

**AKUMULASI LOGAM BERAT PB, CU, DAN ZN
DI HUTAN MANGROVE MUARA ANGKE, JAKARTA UTARA**

**ACCUMULATION OF HEAVY METALS PB, CU, AND ZN IN THE MANGROVE
FOREST OF MUARA ANGKE, NORTH JAKARTA**

Faisal Hamzah dan Agus Setiawan

Balai Riset dan Observasi Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan
ching_ai_hamzah@yahoo.com, setiawan.agus@gmail.com

ABSTRACT

*In this study, the concentrations of three kinds of heavy metals, namely Pb, Zn, and Cu from 3 species of mangrove that grow in Muara Angke were measured and analyzed. Our result showed that substrate of mangrove ecosystem in Muara Angke was dominated by clay (30.5% - 62.4%), silt (21.7% -35.6%), and sand (2% -39.5%). The heavy metals accumulation in roots is higher than in sediment, water and leaves with concentration of Zn as the highest. Bioconcentration Factor (BCF; content ratio of heavy metal concentrations in roots or leaves and sediment) and Translocation Factor (TF; ratio of heavy metal concentrations in leaves and roots) of non-essential heavy metals (Pb) is higher in leaves than in roots, but for essential heavy metals (Zn and Cu), the BCF and TF was higher in roots than in leaves. TF values for heavy metals Pb, Cu, and Zn were 0.98-2.59, 0.17-0.51, and 0.52-0.86, respectively. The values of root BCF of those three heavy metals were 0.71-3.17, 0.27-0.74, and 0.95-1.53, while the values of leaf BCF were 1.84-3.45, 0.07-0.34, and 0.72-1.19, respectively. Furthermore, by calculating the phytoremediation (FTD), i.e. the difference between BCF and TF, it is obtained that *Sonneratia caseolaris* and *Avicennia marina* can be used in phytoremediation, with leaves and roots FTD of 1.93 and 2.09, respectively for *Sonneratia caseolaris* and 1.93 and 1.98 for *Avicennia marina*.*

Keywords: heavy metals, mangroves, phytoremediation, Muara Angke, bioconcentration factor, translocation factor

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, konsentrasi tiga jenis logam berat, yaitu Pb, Zn, dan Cu dari 3 spesies mangrove yang tumbuh di Muara Angke diukur dan dianalisis. Hasil analisa menunjukkan bahwa substrat yang mendominasi ekosistem mangrove di Muara Angke adalah liat (30,5% - 62,4%), debu (21,7%-35,6%), dan pasir (2%-39,5%). Akumulasi logam berat di akar lebih tinggi daripada di daun, dimana konsentrasi logam berat Zn adalah yang tertinggi. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF; rasio kandungan konsentrasi logam berat dalam akar atau daun dengan sedimen) dan *Translocation Factor* (TF; rasio konsentrasi logam berat dalam daun dan akar) logam berat non esensial (Pb) lebih tinggi di daun daripada di akar, namun untuk logam berat esensial (Zn dan Cu), BCF dan TF lebih tinggi di akar daripada di daun. Nilai TF untuk logam berat Pb, Cu, dan Zn berturut-turut adalah 0,98-2,59; 0,17-0,51 dan 0,52-0,86. Sementara itu, nilai BCF akar ketiga logam berat tersebut adalah 0,71-3,17; 0,27-0,74, dan 0,95-1,53. BCF daun logam Pb, Cu, dan Zn adalah 1,84-3,45, 0,07-0,34, dan 0,72-1,19. Selanjutnya, dengan menghitung fitoremediasi (FTD), yang merupakan selisih antara BCF dan TF, diperoleh bahwa *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia marina* merupakan spesies mangrove yang dapat digunakan dalam fitoremediasi di Muara Angke, dengan FTD daun dan akar sebesar 1,93 dan 2,09 untuk *Sonneratia caseolaris* dan 1,93 dan 1,98 untuk *Avicennia marina*.

Kata Kunci: logam berat, mangrove, fitoremediasi, Muara Angke, bioconcentration faktor, translocation faktor

I. PENDAHULUAN

Mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang mempunyai peranan penting di daerah estuari. Ekosistem mangrove memiliki tingkat produktivitas paling tinggi dibandingkan dengan ekosistem pesisir lainnya. Mangrove juga merupakan tempat mencari makan, memijah dan berkembang biak bagi udang dan ikan serta kerang dan kepiting. Ekosistem mangrove bagi manusia juga bermanfaat baik secara langsung dan tidak langsung terhadap sosio-ekonomi penduduk sekitar. Selain itu, ekosistem mangrove juga berfungsi sebagai perangkap sedimen dan mencegah erosi serta penstabil bentuk daratan di daerah estuari (Harty, 1997).

Disamping kegunaan mangrove yang begitu banyak, adapula usaha dan aktivitas lain yang menyebabkan luasan mangrove berkurang. Kegiatan ini seperti reklamasi pantai, pembukaan lahan untuk pertanian dan perikanan budidaya, industri serta pengembangan perumahan didaerah pesisir (Eong, 1995). Dampak dari aktivitas diatas dapat menyebabkan secara langsung masuknya limbah kedalam ekosistem estuari yang salah satunya adalah logam berat (MacFarlane, 2002). Peningkatan kadar logam berat pada ekosistem mangrove dapat juga berasal dari perkapalan, wisata, tumpahan minyak, pengolahan limbah tumbuhan serta peningkatan sampah dan aktivitas pertambangan (Peters *et al.*, 1997). Masukan dari aktivitas pertanian seperti penggunaan insektisida dan pupuk yang berlebihan juga meningkatkan konsentrasi logam berat di estuari (Alloway, 1994). Konsentrasi logam berat yang tinggi akan menyebabkan kerusakan lingkungan dan meningkatkan daya toksisitas, persistan dan bioakumulasi logam itu sendiri (Lindsey *et al.*, 2004).

Secara umum, logam berat untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dibagi menjadi dua yaitu logam esensial dan non esensial. Cu dan Zn merupakan logam yang termasuk esensial, sedangkan Pb merupakan logam non esensial bagi tumbuhan (Baker dan Walker, 1990 *dalam* MacFarlane and Burchett, 2002). Cu sangat berguna untuk pertumbuhan jaringan tumbuhan terutama jaringan daun dimana terdapat proses fotosintesis (Kamaruzzaman *et al.*, 2008). Selain itu, Cu juga mempunyai fungsi sebagai salah satu mikronutrien yang diperlukan didalam mitokondria dan kloroplas, enzim yang berhubungan dengan transpor elektron II, proses sintesis dan metabolisme karbohidrat dan protein serta sebagai dinding sel lignin (Verkleij dan Schat, 1990 *dalam* MacFarlane and Burchett, 2003). Pb merupakan logam yang sangat rendah daya larutnya bersifat pasif, dan mempunyai daya translokasi yang rendah mulai dari akar sampai organ tumbuhan lainnya. Pb juga memiliki toksisitas yang tertinggi dan menyebabkan racun bagi beberapa spesies (Wozny dan Kzreslowka, 1993 *dalam* MacFarlane and Burchett, 2002). Zink sangat berguna dalam sistem enzim, enzim aktivator dalam proses respirasi dan hormon pertumbuhan. Mills (1995) telah melakukan observasi terhadap beberapa logam berat yang masuk ke daerah estuari, dan hasilnya adalah sebagian besar logam yang masuk kedalam estuari berasal dari aktivitas industri antara lain Cu, Pb, dan Zn. Ketiga logam tersebut masuk kedaerah estuari dengan konsentrasi yang tinggi dengan peningkatan nilai konsentrasi sampai dengan $1000 \mu\text{g Cu g}^{-1}$, $1000 \mu\text{g Pb g}^{-1}$, dan $2000 \mu\text{g Zn g}^{-1}$ didalam sedimen yang terkontaminasi (Irvine dan Birch, 1998).

Walaupun masukan sumber pencemar sangat banyak, mangrove memiliki toleransi yang tinggi terhadap logam

berat (Macfarlane dan Burchett, 2001). Hal ini menunjukkan bahwa mangrove secara aktif menghindari masukan logam berat yang berlebih dan berfungsi sebagai penyaring dan memiliki daya *treatment* khas secara alami melalui organ akar (Clark *et al.*, 1998 *dalam* Kammaruzaman *et al.*, 2008) Akumulasi logam berat terjadi pada akar dan dibawa ke jaringan lainnya dan proses ini bisa membatasi masuknya udara ke dalam jaringan tersebut (Silva *et al.*, 1990; Chiu dan Chou, 1991 *dalam* MacFarlane *et al.*, 2003).

Hutan Lindung Angke Kapuk (HLAK) merupakan kawasan konservasi di daerah Muara Angke yang terletak di ujung Jakarta dengan luas hutan seluas 44,7 Ha. Luasan hutan ini termasuk kecil, namun mengingat keberadaan dan fungsinya kawasan ini mempunyai nilai yang sangat khusus. Sebagian besar ekosistem yang tumbuh di daerah HLAK yaitu mangrove jenis *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, dan *Sonneratia caseolaris*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akumulasi logam pada mangrove terutama pada jaringan utama seperti akar dan daun. Selain itu, diketahuinya perbandingan konsentrasi logam antara di mangrove dengan di lingkungan sehingga diketahui apakah vegetasi tersebut dapat dijadikan indikator pencemaran logam berat di kawasan Muara Angke.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Jenis Sampel

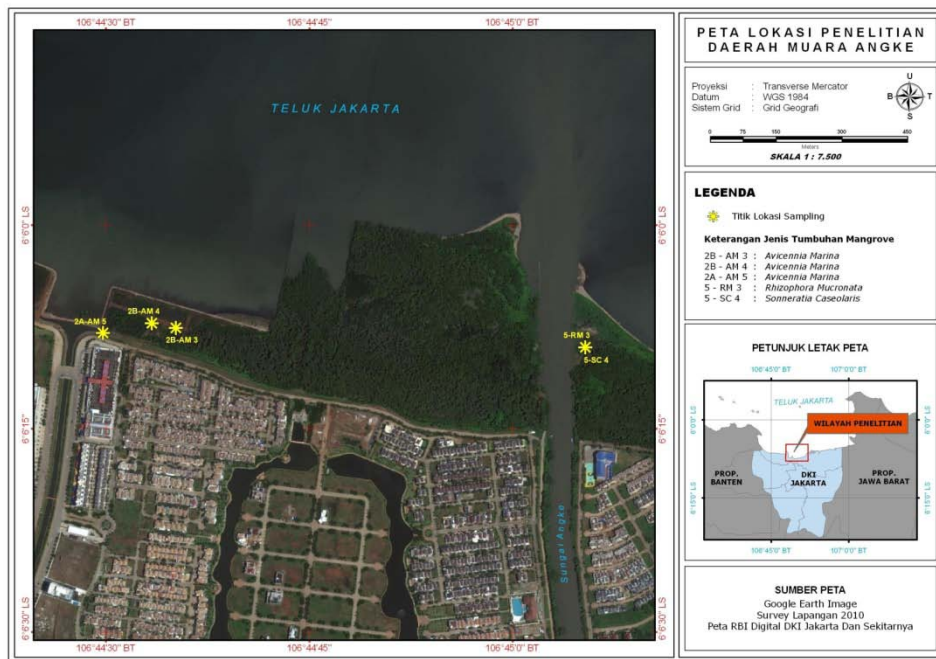
Survey pengambilan sampel dilaksanakan pada bulan Juni 2010 di Hutan Lindung Angke Kapuk (HLAK), Muara Angke, Jakarta. HLAK merupakan daerah konservasi hutan mangrove berada dibawah koordinasi Dinas Kelautan dan Pertanian DKI Jakarta. Sebanyak 3 titik diambil pada penelitian

ini yaitu stasiun 2A, 2B dan 5 (Gambar 1). Pemilihan jenis mangrove berdasarkan spesies yang dominan yang ditemukan di daerah penelitian. Secara umum jenis mangrove yang dominan yang ditemukan adalah *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, dan *Sonneratia caseolaris*.

Sampel yang diambil meliputi parameter fisika kimia air dan sedimen yaitu suhu, pH, salinitas air dan tanah, kandungan oksigen terlarut (DO). Logam yang dianalisa meliputi logam esensial dan non esensial bagi mangrove yaitu Pb, Cu, dan Zn. Sampel untuk analisa logam berat berasal dari air, sedimen, akar dan daun mangrove.

2.2. Pengambilan Sampel dan Metode Ekstraksi

Pengukuran insitu dilakukan terhadap parameter suhu, salinitas, kandungan oksigen terlarut (DO) dan pH. Suhu diukur dengan menggunakan termometer, salinitas air diukur dengan menggunakan refraktometer sedangkan salinitas sedimen diukur dengan SCT Meter. pH air diukur dengan menggunakan pH meter sedangkan pH sedimen diukur dengan menggunakan ekstrak H₂O dan CaCl₂ dimana pH yang diekstrak dengan air merupakan kemasaman aktif (aktual) dan ekstrak CaCl₂ 0.01 M merupakan kemasaman potensial (cadangan). Kandungan oksigen terlarut diukur dengan menggunakan metode titrasi winkler. Sampel air untuk logam diambil dengan menggunakan Van Dorn dan dimasukkan kedalam botol polietilen yang terlebih dahulu dibersihkan dengan menggunakan HCl 6 N dan dibilas dengan aquadest (Hutagalung *et.al.*, 1997). Sampel sedimen diambil dengan menggunakan Ekman grab dan dimasukkan kedalam botol polietilen.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Muara Angke, Juni 2010

Kandungan logam berat pada air diukur dengan cara terlebih dahulu menghilangkan ion mayor seperti Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , K^+ , dan Mg^{2+} dengan menambahkan metil iso butil keton, APDC, dan NaDDC sehingga memudahkan proses adsorpsi logam berat oleh AAS (Hutagalung *et al.*, 1997). Untuk logam berat pada sedimen juga dihilangkan ion mayor kemudian ditambahkan HF hingga suhu mencapai 130°C . Setelah dingin, sampel siap diukur dengan AAS menggunakan nyala udara asitilen. Fraksinasi sedimen juga dilakukan pada penelitian ini. Fraksinasi sedimen dilakukan dengan menganalisa tekstur dengan menggunakan metode fraksional yang menggunakan alat saringan bertingkat.

Sampel akar dan daun mangrove diambil dengan menggunakan gunting tanaman. Sampel akar yang diambil merupakan akar mangrove yang masuk kedalam sedimen, sedangkan daun mangrove yang diambil merupakan daun mangrove yang tidak terlalu tua dan tidak juga terlalu muda. Sebanyak ± 30 daun

diambil dari 5 jenis pohon 3 spesies. Pohon yang diambil mempunyai diameter berkisar antara 15-20 cm dengan tinggi 3-5 m. Sampel daun dan akar, terlebih dahulu di keringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Tambahkan HNO_3 dan HClO_4 (APHA, 2005), Kemudian dipanaskan dan ditambah HNO_3 , dan siap diukur dengan menggunakan nyala udara asitilen.

2.3. Analisa Data

Untuk mengetahui terjadi akumulasi logam pada mangrove dilakukan dengan cara menghitung konsentrasi logam pada sedimen, akar dan daun. Perbandingan antara konsentrasi logam di akar/daun dengan konsentrasi di sedimen dikenal dengan bio-concentration factor (BCF). BCF pada daun dan akar dihitung untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi logam pada daun dan akar yang berasal dari lingkungan (MacFarlane *et al.*, 2007). Selain itu juga dihitung perbandingan antara konsentrasi logam

pada daun dan akar yang dikenal sebagai translocation factors (TF). Nilai TF dihitung untuk mengetahui perpindahan akumulasi logam dari akar ke tunas (MacFarlane *et al.*, 2007). Selisih antara nilai BCF dan TF digunakan untuk menghitung fitoremediasi (Yoon *et al.*, 2006). Pearson correlation digunakan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi logam pada sedimen, akar dan daun.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Paramater Fisika dan Kimia

Parameter fisika dan kimia air yang diukur secara insitu adalah pH, suhu, salinitas dan oksigen terlarut sedangkan untuk sedimen, parameter yang diukur adalah salinitas dan pH. Secara umum, pH hasil pengukuran di ketiga lokasi hampir sama yaitu berkisar 7,53 - 7,68. Nilai tertinggi untuk pH ditemukan pada Stasiun 2B. Untuk suhu, secara umum juga hampir sama di semua lokasi penelitian yaitu berkisar antara 28,5-29 °C (Tabel 1). Nilai suhu dan pH berdasarkan baku mutu air laut untuk biota laut didaerah mangrove masih berada dibawah baku mutu (KepMen LH No 51, 2004). Nilai salinitas dan oksigen terlarut memiliki nilai yang beda antarstasiun. Stasiun 5 merupakan stasiun yang paling rendah salinitas dan DO-nya (3 ‰ & 1,77 mg/l), sedangkan stasiun 2B memiliki salinitas dan DO paling tinggi yaitu 19 ‰ dan 6,39 mg/l. Rendahnya salinitas pada stasiun 5 diduga bahwa Stasiun 5 dekat dengan Sungai Angke, sehingga mendapat pengaruh dari masukan air tawar. Kondisi substrat yang bersifat anaerob merupakan salah satu ciri daerah estuari. Hal ini mengindikasi bahwa secara umum oksigen terlarut di daerah estuari memang sangat rendah dan bersifat anaerob. Oksigen terlarut dari air diserap ke sedimen dan digunakan untuk

kegiatan respirasi oleh bakteri (Hogarth, 1999).

Salinitas pada sedimen berkisar 12-25 ‰, sedangkan pH sedimen yang diukur melalui pendekatan H₂O berkisar 5,2-7,5 dan CaCl₂ berkisar 5,1-7,4. Secara umum pH dengan menggunakan pendekatan ekstraksi H₂O dan CaCl₂ tidak jauh beda antarstasiun dan jika dibandingkan antara pH air dan sedimen, maka stasiun 2A dan 2B memiliki pH yang sama, tetapi untuk stasiun 5 memiliki perbedaan nilai antara air dan sedimen. Pengukuran pH dengan menggunakan ekstraksi H₂O akan mendapatkan hasil lebih besar dibandingkan dengan menggunakan ekstrak CaCl₂ 0.01 M karena ekstrak CaCl₂ merupakan kemasaman cadangan sehingga nilainya selalu lebih kecil dari ekstrak air. Faktor lain yang mempengaruhi rendahnya nilai pH pada stasiun 5 adalah proses reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi pada sedimen diduga bisa mengurangi kandungan pH.

Secara umum, kondisi ekosistem mangrove di Muara Angke berada didaerah tercemar (Teluk Jakarta). Masukan limbah yang berasal dari industri, pelabuhan, dan aktivitas rumah tangga menyebabkan tingginya pencemaran yang terjadi terutama logam berat. Sumber pencemar yang berasal dari aktivitas rumah tangga yang mengandung bahan organik akan mempengaruhi kondisi ekosistem mangrove terutama sedimen. Bahan organik yang ada pada ekosistem mangrove secara alami berasal dari serasah mangrove. Selain itu, bahan organik juga akan mempengaruhi derajat keasaman (Setyawan, 2008). Peningkatan logam didaerah estuari juga dipengaruhi oleh faktor sedimen yang dipengaruhi oleh pH, bahan organik, perpindahan kation, spesies mangrove, dan umur mangrove. Mobilitas logam dan ketersediaan dari logam berat di sedimen

secara umum rendah. Kondisi ini ditentukan sekali oleh pH yang tinggi, sedimen berbentuk lempung dan bahan organik tinggi. (Jung dan Thomson, 1996; Rosselli *et al.*, 2003 dalam Yoon *et al.*, 2006).

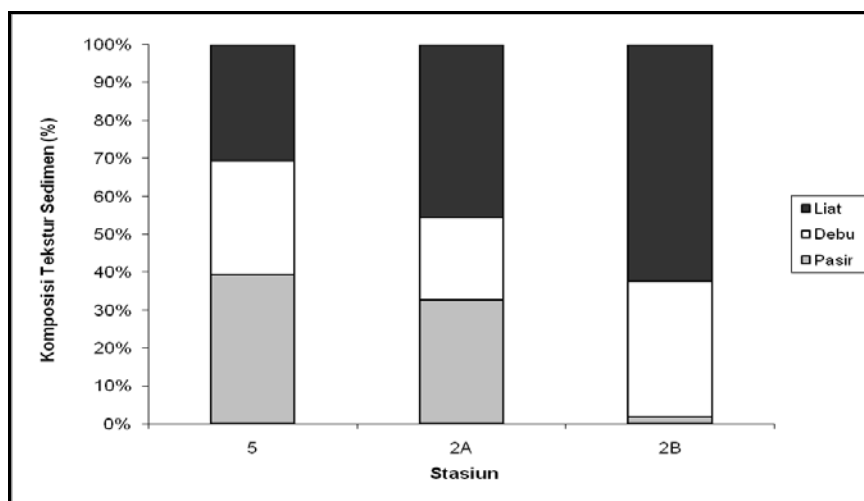
3.2. Fraksinasi Sedimen

Sedimen di daerah Muara Angke terdiri dari berbagai tipe substrat dengan ukuran yang berbeda, penentuan jenis dan komposisi sedimen dilakukan dengan mengidentifikasi fraksi-fraksi pemben-

tuknya yakni pasir, debu dan liat. Gambar 2 menunjukkan bahwa, berdasarkan hasil analisa laboratorium, komposisi substrat didaerah Muara Angke sebagian besar didominasi oleh liat (30,5 - 62,4%), sedangkan untuk fraksi lainnya yaitu debu (21,7%-35,6%), dan pasir (2%-39,5%). Stasiun 2B dan 2A merupakan stasiun tertinggi komposisi liatnya yaitu 62,4% dan 45,6%. Stasiun 5 lebih didominasi oleh pasir dengan jumlah persentase mencapai 39,5%.

Tabel 1. Parameter fisika kimia air dan sedimen di daerah Muara Angke

No	Parameter	Satuan	Stasiun		
			5	2A	2B
Air					
1	pH (in-situ)	-	7,56	7,53	7,68
2	Suhu (in-situ)	°C	28,5	29	29
3	Salinitas (in-situ)	‰	3	10	19
4	Oksigen Terlarut	mg/L	1,77	5,68	6,39
Sedimen					
5	Salinitas	‰	13	12	25
6	pH				
	H ₂ O	-	5,2	7,5	7,5
	CaCl ₂	-	5,1	7,4	7,4



Gambar 2. Komposisi tekstur sedimen di Muara Angke

Prosentase antara liat dan debu pada Stasiun 5 hampir sama yaitu 30,5% dan 30%. Kondisi substrat dengan fraksi lumpur akan berpengaruh terhadap konsentrasi logam (Hogarth, 1999).

3.3. Kandungan logam berat Pb, Cu dan Zn pada air dan sedimen

Hasil pengukuran kandungan logam Cu dan Pb total pada air menunjukkan kurang dari 0,006 ppm, sedangkan untuk logam Zn total berkisar antara 0,044-0,062 ppm. Pada sedimen, kandungan logam berat Cu total berkisar antara 28,41-51,36 ppm, kandungan logam Zn total berkisar 56,58-69,3 ppm dan 18,64-29,57 ppm untuk logam Pb total. Kandungan rerata logam berat Pb, Cu, dan Zn pada air dan sedimen dapat dilihat pada Tabel 2.

Secara umum kandungan logam baik Pb, Cu, dan Zn dalam air memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan yang di sedimen. Dalam air, logam Zn memiliki konsentrasi tertinggi di dibandingkan logam lainnya. Pb dan Cu memiliki daya larut yang rendah dibandingkan dengan Zn, sehingga di perairan konsentrasinya rendah. Di sedimen, konsentrasi logam Zn memiliki nilai konsentrasi yang tinggi dibandingkan dengan Cu dan Pb. Tingginya konsentrasi logam Zn total

baik di air dan sedimen dapat menunjukkan bahwa terdapat masukan dari aktivitas industri, pelabuhan, dan perumahan yang menuju HLAH. Jika dikaitkan dengan kondisi perairan yang asam, Zn akan berikatan dengan Cl⁻ dan mudah terlarut sehingga bisa meningkat konsentrasi Zn. Tingginya kandungan Zn di sedimen dibandingkan dengan air dikarenakan ion Zn sangat mudah terserap kedalam sedimen. Dalam hal ini, konsentrasi Zn dalam air, tidak berupa ion melainkan berbentuk senyawa (Effendi, 2003).

3.4. Kandungan logam berat Pb, Cu, dan Zn pada daun dan akar

Kandungan logam Cu pada akar berkisar antara 12,17-37,68 ppm dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada species *Avicennia marina* ke-3 stasiun 2. Kandungan logam Zn total pada akar berkisar 55,38-99,88 ppm, sedangkan kandungan logam Pb berkisar 20,98-68,78 ppm. Logam Zn tertinggi ditemukan di St. 2 pada species *Avicennia marina* ke-5 dan Pb tertinggi ditemukan di stasiun 5 pada spesies *Sonneratia caseolaris*. Kandungan logam Cu pada daun berkisar 2,07 - 10,07 ppm dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada spesies *Avicennia marina* stasiun 2 (Tabel 3).

Tabel 2. Kandungan rerata logam berat Pb, Cu dan Zn pada air dan sedimen

No	Parameter	Satuan	Stasiun		
			5	2A	2B
Air					
1	Cu Total	ppm	<0,006	<0,006	<0,006
2	Pb Total	ppm	<0,006	<0,006	<0,006
3	Zn Total	ppm	0,062	0,048	0,044
Sedimen					
4	Cu Total	ppm	28,41	29,68	51,36
5	Zn Total	ppm	56,58	65,28	69,3
6	Pb Total	ppm	23,23	18,64	29,57

Logam Zn dan Pb berkisar 47,86-67,45 ppm dan 54,31-85,48 ppm, dengan konsentrasi logam Zn dan Pb tertinggi terdapat pada stasiun 5, spesies *Sonneratia caseolaris* dan *Rhizophora mucronata*. Kandungan logam berat pada akar dan daun dapat dilihat pada Tabel 4.

Jika dilihat perbandingan konsentrasi logam pada akar dan daun, maka kandungan logam berat pada akar lebih tinggi dibandingkan pada daun. Logam Cu dan Zn lebih tinggi pada akar dibandingkan pada daun, namun sebaliknya konsentrasi logam Pb lebih tinggi di daun dibandingkan pada akar. Tingginya konsentrasi logam Pb pada daun diduga tingkat mobilitas logam Pb yang tinggi, namun berbeda dengan apa yang dilakukan oleh MacFarlane *et al.*, (2003). Kandungan logam berat Pb pada *Avicennia marina* pada kondisi terkontrol lebih tinggi di akar dibandingkan di daun. Baker (1981) dalam MacFarlane *et al.*, (2003) menyatakan bahwa *Avicennia marina* merupakan spesies mangrove yang sangat ketat dalam menyerap logam Pb bahkan sampai tidak menyerap sama sekali. Berdasarkan mekanisme fisiologis, mangrove secara aktif mengurangi penyerapan logam berat ketika konsentrasi logam berat di sedimen tinggi.

Penyerapan tetap dilakukan, namun dalam jumlah yang terbatas dan terakumulasi di akar. Selain itu, terdapat sel endodermis pada akar yang menjadi penyaring dalam proses penyerapan logam berat. Dari akar, logam akan di translokasikan ke jaringan lainnya seperti batang dan daun serta mengalami proses kompleksasi dengan zat yang lain seperti fitokelatin. (Baker dan Walker, 1990 dalam MacFarlane *et al.*, 2003).

3.5. Akumulasi dan translokasi logam Cu, Zn, dan Pb

Berdasarkan data konsentrasi akar, daun dan sedimen, akumulasi logam bisa dilihat dengan cara membandingkan konsentrasi antar jaringan tumbuhan mangrove. Baker dan Brooks (1989) menyatakan bahwa, tumbuhan mampu mengakumulasi logam berat hingga > 1000 mg kg⁻¹ dan dikenal sebagai hiperakumulator. Pada dasarnya, tumbuhan mempunyai daya toleransi dan mengakumulasi logam berat dan hal ini berkaitan dengan tujuan fitostabilisasi. *Bioconcentration factors* (BCF) dan *Translocation factors* (TF) bisa digunakan untuk menduga tumbuhan yang bisa dijadikan sebagai fitoremediasi.

Tabel 3. Kandungan rerata logam berat Pb, Cu dan Zn pada daun dan akar

No	Parameter	Satuan	Lokasi dan Spesies mangrove				
			5 - RM 3	5 - SC 4	2A - AM 3	2A - AM 4	2A - AM 5
Akar							
1	Cu Total	ppm	12,17	15,36	37,68	13,88	22,04
2	Zn Total	ppm	55,38	83,05	95,61	66,18	99,88
3	Pb Total	ppm	53,89	68,78	20,98	57,52	59,16
Daun							
4	Cu Total	ppm	2,07	2,57	8,45	7,08	10,07
5	Zn Total	ppm	47,86	67,45	50,15	51,76	54,22
6	Pb Total	ppm	85,48	67,71	54,31	61,93	64,32

Keterangan : 5 - RM 3 : *Rhizophora mucronata* St.5; 5 - SC 4: *Sonneratia caseolaris* St. 5; 2A - AM 3: *Avicennia marina* St. 2; 2A - AM 4: *Avicennia marina* St. 2A; 2A - AM 5: *Avicennia marina* St. 2A

Tabel 4. Akumulasi dan translokasi logam Cu, Zn dan Pb di daerah Muara Angke

Spesies	Stasiun	BCF Daun			BCF Akar			TF		
		Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb
<i>Rhizophora mucronata</i>	5	0,07	0,85	3,68	0,43	0,98	2,32	0,17	0,86	1,59
<i>Sonneratia caseolaris</i>	5	0,09	1,19	2,91	0,54	1,47	2,96	0,17	0,81	0,98
<i>Avicennia marina-3</i>	2 B	0,16	0,72	1,84	0,73	1,38	0,71	0,22	0,52	2,59
<i>Avicennia marina-4</i>	2 B	0,14	0,75	2,09	0,27	0,95	1,95	0,51	0,78	1,08
<i>Avicennia marina-5</i>	2A	0,34	0,83	3,45	0,74	1,53	3,17	0,46	0,54	1,09

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa dari 5 pohon mangrove untuk logam Pb, *Rhizophora mucronata* pada stasiun 5 memiliki nilai BCF daun paling tinggi yaitu 3,68 kemudian diikuti oleh *Avicennia marina-5* pada stasiun 2A (3,45). Hal ini bisa dilihat bahwa konsentrasi logam Pb total pada daun memang memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan daun mangrove lainnya dan juga didukung oleh konsentrasi total logam Pb pada sedimen di stasiun 5 lebih tinggi dibandingkan pada stasiun 2A (23,23 ppm). Berbeda dengan logam Pb, nilai BCF daun untuk logam Zn tertinggi ditemukan pada spesies *Sonneratia caseolaris* (1,19) di stasiun 5 dan untuk BCF daun logam Cu tertinggi ditemukan di stasiun 2A spesies *Avicennia marina-5* (0,34). Nilai BCF daun rata-rata logam Pb dan Zn (2,46 dan 0,76) spesies *Avicennia marina* lebih besar dibandingkan oleh yang dilakukan McFarlane *et al.*, 2007 (BCF= 0,17 dan 0,45).

Akumulasi logam dari sedimen menuju akar yang dilihat dari nilai BCF akar. Secara umum, akumulasi dan penyerapan logam Pb, Cu, dan Zn dari sedimen ke akar tertinggi ditemukan pada spesies *Avicennia marina-5* di stasiun 2A dengan nilai BCF akar logam Pb, Cu, dan Zn berturut-turut adalah 3,17; 0,74 dan 1,53. Tingginya nilai BCF akar untuk semua logam didukung oleh tingginya konsentrasi semua logam pada akar dan rendah pada sedimen sehingga menghasilkan nilai BCF akar yang tinggi.

Nilai BCF daun rata-rata logam Cu (0,58) spesies *Avicennia marina* lebih kecil dibandingkan oleh yang dilakukan McFarlane *et al.*, (2007) (BCF= 0,92), sedangkan untuk BCF rata-rata akar logam Pb dan Zn jauh lebih tinggi (1,94 dan 1,62) dibandingkan dengan yang dilakukan oleh McFarlane *et al.*, (2007) (BCF akar Pb=0,57; BCF akar Zn=0,69).

Translokasi logam dihitung antara rasio konsentrasi logam di daun dan di akar. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa nilai TF Cu, Zn, dan Pb berkisar 0,17-2,59. Nilai TF tertinggi ditemukan pada spesies *Avicennia marina-3* stasiun 2B untuk logam Pb dan nilai TF terendah ditemukan pada logam Cu spesies *Rhizophora mucronata* dan *Sonneratia caseolaris* (0,17). Nilai TF daun rata-rata logam Pb dan Zn (1,58 dan 0,61) spesies *Avicennia marina* lebih besar dibandingkan oleh yang dilakukan McFarlane *et al.*, 2007 (TF= 0,41 dan 0,51) namun, untuk logam Cu pada spesies yang sama, nilai TF rata-rata lebih kecil (TF= 0,39) dibandingkan yang dilakukan McFarlane *et al.* (2007) (TF=0,50). Jika dilihat kandungan total logam Pb pada akar dan daun *Avicennia marina-3* pada Tabel 4, spesies ini merupakan spesies yang paling kecil memiliki kandungan logam dibandingkan dengan *Rhizophora mucronata* dan *Sonneratia caseolaris*. *Avicennia marina* merupakan salah satu jenis mangrove yang mensekresi garam melalui daun. Selain itu juga pada bagian akar terdapat pneumatopora sehingga dapat mentrans-

lokasikan berbagai kandungan garam dan logam menuju daun (MacFarlane *et al.*, 2007).

Translokasi logam dari akar ke daun untuk logam esensial (Cu dan Zn) sangat rendah dibandingkan pada logam non esensial (Pb). Rendahnya nilai TF pada logam esensial menunjukkan bahwa mangrove menggunakan kedua logam tersebut untuk aktivitas metabolisme dan pertumbuhan. Sedangkan untuk logam non esensial, proses mobilitas logam dari akar ke daun sangat tinggi, hanya *Sonneratia caseolaris* yang nilai mempunyai nilai TF dibawah 1 (0,98). Pada daun, Pb bersifat racun terutama pada saat tumbuhan melakukan fotosintesis, sintesa klorofil, dan sintesa enzim antioksidan (Kim *et al.*, 2003 dalam Yoon *et al.*, 2006). Terkadang akar juga mempunyai sistem penghentian transpor logam menuju daun terutama logam non esensial, sehingga ada penumpukkan logam di akar (Yoon *et al.*, 2006).

Analisa *Pearson Correlation* dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kandungan logam pada daun dan sedimen, serta kandungan logam pada sedimen dan akar. Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa hubungan antara kandungan logam pada sedimen dan daun berkorelasi negatif terjadi pada logam Cu dengan nilai korelasi -0.296 dan berkorelasi positif pada logam Zn dan Pb dengan nilai korelasi masing-masing 0.192 dan 0.135. Hal ini menunjukkan bahwa, konsentrasi Cu

pada daun secara tidak langsung ditranslokasikan dari sedimen menuju daun, tetapi diakumulasikan terlebih dahulu diakar sedangkan pada logam Pb dan Zn, sekitar 19 % dan 13 % kedua logam tersebut di transfer dari sedimen menuju daun. Hubungan antara kandungan logam berat di akar dan di sedimen untuk logam Pb, Cu dan Zn berturut-turut adalah -0.57, 0.57, dan -0.04. Korelasi antara kandungan logam Cu pada akar dan sedimen mempunyai hubungan yang positif yaitu sebesar 57%. Hal ini mengindikasikan bahwa sebanyak 57 % logam di sedimen diserap oleh organ akar. Sedangkan untuk logam Pb dan Zn mempunyai hubungan negatif.

Ma *et al.* (2001) menyatakan bahwa fitoremediasi merupakan salah satu solusi yang murah biaya, waktu yang lama, dan hemat tenaga di daerah terkontaminasi. Salah satu aplikasi dari fitoremediasi yaitu fitostabilisasi. Fitostabilisasi merupakan usaha untuk mengurangi kandungan polutan dimana tumbuhan yang digunakan sebagai sarannya dengan tujuan mengurangi tingkat pergerakan logam pada tanah atau sedimen. Fitoremediasi (FTD) merupakan selisih antara nilai BCF dan TF. FTD akan maksimal jika BCF tinggi dan TF rendah (Yoon *et al.*, 2006).

Berdasarkan Tabel 6, *Avicennia marina*-5 stasiun 2A merupakan jenis mangrove yang mempunyai nilai FTD paling besar dibandingkan dengan jenis mangrove lainnya (FTD akar dan daun; 1,93 dan 2,09), kemudian diikuti oleh

Tabel 5. Fitoremediasi pada akar dan daun di Muara Angke

Spesies	Stasiun	FTD Daun			FTD Akar		
		Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb
<i>Rhizophora mucronata</i>	5	-0,1	-0,02	2,09	0,26	0,11	0,73
<i>Sonneratia caseolaris</i>	5	-0,08	0,38	1,93	0,37	0,66	1,98
<i>Avicennia marina</i> -3	2 B	-0,06	0,2	-0,8	0,51	0,86	-1,88
<i>Avicennia marina</i> -4	2 B	-0,37	-0,04	1,02	-0,24	0,17	0,87
<i>Avicennia marina</i> -5	2A	-0,12	0,29	2,36	0,29	0,99	2,09

Sonneratia caseolaris stasiun 5 dengan nilai FTD daun dan akar masing-masing 1,93 dan 1,98. Untuk spesies *Rhizophora mucronata* stasiun 5, spesies ini mempunyai nilai FTD daun cukup tinggi (2,09), namun nilai FTD akar cukup kecil (0,73) dan juga nilai TF cukup besar (1,59).

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa untuk didaerah Muara Angke, spesies mangrove yang dapat digunakan untuk tujuan fitoremediasi dilingkungan tercemara adalah *Avicennia marina-5* dan *Sonneratia caseolaris*. Fitoremediasi dan fitostabilisasi bisa digunakan untuk mengurangi pergerakan polutan didalam tanah/sedimen. Proses ini menggunakan kemampuan akar tanaman (mangrove) untuk mengubah kondisi lingkungan tercemar berat menjadi sedang bahkan ringan. Mangrove bisa mengentikan atau mengurangi proses penyerapan dan akumulasi logam berat melalui akar. Proses ini akan mengurangi pergerakan logam dan mengencerkannya serta mengurangi logam masuk kedalam system rantai makanan di daerah estuari (Susarla *et al.*, 2002).

IV. KESIMPULAN

Secara umum konsentrasi logam berat di Muara Angke pada akar mangrove lebih tinggi dibandingkan pada daun, sedimen dan air dengan konsentrasi: akar (12,17-99,88 ppm), daun (2,07-85,48 ppm), sedimen (18,64-69,3 ppm), air (<0,006-0,0062 ppm). Konsentrasi Zn paling tinggi dibandingkan dengan Pb dan Cu. Akumulasi logam berat pada daun dan akar bisa dihitung melalui BCF. Nilai BCF daun tertinggi pada logam Pb species *Avicennia marina* (3,45) dan BCF akar juga tertinggi pada logam Pb pada *Avicennia marina* (3,17). Nilai TF tertinggi ditemukan pada spesies

Rhizophora mucronata (1,59). Untuk tujuan fitoremediasi, *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia marina* merupakan spesies mangrove yang dapat digunakan didaerah Muara Angke.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1994. *Toxic metals in soil-plant systems*. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- American Public Health Association, American Water Works Assosiation dan Water Pollution Control Federation. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, AWWA, WPCF. 21st Eds. Hal 3-10.
- Baker, A.J.M. and R.R. Brooks. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements—a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1:81–126.
- Eong, O.J. 1995. The ecology of mangrove conservation and management. *Hydrobiologia*, 295: 343–351.
- Harty, C. 1997. *Mangroves in New South Wales and Victoria*. Vista Publications, Melbourne, 47 pp.
- Hutagalung, H.P, D. Setiapermana, dan S.H. Riyono. 1997. *Metode Analisis Air laut, Sedimen dan Biota (Buku Kedua)*. P3O LIPI. Jakarta.
- Irvine, I. and G. F. Birch. 1998. Distribution of heavy metals in surficial sediments of Port Jackson, Sydney, New South Wales. *Aust. J. Earth Sci.*, 45:297–304.
- Kamaruzzaman, B.Y., M.C. Ong., K.C.A., Jalal., S. Shahbudin., dan O.M. Nor. 2008. Accumulation of Lead and Copper in *Rhizophora apiculata* from Setiu Mangrove Forest, Terengganu, Malaysia.

- Journal of Environmental Biology*: 821-824
- KepMen LH Nomor 51 Tahun 2004. Baku mutu Air Laut.
- Lindsey, H.D., M.M. James, and M.G. Hector. 2004. An Assessment of Metal Contamination in Mangrove Sediments and Leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin.*, 50:, 547-552.
- Ma, L. Q., K.M. Komar, C. Tu, and W. A. Zhang. 2001. A fern that Hyperaccumulator arsenic. *Nature* 409:579.
- MacFarlane, G.R. and M.D. Burchett. 2001. Photosynthetic pigments and Peroxides activity as indicators of Heavy Metal stress in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 233-240.
- MacFarlane, G.R. 2002. Leaf biochemical parameters in *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh as potential biomarkers of heavy metal stress in estuarine ecosystems. *Mar. Pollut. Bull.*, 44: 244–256.
- MacFarlane, G.R. and M.D. Burchett. 2002. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Environmental Research*, 54: 65–84.
- MacFarlane, G.R., Pulkownik, and M.D., Burchett. 2003. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk) Vierh: Biological indication potential. *Environmental Pollution*, 123: 139-151.
- MacFarlane, G.R., E.C. Koller, and S.P. Blomberg. 2007. Accumulation and Partitioning of Heavy Metals in Mangrove: A Synthesis of Field-based Studies. *Chemosphere*. 1454-1464.
- Mills, W.B. 1995. Water Quality Assessment: A Screening Procedure for Toxic and Conventional Pollutants in Surface and Ground Water – Part 1. US EPA, Georgia.
- Peters, E.C., N.J. Gassman, J.C. Firman, R.H. Richmond, and E.A. Power. 1997. Ecotoxicology of tropical marine ecosystems. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16:12–40.
- Rao, N.S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Edisi kedua. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Setyawan, A.D. 2008. *Biodiversitas Ekosistem Mangrove di Jawa; Tinjauan Pesisir Utara dan Selatan Jawa Tengah*. Cetakan Pertama. Pusat Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Biodiversitas, LPPM Universitas Sebelas Maret. Surakarta: 71-79.
- Susarla S., V.F. Medina, and S.C. McCutcheon .2002. Phytoremediation, an ecological solution to organic contamination. *Ecol Eng*, 18:647–58.
- Yoon, J., C. Xinde, Z. Qixing , and L.Q. Ma. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Science of the Total Environment*: 456-464.