

FRAKSINASI DAN BIOAVAILABILITAS LOGAM BERAT Fe DAN Mn PADA SEDIMEN DI PELABUHAN BENOA

Emmy Sahara, Ida Ayu Gede Widihati, dan I Gede Darma Putra

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Email : igededarmaputra@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang fraksinasi dan bioavailabilitas logam Fe dan Mn dalam sedimen di Pelabuhan Benoa Bali. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan berbagai fraksi Fe dan Mn dalam sedimen serta bioavailabilitasnya. Fraksinasi dilakukan dengan metode ekstraksi bertahap (*sequential extraction*) dengan berbagai pelarut. Pengukuran konsentrasi kedua logam dilakukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom dengan metode kurva kalibrasi.

Konsentrasi logam Fe dan Mn total dalam sedimen berturut-turut sebesar 668,2948 mg/kg dan 321,5761 mg/kg. Hasil fraksinasi logam Fe dan Mn dalam sedimen secara berturut-turut adalah: fraksi *easily, freely, leachable*, dan *exchangeable* (EFLE) sebesar 27,74% dan 24,31%, fraksi Fe/Mn-oksida sebesar 23,55% dan 19,99%, fraksi organik dan sulfida 25,14% dan 26,11% sementara fraksi *resistant* untuk kedua logam sebesar 23,57% dan 29,59%. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa fraksi *bioavailable* dan fraksi *resistant* untuk Fe dalam sedimen berturut-turut adalah 76,43% dan 23,57% sedangkan untuk Mn berturut-turut 70,41% dan 29,59%.

Kata kunci : fraksinasi, bioavailabilitas, Fe, Mn, sedimen, pelabuhan Benoa

ABSTRACT

A research on metal fractionation and bioavailability of Fe and Mn in sediments collected from the area of Benoa Bay at Bali has been carried out. The purpose of this study was to determine the fraction of Fe and Mn in the sediments and their bioavailabilities. Fractionations were achieved by the Sequential Extraction methods during which various solutions were employed. Measurement of the concentration of both metals was done by using Atomic Absorption Spectrofotometer with a calibration curve method.

The concentrations of total Fe and Mn in the sediment obtained were of 668.2948 mg/kg and 321.5761 mg/kg, respectively. The results of Fe and Mn fractionations in sediments were as follow: the fraction of freely, leachable and exchangeable (EFLE) were of 27.74% and 24.31%, the fractions of Fe/Mn-oxides were of 23.55% and 19.99%, organic and sulfide fraction were of 25.14% and 26.11% while the resistant fraction were of 23,57% and 29,59%, respectively. It Therefore, the results showed that the bioavailable and the resistant fractions for Fe in the sediment were of 76.43% and 23,57%, respectively while for Mn were of 70.41% and 29,59%, respectively.

Keywords : fractination, bioavailability, Fe, Mn, sediment, Benoa Bay

PENDAHULUAN

Di Indonesia, pencemaran logam berat cenderung meningkat sejalan dengan mening-

katnya proses industrialisasi. Pencemaran logam berat dalam lingkungan bisa menimbulkan bahaya bagi kesehatan, baik bagi manusia, hewan,

tanaman maupun lingkungan (Widowati, *et al.*, 2008).

Di Bali telah dilakukan beberapa penelitian mengenai pencemaran logam berat di lingkungan perairan. Studi kasus tentang pencemaran lingkungan hidup di kawasan Teluk Benoa Bali memperlihatkan bahwa pencemaran lingkungan yang terjadi tidak lepas dari kondisi kawasan pemukiman yang berada di bagian hulu dikarenakan sampah dan limbah terbawa oleh aliran sungai melintasi kawasan hulu sampai ke hilir. Beberapa pemukiman padat penduduk mengalirkan hasil buangan limbah ke kawasan Teluk Benoa (Putra, 2010).

Di daerah Benoa terdapat berbagai aktivitas yang mungkin berakibat menghasilkan sampah dan limbah dalam jumlah yang besar, diantaranya kegiatan jasa kepelabuhanan di Pelabuhan Benoa, aktivitas Bandara Internasional Ngurah Rai, aktivitas pembangkit listrik PLTD/PLTG Pesanggaran, TPA Suwung, dampak reklamasi Serangan, aliran air Tukad Badung dan Tukad Mati, aktivitas perdagangan, bisnis dan transportasi, serta sampah dan limbah domestic masyarakat (Putra, 2010).

Dalam lingkungan perairan, sedimen merupakan tempat akhir dari suatu senyawa logam terakumulasi. Adanya suatu logam dalam sedimen dapat memberikan dampak negatif pada biota dalam rantai makanan. Namun konsentrasi logam total dalam sedimen yang ada di perairan belum tentu berkorelasi positif dengan respon yang timbul pada biota (Nowierski, *et al.*, 2002 ; Janssen, *et al.*, 2003). Ketersediaan hayati (bioavailabilitas) suatu logam berat pada lingkungan perairan dipengaruhi oleh bentuk serta tipe perikatan dari suatu logam antara lain; karbonat, oksida dan sulfida.

Keberadaan logam di sedimen dapat dalam berbagai bentuk serta perikatan, antara lain sebagai ion bebas dan berikatan dengan karbonat, yang mana logam dalam bentuk ini disebut sebagai logam yang sangat labil sehingga mudah lepas ke perairan dan mudah diserap oleh organisme. Bentuk tereduksi (*reducible*) yaitu saat logam berikatan dengan Fe/Mn oksida. Logam dalam bentuk yang mudah teroksidasi (*oxidizable*) dihasilkan dari jenis perikatan dengan bahan organik serta sulfida. Bentuk *residual* yaitu logam dalam bentuk perikatan yang kuat dengan struktur

kristal mineral di sedimen (Yu, *et al.*, 2010). Fraksinasi atau yang sering dikatakan juga sebagai spesiasi senyawa kimia dapat didefinisikan sebagai suatu proses penggolongan serta pengelompokan berbagai spesies, bentuk dan fase yang terdapat pada suatu media (Davidson, *et al.*, 1994 dan Yang, *et al.*, 1999). Suatu penelitian menunjukkan bahwa logam yang berasosiasi pada fraksi *easily exchangeable* umumnya berkorelasi kuat dengan konsentrasi logam pada biota (Stecko and Bendell-Young, 2000; Wang, *et al.*, 2002; Reboreda and Cacador, 2007; Hendozko *et al.*, 2010).

Beberapa penelitian tentang spesiasi dan bioavailabilitas dari logam berat seperti Cu, Zn, Cd dan Pb dalam perairan dan sedimen di Pelabuhan Benoa telah dilakukan. Pada tahun 2000 dilakukan suatu penelitian oleh Cahyadi mengenai bioavailabilitas dan spesiasi logam Pb dan Cu dengan menggunakan ekstraksi bertahap, dimana diperoleh persentase fraksi pertukaran ion untuk logam Pb yaitu sebesar 12-35% dan Cu sebesar 2-14%, fraksi terikat karbonat untuk Pb yaitu sebesar 16-61% dan Cu sebesar 2-8%, sementara fraksi terikat Fe/Mn oksida untuk logam Pb yaitu sebesar 6-22% dan Cu sebesar 2-5%, dan fraksi terikat organik dan sulfida logam Pb yaitu sebesar 13-32% dan Cu sebesar 25-46%. Distribusi logam Pb dan Cu yang diteliti oleh Agustinawati (2001) juga dipengaruhi oleh berbagai ukuran partikel sedimen.

Agustina dan Dewi (2013) melaporkan hasil spesiasi dan penentuan bioavailabilitas logam Cu, Zn, Pb dan Cr dalam sedimen di Pelabuhan Benoa dengan menggunakan sampel yang di ayak basah dan kering. Ditemukan bahwa persentase dari fraksi I *easily, freely, leachable, exchangeable* (EFLE) yaitu 0,49-18,83%. Fraksi II (Fe/Mn oksida) diperoleh persentase 12,51-67,75%. Fraksi III (organik dan sulfida) yaitu 17,16-71,04%. Fraksi IV (*resistant*) yaitu 2,82-22,88%.

Dari data di atas dapat dilihat bahwa fraksi Fe/Mn oksida cukup tinggi yang mengindikasikan adanya kandungan logam Fe dan Mn yang juga tinggi. Fase tereduksi asam memiliki hubungan erat dengan logam yang mudah direduksi oleh asam sehingga dengan pereaksi ini logam ditemukan berikatan pada Fe/Mn oksida. Berbagai informasi di atas mengindikasikan bahwa daerah Pelabuhan Benoa memiliki tingkat pencemaran logam berat yang tinggi.

Belum adanya penelitian serta minimnya informasi mengenai keberadaan logam Fe dan Mn di area Pelabuhan Bena, maka perlu dilakukan penelitian mengenai spesiasi dan bioavailabilitas kedua logam tersebut dalam sedimen di Pelabuhan Bena-Bali.

MATERI DAN METODE

Bahan

Sampel sedimen dari area Pelabuhan Bena, larutan HNO_3 , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, KMnO_4 , CH_3COOH , HCl , H_2O_2 , $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$.

Peralatan

Ayakan ($63\mu\text{m}$), labu ukur, pipet volume, pipet mikro, tabung ekstraksi, gelas beaker, gelas ukur, pipet tetes, kertas saring, corong, oven, neraca analitik, pemanas listrik, sentrifugasi, pH meter merk SCHOTT, dan alat *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS) merk SHIMADZU AA-7000.

Cara Kerja

Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada kedalaman ± 10 cm dengan massa sampel yang diambil diperkirakan sebanyak 500 g. Seluruh sampel yang diperoleh dimasukkan ke dalam kantong plastic etilen, kemudian sampel disimpan dalam *ice box* untuk dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut.

Preparasi Sampel

Sampel sedimen dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sampai diperoleh massa konstan. Sampel kering kemudian diayak menggunakan ayakan $63\mu\text{m}$. Sampel kemudian ditimbang dengan teliti sebanyak 1,0 g untuk digunakan dalam analisis.

Pembuatan Kurva Kalibrasi

Kurva Kalibrasi untuk masing-masing logam Fe dan Mn dibuat dengan cara memipet masing-masing larutan standar Fe 100 mg/L dan Mn 100 mg/L sebanyak 1,0; 2,0; dan 4,0 mL kedalam labu ukur 100 mL kemudian diencerkan dengan HNO_3 0,01 M sampai tanda batas. Semua larutan kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang 248,3 nm untuk Fe dan 279,5

nm untuk Mn. Kemudian dibuat kurva kalibrasi untuk Fe dan Mn.

Penentuan Konsentrasi Logam Fe dan Mn total

Sebanyak 1,0 g serbuk sedimen dimasukkan ke dalam tabung ekstraksi tertutup, kemudian ditambahkan dengan 10 mL *Aqua regia* (1 HNO_3 : 3 HCl) lalu didigesti menggunakan alat *ultrasonic bath* selama 45 menit pada suhu 60°C . Campuran kemudian dipanaskan kembali dengan *hotplate* pada suhu 100°C selama 45 menit. Selanjutnya campuran disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 15 menit. Hasil sentrifugasi kemudian didekantasi, selanjutnya hasil dekantasi disaring dan filtratnya dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL dan diencerkan dengan aquades hingga tanda batas. Larutan ini selanjutnya diukur dengan menggunakan AAS (Fe = 248,3 nm ; Mn = 279,5 nm).

Fraksinasi Logam Fe dan Mn dalam Sedimen Ekstraksi Tahap I (Penentuan Fraksi EFLE)

Satu gram sedimen kering dimasukkan ke dalam tabung ekstraksi. Kemudian ditambah asam asetat 0,1 mol/L sebanyak 40 mL. Campuran selanjutnya digojog dengan alat penggojog listrik selama 2 jam. Cairan kemudian di sentrifugasi selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm. Cairan didekantasi dan dimasukkan dalam labu ukur 50 mL, lalu diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Selanjutnya larutan yang diperoleh diukur absorbansinya pada panjang gelombang yang telah ditentukan dengan AAS. Hasil residu digunakan untuk keperluan ekstraksi tahap dua (Davidson, *et al.*, 1994).

Ekstraksi Tahap II (Fraksi Fe/Mn Oksida)

Residu dari ekstraksi tahap I ditambahkan dengan 40 mL hidrosilamin hidroklorida ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$) 0,5 mol/L. Keasaman diatur dengan menambahkan asam nitrat hingga mendekati pH 2. Campuran kemudian digojog selama 2 jam dengan alat penggojog listrik. Cairan dipisahkan dari sisa padatan dengan sentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Cairan didekantasi dimasukkan dalam labu ukur 50 mL, kemudian diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Selanjutnya larutan yang diperoleh diukur absorbansinya dengan AAS. Residunya digunakan untuk keperluan ekstraksi tahap tiga (Davidson, *et al.*, 1994).

Ekstraksi Tahap III (Fraksi Fe-Organik, Mn-Organik dan sulfida)

Residu dari hasil ekstraksi tahap II ditambahkan peroksida 8,8 mol/L sebanyak 10 mL dengan hati-hati lalu ditutup. Campuran dibiarkan dalam suhu ruangan selama 1 jam dengan sesekali dikocok. Selanjutnya campuran dipanaskan pada suhu 85°C dalam penangas air selama 1 jam. Setelah itu ditambahkan kembali 10 mL peroksida dan dipanaskan dalam penangas air pada suhu 85°C selama 1 jam. Campuran kemudian ditambahkan dengan ammonium asetat 1 mol/L sebanyak 50 mL (diatur pada pH 2 dengan asam nitrat). Kemudian campuran digojog selama 2 jam dengan penggojog listrik dilanjutkan dengan sentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Cairan didekantasi dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Residu dicuci dengan aquades sebanyak 5 mL, kemudian aquades bilasannya dimasukkan ke labu ukur dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Selanjutnya larutan yang diperoleh diukur absorbansinya dengan AAS. Residu dicuci dengan aquades untuk keperluan ekstraksi tahap empat (Davidson, *et al.*, 1994).

Ekstraksi Tahap IV (Penentuan Fraksi Fe-resistant dan Mn-resistant)(Davidson, *et al.*, 1994)

Fraksi resistant ditentukan dengan menggunakan residu dari tahap tiga dengan dilakukan prosedur sama seperti prosedur pada penentuan Fe dan Mn total.

HASIL DAN PEMBAHASAN

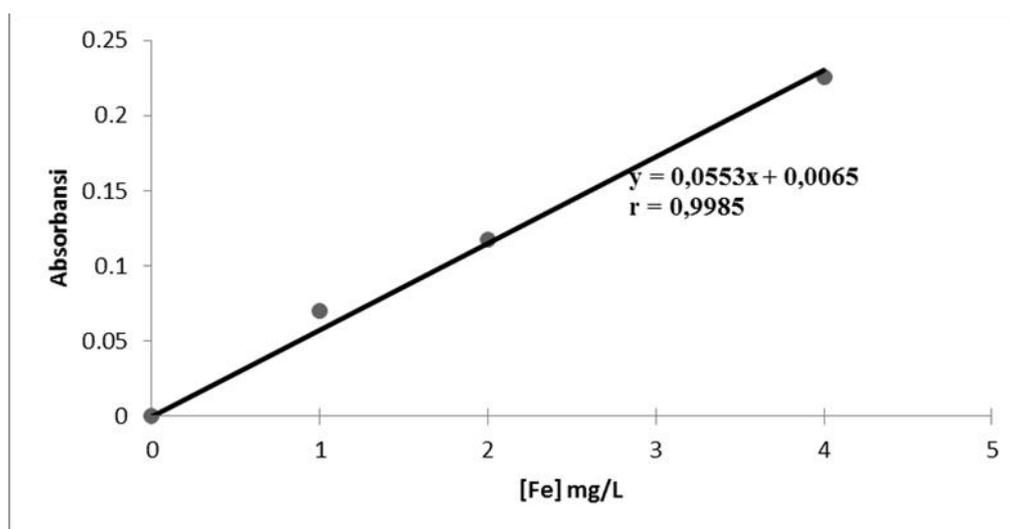
Pembuatan Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2 memberikan persamaan regresi linier untuk logam Fe adalah $y = 0,0553x + 0,0065$ dengan nilai koefisien korelasi (r) = 0,9985, sedangkan untuk logam Mn adalah $y = 0,1027x + 0,0129$ dengan koefisien korelasi (r) = 0,9971.

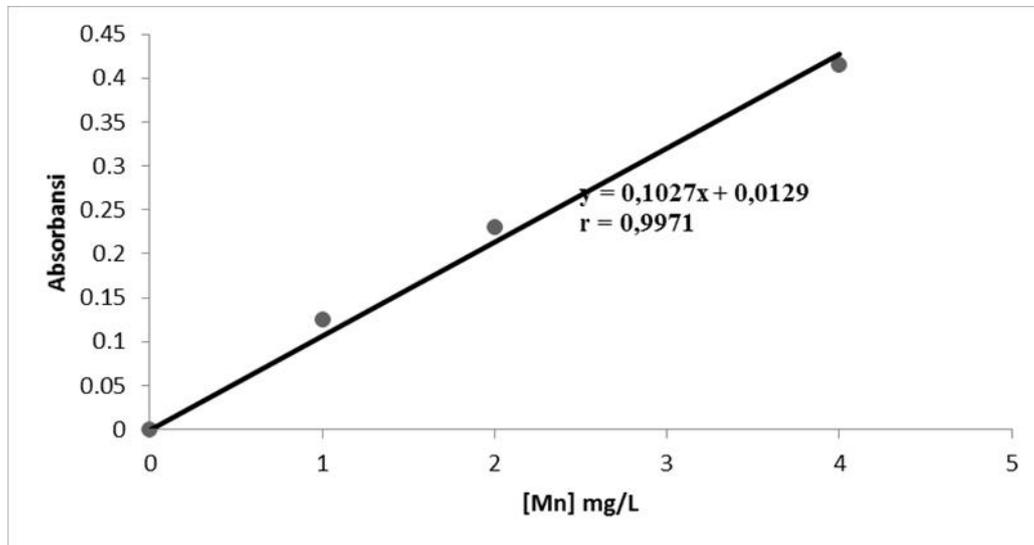
Penentuan Logam Fe dan Mn Total dalam Sedimen

Konsentrasi logam Fe dan Mn dapat dihitung dengan cara memasukkan nilai absorbansi kedua logam ke dalam persamaan yang sesuai. Hasil perhitungan konsentrasi logam Fe dan Mn total dalam sedimen dapat dilihat pada Tabel 1.

Taber 1. menunjukkan bahwa dalam sedimen di Pelabuhan Benoa konsentrasi logam Fe dan Mn total berturut-turut adalah sebesar 668,2948 mg/kg dan 321,5761 mg/kg.



Gambar 1. Kurva Kalibrasi untuk Logam Fe



Gambar 2. Kurva Kalibrasi untuk Logam Mn

Tabel 1. Konsentrasi Logam Fe dan Mn Total

Ulangan	Konsentrasi Fe		Konsentrasi Mn	
	mg/L	mg/kg	mg/L	mg/kg
1	26,7594	666,1870	13,1588	327,3008
2	26,8354	668,6784	13,1334	326,9292
3	26,9294	670,0189	12,4634	310,4983
Rata-rata	26,8414 ± 0,0852	668,2948 ± 1,9445	12,9185 ± 0,3944	321,5761 ± 9,5954

Konsentrasi Fe dan Mn yang ditemukan dalam penelitian ini jauh lebih besar dari logam-logam lainnya yang telah dilaporkan ada dalam sedimen di Pelabuhan Benoa, diantaranya Pb dan Cr yaitu berturut-turut 23,3974 mg/kg dan 24,9371 mg/kg yang mana sekitar 12-13% berada dalam fraksi Fe/Mn oksida (Dewi, 2013), sementara Agustina (2013) juga telah melaporkan bahwa konsentrasi Zn dan Cu dalam sedimen di pelabuhan yang sama berturut-turut sebesar 196,9482 mg/kg dan 179,9797 mg/kg dimana sebanyak 37,65% untuk Zn dan 58,71% Cu berada pada fraksi Fe/Mn oksida. Tingginya fraksi Fe/Mn oksida dalam suatu sedimen mengindikasikan bahwa suatu perairan sudah tercemar logam Fe dan Mn.

Konsentrasi Fe dan Mn total dalam penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan standar baku mutu yang ditetapkan oleh Environmental Protection Agency (1973) bahwa kadar maksimum logam Fe dan Mn yang masuk ke lingkungan laut dalam satuan ppb masing-masing sebesar 300 ppb dan 100 ppb.

Hasil Fraksinasi dan Penentuan Bioavailabilitas Logam Fe dan Mn dalam Sedimen

Konsentrasi logam berat dalam fraksi sedimen memberikan gambaran mengenai ketersediaan logam berat bagi makhluk hidup di perairan. Penentuan konsentrasi berbagai ikatan logam yang bersama-sama membentuk konsentrasi total dan bioavailabilitasnya dilakukan dengan ekstraksi bertahap. Dengan cara ini dapat diketahui

berbagai fraksi logam diantaranya fraksi EFLE, fraksi Fe/Mn oksida, fraksi organik sulfida dan fraksi *resistant* (Tessier, *et al.*, 1979).

Tabel 2. Konsentrasi dan Persentase (%) Logam Fe Terekstraksi dengan Ekstraksi Bertahap

Fraksi	Konsentrasi (mg/kg)	Persentase Terekstraksi (%)
I (EFLE)	185,3814	27,74
II (Fe/Mn Oksida)	157,4079	23,55
III (Organik Sulfida)	168,0019	25,14
IV (Resistant)	157,5036	23,57

Tabel 3. Konsentrasi dan persentase (%) Logam Mn Terekstraksi dengan Ekstraksi Bertahap

Fraksi	Konsentrasi (mg/kg)	Persentase Terekstraksi (%)
I (EFLE)	78,1703	24,31
II (Fe/Mn Oksida)	64,2844	19,99
III (Organik Sulfida)	83,9564	26,11
IV (Resistant)	95,1650	29,59

Bioavailabilitas yang dinyatakan sebagai persentase terekstraksi suatu logam dapat diketahui dari perbandingan antara konsentrasi yang diperoleh dari masing-masing tahapan ekstraksi dengan konsentrasi logam total yang dikalikan 100%. Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 2 dan 3.

Pada ekstraksi tahap I digunakan pereaksi CH_3COOH sehingga diperoleh fraksi logam yang mudah terionisasi yang disebut dengan fraksi EFLE. Fraksi EFLE untuk logam Fe dan Mn dalam sedimen masing-masing diperoleh sebesar 27,74% dan 24,31%. Logam yang terikat pada fraksi EFLE menunjukkan bahwa logam tersebut berikatan sebagai karbonat yang mudah terionisasi dan juga sebagai penukar kation.

Logam Fe dan Mn mudah direduksi oleh suatu asam sehingga dengan pereaksi ini dapat diketahui konsentrasi logam yang berikatan dengan Fe-Mn oksida. (Gasparatos, *et al.*, 2005). Fraksi Fe/Mn oksida untuk logam Fe dan Mn dalam penelitian ini diperoleh masing-masing sebesar 23,55% dan 19,99%.

Fraksi logam Fe dan Mn dalam bentuk *oxidisable organic* (organik teroksidasi) atau disebut sebagai fraksi organik sulfida yang diperoleh berturut-turut sebesar 25,14% dan

26,11%. Fraksi organik sulfida untuk kedua logam Fe dan Mn menunjukkan adanya logam yang mudah teroksidasi oleh peroksida sehingga diperoleh fraksi logam yang berikatan pada senyawa organik dan sulfida (Gasparatos, *et al.*, 2005).

Pada ekstraksi tahap IV digunakan pereaksi *Aquaregia* (HNO_3 dan HCl) yang mana kation terikat kuat pada residu dapat larut dengan cepat membentuk ion-ion dari kedua logam atau *Aqua regia* sebagai pengoksidasi kation logam. Fraksi logam Fe dan Mn dalam bentuk resistant/residu diperoleh hasil berturut-turut sebesar 23,57% dan 29,59%.

Dari uraian di atas hasil dapat dilihat bahwa Fe dalam sedimen di Pelabuhan Benoa secara berturut-turut didominasi oleh fraksi EFLE (*easily, freely, leachable* dan *exchangeable*) 27,74% diikuti oleh fraksi organik teroksidasi (*oxidisable organic*) 25,14% dan fraksi tereduksi asam (*acid reducible*) 23,55% , sementara fraksi residu (*resistant*) paling rendah yaitu 23,57%. Berbagai fraksi Mn dalam sedimen dari yang terbesar ke yang kecil berturut-turut sebagai berikut: fraksi *oxidisable organic* 26,11%, EFLE 24,31%, dan fraksi *acid reducible* 19,99% sedangkan fraksi resistannya sebesar 23,57%.

Hasil penjumlahan fraksi EFLE, fraksi Fe/Mn oksida dan fraksi *oxidisable organic* (organik teroksidasi) secara matematis disebut dengan fraksi *bioavailable* atau fraksi *non-resistant*. Dalam penelitian ini diperoleh fraksi *bioavailable* logam Fe dan Mn masing-masing sebesar 76,43% dan 70,41%. Dari data ini terlihat bahwa logam Fe dan Mn sebagian besar berada pada fraksi *bioavailable* yang berarti sebagian besar logam-logam ini mempunyai ikatan yang lemah sehingga menyebabkan potensi ketersediaan hayatinya juga besar (Yap, *et al.*, 2003). Fraksi *bioavailable* ini juga memberikan gambaran bahwa sebagian besar Fe dan Mn dalam sedimen di Pelabuhan Benoa berasal dari aktifitas manusia (antropogenik), sedangkan sebagian kecilnya yaitu Fe sebesar 23,57% dan Mn sebesar 29,59% berada pada fraksi *resistant* yang memang berasal dari alam sendiri.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pembahasan di atas, maka dapat ditarik suatu simpulan sebagai berikut : Konsentrasi logam Fe dan Mn total dalam sedimen secara berturut-turut sebesar 668,2948 mg/kg dan 321,5761 mg/kg. Fraksinasi logam Fe memberikan hasil yaitu fraksi *bioavailable* sebesar 76,43% dan fraksi *resistant* sebesar 23,57%, sedangkan fraksinasi logam Mn memberikan hasil yaitu fraksi *bioavailable* sebesar 70,41% sedangkan fraksi *resistant* sebesar 29,59%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai fraksinasi logam Fe dan Mn dalam berbagai ukuran partikel sedimen mengingat distribusi logam dalam berbagai ukuran partikel sedimen berbeda-beda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada orang tua penulis yang memberikan dukungan baik moral maupun materiil, serta pihak-pihak lainnya yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, A., 2013, Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Cu dan Zn dalam Sedimen di Pelabuhan Benoa yang diayak Basah dan Kering, *Skripsi*, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
- Agustinawati, N.L.P., 2001, Distribusi Logam Pb dan Cu Pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen di Pelabuhan Benoa, *Skripsi*, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
- 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
- Dewi, N.L.E.L., 2013, Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Pb dan Cr dalam Sedimen di Pelabuhan Benoa yang diayak Basah dan Kering, *Skripsi*, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
- Dharma Putra, I K G., Feb. 25., 2010, Upaya Mengatasi Pencemaran lingkungan, <http://kgdharmaputra.blogspot.com>. Okt. 2, 2013
- Environmental Protection Agency 1973 *Water quality criteria* 1972, Ecological research series, Washington, 595
- Gasparatos, D., C. Haidouti, Adrinopoulus and O. Areta, 2005, Chemical Speciation and Bioavailability of Cu, Zn, and Pb in Soil from The National Garden of Athens, Greece, *Proceedings : Internasional Conference on Environmental Science and Technology*, Rhodes Island, Greece, 1-3 September 2005.
- Hendozko, E., P.Szefer, & J. Warzocha. 2010. Heavy metals in *Macomabalthica* and extractable metals in sediments from the southern Baltic Sea. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73 : 152-163
- Janssen, C.R., D.G. Heijerick, K.A.C. De Schamphelaere, & H.E. Allen, 2003, Environmental risk assessment of metals : tools for incorporating bioavailability, *Environment International*, 28 : 793-800

- Nowierski, M., G. Dixon, and U. Borgman, 2002, Effect of water source on metal bioavailability and toxicity from field collected sediments, *Proceeding: SETAC*, Salt Lake City, 16-20 November 2002
- Reboreda, R., & I. Cacador, 2007, Copper, zinc, and lead speciation in salt marsh sediments colonized by *Halimione portulacoides* and *Spartina maritime*, *Chemosphere*, 69 : 1655-1661
- Stecko, J.R.P. & L.I. Bendell-Young, 2000, Contrasting the geochemistry of suspended particulate matter and deposited sediments within an estuary, *Applied Geochemistry*, 15 : 753-775
- Tessier, A., Campbell, P.G.C., and Bisson, M., 1979, Sequential Extraction Procedures for The Speciation of Particulate Trace Metal, *Anal. Chem.*, 51 : 844-851
- Widowati W., Sastiono A., dan Jusuf Raymond R., 2008, *Efek toksik logam Pencegahan dan penanggulangan pencemaran, Edisi I*. Andi, Yogyakarta
- Yap, C.K., A. Ismail, and S.G. Tan., 2003, Concentration, Distribution and Geochemical Speciation of Cooper in Surface Sediment of the Strait of Malacca, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6 (12) : 1021-1026
- Yu, X., Y. Yana, and W. Wang, 2010, The Distribution and Speciation of Trace Metals in Surface Sediments from The Pearl River Estuary and The Daya Bay, Southern China, *Marine Pollution Bulletin*, 60 : 1364-1371