2,30-11,80%.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

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

1. Hasil spesiasi untuk logam Pb dalam sedimen yang diayak basah dan kering berturut-turut adalah: fraksi *freely*, *leachable*, dan *exchangeable* (EFLE) 12,02% dan 12,04% ; fraksi Fe/Mn-oksida 21,37% dan 13,19% ; fraksi organik dan sulfida 40,74% dan 57,51% ; serta fraksi *resistant* 22,88% dan 13,85%. Dengan demikian fraksi *bioavailable* dan fraksi *resistant* untuk Pb dalam sedimen yang diayak basah berturut-turut adalah 74,13% dan 22,88%.
2. Hasil spesiasi untuk logam Cr dalam sampel yang diayak basah dan kering berturut-turut adalah : fraksi EFLE 5,67% dan 7,00% ; fraksi Fe/Mn-oksida 38,92% dan 12,51% ; fraksi organik dan sulfida 33,00% dan 71,04% ; serta fraksi *resistant* 11,23% dan 13,21%. Dengan demikian fraksi *bioavailable* dan fraksi *resistant* untuk Cr dalam sedimen yang diayak basah berturut-turut adalah 77,59% dan 11,23%, sedangkan yang diayak kering adalah 90,55% dan 13,21%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian yang serupa dalam jangka waktu tertentu untuk memantau tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen di Pelabuhan Benoa apakah terjadi peningkatan atau penurunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulisan mengucapkan terima kasih kepada bapak Drs. I Made Siaka, M.Sc. (Hons), teknisi Laboratorium Bahan Pangan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana serta semua pihak yang ikut membantu dan terlibat dalam penelitian ini, sehingga tulisan ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z. dan D. Fadhlina, 2007, Geokimia Logam Berat Pb, Cd, Cu, dan Zn dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta, elib.pdii.lipi.go.id/katalog/.../978-979-98802-4-6_2008_115125.pdf, diakses tanggal 13 November 2012
- Batley, G.E., 1987, Heavy Metal Speciation in Water, Sediment and Biota from Lake Macquarie, New South Wales, in Aust. *J. Mar. Res.*
- Cahyadi, A. G., 2000, Bioavailability dan Spesiasi Logam Pb dan Cu pada Sedimen di Pelabuhan Benoa, *Skripsi*, Jurusan Kimia FMIPA UNUD, Bukit Jimbaran
- Davidson, C. M., Rhodri P. Thomas, Sharon E. McVey, Reijo Perala, David Littlejohn, and Allan M. Ure, 1994, Evaluation of a Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Heavy Metals in Sediments, *Analytica Chimica Acta*, 291 : 277-286
- Fitri, N., 2008, Diferensiasi dan Distribusi Spesi (Mg, Ca, Mn, Zn, Mo, dan Cd), Floem, *Ricinus communis L.*, *Disertasi*, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Murdianti, D., 2012, Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Kromium (Cr) Dalam Sedimen di Kawasan Pantai Sanur, *Skripsi*, Jurusan Kimia FMIPA UNUD, Bukit Jimbaran
- Santosa, Y., 2000, Kandungan Logam Timbal (Pb) dalam Air Laut, Sedimen, dan Organisme Laut (*Thunus alalunga*) di Pelabuhan Benoa dengan Spektrofotometri Serapan Atom, *Skripsi*, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran.
- Sari, S. D. M., 2012, Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Timbal (Pb) Dalam Sedimen di Kawasan Pantai Sanur, *Skripsi*, Jurusan Kimia FMIPA UNUD, Bukit Jimbaran