POLUTAN LOGAM BERAT DALAM EKOSISTEM MANGROVE

Oleh
Lestari¹⁾

ABSTRACT

HEAVY METAL POLLUTANTS IN MANGROVE ECOSYSTEM. *Mangrove is an unique tropical ecosystem with the marine, riverine, terrestrial and atmospheric components influencing the occurrence, speciation, bioavailability and fate of trace chemicals. Mangrove ecosystem are one of the most threatened tropical environment due to habitat loss, aquaculture expansion, overharvesting and increase of pollution load. In this paper, the role of mangrove to act as a sink of pollutants, accumulation and biomagnifications of heavy metals is discussed.*

PENDAHULUAN

Hutan mangrove sebagai kawasan penyangga antara ekosistem lautan dan daratan yang tumbuh dan berkembang di kawasan pesisir, memiliki peran dan fungsi yang sangat besar terhadap berbagai biota dan mikroorganisme di dalamnya (Pramudji, 2017) serta sebagai produsen utama dalam ekosistem muara (MacFarlane *et al.*, 2007). Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki hutan mangrove terluas, yakni sekitar 25% dari total luas mangrove di dunia (17 juta hektar), yaitu sekitar 4,25 juta hektar, serta memiliki ekosistem mangrove dan keragaman jenis tertinggi di dunia yang tersebar di wilayah pesisir Sumatera, Kalimantan, dan Papua (Pramudji, 2017).

Beberapa dekade terakhir ini ekosistem mangrove mengalami degradasi yang sangat tinggi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain antropogenik

seperti penebangan liar, pertambangan, pembakaran, pertambangan, industri, pelabuhan dan perumahan serta faktor alam seperti abrasi, perubahan iklim global yang dapat menyebabkan *rob* (Pramudji, 2017). Ekosistem pesisir dan laut berpotensi tercemar karena adanya polutan antropogenik logam berat (Wang *et al.*, 2013) dengan konsentrasi yang tinggi di dalam sedimen (Kumar & Ramanathan, 2015). Logam berat merupakan salah satu polutan yang paling serius karena toksisitas, persistensi dan bioakumulasinya (Tam & Wong, 2000). Penelitian mengenai konsentrasi logam berat dalam sedimen di mangrove sudah dilakukan dari berbagai belahan dunia (Wang *et al.*, 2013) dan beberapa daerah di Indonesia (Analuddin *et al.*, 2017, Supriyanti *et al.*, 2017, Hamzah & Setiawan, 2010, Kristanti *et al.*, 2007).

Nasib (*fate*) dan efek dari logam yang dilepaskan dari sumber antropogenik ke ekosistem mangrove

¹⁾ Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI

telah dikaji secara ilmiah (Lewis *et al.*, 2011). Penelitian mengenai konsentrasi dan bioakumulasi logam dalam jaringan pada beberapa jenis mangrove di Indonesia telah dilakukan (Analuddin *et al.*, 2017, Supriyantini *et al.*, 2017, Hamzah & Setiawan, 2010, Kristanti *et al.*, 2007, Handayani 2006). Beberapa tinjauan penelitian mengenai konsentrasi logam dalam sedimen mangrove beserta bioavailabilitas dan bioakumulasi dalam jaringan telah dilakukan (Lewis *et al.*, 2011; Bayen, 2012; Maiti *et al.*, 2013).

Tulisan ini akan menjelaskan mengenai tingkat konsentrasi dan sumber logam dalam kompartemen abiotik mangrove, logam dalam ekosistem mangrove, biotransformasi dan bioakumulasi logam pada mangrove, spesiasi kimia dan bioavailabilitas logam serta peran mangrove sebagai tempat menyerap polutan.

TINGKAT KONSENTRASI DAN SUMBER LOGAM DALAM KOMPARTEMEN ABIOTIK MANGROVE

Jalur bioakumulasi kontaminan pada ekosistem mangrove dapat dilihat pada Gambar 1. Tingkatan konsentrasi logam di daerah mangrove tidak sama

dan nilainya bervariasi berdasarkan kedalaman, jarak dari pantai, jenis vegetasi di atas permukaan tanah, dan hidrologi (Bayen, 2012; Tam & Wong, 1995). Untuk mengetahui asal logam dalam sampel lingkungan sulit untuk diidentifikasi, karena keberadaan logam merupakan kombinasi dari sumber-sumber alam dan input antropogenik. Beberapa penelitian mengemukakan bahwa sumber logam antropogenik yang spesifik untuk mangrove, misalnya limpasan merkuri dari penambangan emas, penggunaan bensin bertimbal di masa lalu, emisi timbal dari industri, pabrik pencelupan antifouling dan tekstil untuk timah. Logam yang berasal dari sumber antropogenik dapat masuk ke mangrove melalui transportasi sungai, intrusi air laut, atau melalui deposisi atmosfer (Bayen, 2012). Pada akhirnya, ekosistem mangrove dapat secara efisien mempertahankan logam dan mencegah pergerakan logam ke sistem perairan yang berdekatan. Oleh karena itu, pengayaan logam pada lingkungan mangrove tidak hanya membuktikan adanya korelasi positif antara jarak sumber pencemar dengan keberadaan mangrove bukti kedekatan sumber, tetapi juga memperhitungkan efisiensi ekosistem ini untuk mempertahankan logam.

Gambar 1. Jalur kontaminan pada ekosistem mangrove (Maiti & Chowdhury, 2013).

LOGAM DALAM SEDIMEN PADA EKOSISTEM MANGROVE

Ekosistem mangrove berfungsi sebagai penghalang baik secara fisika, maupun biogeokimia terhadap transportasi kontaminan (Saenger *et al.*, dalam Lewis *et al.*, 2011). Sedimen mangrove umumnya berbentuk butiran halus, digenangi oleh air yang bersumber dari sungai, estuari dan samudera, serta menerima bahan organik *alokhton* yang berasal dari daratan. Padatan tersuspensi yang masuk ke ekosistem mangrove dapat menimbun tanaman mangrove (Ellison, 1998), dan kontaminan yang terserap dalam sedimen merepresentasikan tempat bahan kimia yang dapat diambil secara biologi. Pemahaman bioavailabilitas kontaminan ini sangat kompleks, karena dipengaruhi oleh banyak faktor geokimia (seperti bahan organik, oksida besi dan

sulfida), faktor hidrologi (seperti banjir dan *drainase* yang berdampak retensi dan pelepasan logam oleh tanah liat), dan faktor fisikokimia (seperti perubahan oksidasi reduksi, salinitas, suhu dan pH (Rai *et al.*, 2008).

Penelitian mengenai penentuan konsentrasi logam dalam sedimen di mangrove telah banyak dilakukan di berbagai negara, termasuk di Indonesia. Konsentrasi 22 logam telah dilaporkan dalam sedimen mangrove, namun yang sering dilaporkan adalah logam Cu, Pb dan Zn (Tabel 1).

Tabel 1. Informasi jenis logam yang dilaporkan pada beberapa penelitian (Lewis *et al.*, 2011).

	Jumlah laporan		Toksistas
	Keberadaan		
	Sedimen	Jaringan Tanaman	
Antimony (Sb)	1		
Aluminum (Al)	4		
Arsenic (As)	4	1	
Cadmium (Cd)	22	11	2
Cobalt (Co)	7	5	
Copper (Cu)	32	21	5
Chromium (Cr)	18	8	
Iron (Fe)	14	11	
Lead (Pb)	28	18	7
Lithium (Li)	1		
Manganese (Mn)	16	15	
Mercury (Hg)	5	3	2
Molybdenum (Mo)	2	1	
Nickel (Ni)	22	11	
Palladium (Pd)	1		
Selenium (Se)	1		
Strontium (Sr)	1		
Silver (Ag)	3		
Tin (Sn)	1	2	
Uranium (U)	1		
Vanadium (V)	1	1	
Zinc (Zn)	31	20	7

Sebagian besar hasil penelitian tersebut melaporkan tentang sampel sedimen permukaan, namun ada juga sedimen vertikal. Konsentrasi kontaminan dalam sedimen, air, jaringan mangrove (seperti daun, akar, kulit kayu, bunga, buah, dan ranting dan *pneumatophores* atau akar nafas), serta invertebrata infaunal, kepiting, dan alga epifit telah dilakukan secara bersamaan (Lewis *et al.*, 2011). Penentuan konsentrasi kimia dalam biota dapat dibandingkan dengan konsentrasi sedimen untuk menentukan

faktor biokonsentrasi (*Bioconcentration Factor*, BCF). Perhitungan BCF berdasarkan Hallare *et al.*, 2015

$$BCF = \frac{C_{biota}}{C_{soil}}$$

Dimana C_{biota} merupakan konsentrasi logam dalam tanaman yang berkorespondensi dengan konsentrasi logam dalam sedimen C_{soil}

Beberapa konsentrasi logam dalam sedimen mangrove dari berbagai daerah di dunia dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsentrasi logam dalam sedimen dalam ekosistem mangrove (Lewis *et al.*, 2011).

Location		Cd	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	Reference
Malaysia	R		2.1 49					24 69	12 93	Praveena et al., 2007
Puerto Rico	R		45 94	70	200, 400	420 1100	47 75		69 160	Ragsdale and Thorhaug, 1980
Brazil	R	0.01 87	0.01 300			72 539	1 31.7	BD 169.5	16 795	Farias et al., 2007
Multiple locations (review)	R	0.3 7.5	1 102	1 72		96 623	2.9 102	3 443	10.3 351	Defew et al., 2005
Brazil					22 60					Silva et al., 2003a,b
Australia	R	BD 0.4	BD 13	2 24		4 397	BD 9	BD 14	15 118	Preda and Cox, 2002
French Guiana (umol g ⁻¹)	R		0.06 0.61	0.61 1.4	0.19 0.24	4.4 45.4	0.32 0.76	0.08 0.18	1.25 5.94	Marchand et al., 2006
India	R		10 845			158 1124		1100 1950	31 2372	Thomas and Fernandez, 1997
Australia	RMC		0.6 135					<0.1 456	7.1 680	MacFarlane et al., 2000
Multiple locations (review)	R	0.1 2.4	0.3 75			1.23 640		1 650	0.28 379	Peters et al., 1997
China	R	0.12 0.14	23.6 38.3	6.1 8.0		408 537.0	18.4 25.0	28.7 33.8	76 114	Peng et al., 1997
Brazil	R		32 58		260 890				170 850	Machado et al., 2002a
Brazil	RMC		18 80			71.7 273	6 12	20 130	53.3 610	Machado et al., 2002b
Hong Kong	RMC						65 66	162 220	277 321	Ong Che, 1999
Brazil	R	0.02 0.19	0.34 46.2	0.55 10.0	30 510		1.13 25.0	2.28 56.5	5.6 97.2	Silva et al., 1996
Hong Kong Harbor	RMC		1.1 30.8			34 223		7.6 240.9	16.6 147.4	Tam and Wong, 1995b
Brazil	MC	3.1, 2.8	12.4, 12.5					17.8, 21.5	191, 311	Lacerda et al., 1993
Malaysia Peninsula	RMC	1.0 8.9	3.3 62.8					21.6 53.1	21.8 107	Yap et al., 2009
Nigeria	RMC		24.1 32.4	19.9 27.4			15.2 30.3	8.8 24.7	140.1 188.9	Essien et al., 2009
China	R	0.08 0.14	18.9 38.3	4.7 8.0		89.5 83.0	14.6 25.0	10.0 28.7	46.6 114.0	Zheng et al., 1996a,b
United Arab Republic	RMC	4.5 5.2	6.3 9.1	10.2 14.1			18.0 76.3	20.4 37.3	9.1 13.2	Shriadah, 1999
Multiple locations (review)	R		2.7 303					3 1484	0.9 610	MacFarlane et al., 2007
Australia	RMC	BD 2	5 134	6 131		35 576	6 26	4 395	26 757	Melville and Pulkownik, 2007
Brazil										
Polluted		1.6	15.4						59.9	Harris and Santos, 2000
Unpolluted	MC	0.6	3.8						24.2	
Hong Kong Harbor	RMC	0.01 3.2	0.5 74.8	BD 125		20 430	0.3 64.1	7.9 82.0	12 282	Tam and Wong, 2000
Singapore	MC	0.18,0.27	7.1,32.0	16.6, 32.1			7.4,11.7	12.3,31.0	51.2,120.0	Cuong et al., 2005
Columbia										
Dry season	R	0.9 3.2	11.7 32.9	5.5 13.7	2.1 4.9	179 615	12.1 8.8	4.6 18.0	50.4 93.5	Perdomo et al., 1998
Wet season		1.1 1.9	13.3 31.7	8.9 13.8	2.4 2.6	287 652	12.9 2.5	4.9 17.8	65.3 91.0	
India	R		23.7 150.6		130 1120			10.3 72.6	114 495	Sarkar et al., 2008
Arabian Gulf	R	0.17 3.0	0.14 3.83	2.45 12.67		2 69.3	2 18.1	6.1 18.7	2.2 17.1	Sadiq and Zaidi, 1994
Taiwan	R	<0.05 0.35	5.6 24.8				1.3 6.1	7 24	6.4 65.3	Chiu and Chou, 1991
Australia	R	<BD 2.0	3.1 34.1	7.6 116.8			2.4 57.6	7.7 84.7	40.8 144.0	Mackey and Hodgkinson, 1995
China	R	0.8 0.14	18.9 38.3	4.7 9.3		89.5 583	14.6 5.0	10.0 28.7	46.6 114.0	Weng-jiao et al., 1997
India	R	6.0 17.0	34.0 58.0	1.5 2.7		439 3253	7.5 52.0	16.0 95.0		Ray et al., 2006
China	RMC	2.5 3.8	39.2 61			942.9 1026	13.5 15.7	49.2 71	355.5 394.1	Jingchun et al., 2006
Tanzania	MC	1.1,1.2	9.5,4.9	22.7, 19.9	90, 20			14.6, 8.2	35.1, 19.6	Mtanga and Machiwa, 2007a
Brazil	MC	0.6	2.8	10.8		52		9.4	18	Silva et al., 1990
Brazil	MC		92	43	2			166	448	Kehrig et al., 2003

BIOTRANSFORMASI DAN BIOAKUMULASI LOGAM PADA MANGROVE

Penelitian mengenai konsentrasi logam pada sedikitnya 33 spesies mangrove telah dilakukan (Tabel 3), dan 12 jaringan seperti daun, batang, kulit kayu, batang, ranting, bunga, akar udara, akar *stilt* dan akar bawah tanah, daun serasah, serta bibit. Pengukuran konsentrasi logam berat dalam serasah daun telah dilakukan, sebagai contoh kisaran

konsentrasi As total 0,3-55 ug/g kering dalam alga epifit, daun bakau, kulit kayu dan akar dan detritus terkait-mangrove, kepiting, isopoda, zooplankton, udang, dan tiram (Kirby *et al.* dalam Lewis *et al.*, 2011). Meskipun bioakumulasi sudah umum untuk mangrove, namun demikian signifikansinya pada fisiologi tanaman dan kelangsungan hidup belum banyak diketahui (MacFarlane, 2002; MacFarlane & Burchett, 2002).

Tabel 3. Spesies mangrove yang memiliki residu bahan kimia dalam jaringan dan toksisitas kimianya (Lewis *et al.*, 2011).

<i>Acanthus illicifolius</i>	<i>Ceriops decandra</i>
<i>Aegiceras corniculatum</i> ^a	<i>Clerodendron inermi</i>
<i>Aeluropus lagopoides</i>	<i>Crenea maritime</i>
<i>Avicennia alba</i> ^a	<i>Derris trifoliata</i>
<i>Avicennia germinans</i> ^a	<i>Exoecaria agallocha</i>
<i>Avicennia marina</i> ^a	<i>Kandelia candel</i> ^a
<i>Avicennia officinalis</i>	<i>Kandelia obovata</i> ^a
<i>Avicennia schaueriana</i>	<i>Laguncularia racemosa</i> ^a
<i>Barringtonia racemosa</i>	<i>Lumnitzera racemosa</i>
<i>Bruguiera caryophylloides</i>	<i>Rhizophora apiculata</i>
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> ^a	<i>Rhizophora conjugata</i>
<i>Bruguiera parviflora</i>	<i>Rhizophora mangle</i> ^a
<i>Bruguiera cylindrica</i>	<i>Rhizophora mucronata</i> ^a
<i>Bruguiera sexangula</i>	<i>Scyphiphora hydrophyllaceae</i>
<i>Carapa moluccensis</i>	<i>Sonneratia apetala</i>
<i>Ceriops tagal</i>	<i>Sonneratia caseolaris</i> ^a
	<i>Sonneratia ovata</i>
	<i>Xylocarpus moluccensis</i>

^a Used in toxicity tests.

Konsentrasi logam dalam berbagai jaringan mangrove dapat dilihat pada Tabel 4. Rentang konsentrasi terukur (ug/g berat kering) untuk semua spesies dan jaringan dalam tabel ini adalah 0,5-207 (Cu), 0,01-3,1 (Cd), 0,2-347 (Cr), 4.5-2472 (Mn), 0.4-08 (Ni), 0,02-225 (Pb) dan 0.7-1988 (Zn). Konsentrasi rentang (ug/g kering berat) masing-masing untuk Zn, Cu, Mn, Cd, dan Pb di *Rhizophora* spp. sebagai 0,03-32,

0,12-1, 0,42-497, 0,04-0,24, dan 0,43 -27 (Peters *et al.*, dalam Lewis *et al.*, 2011). Penelitian konsentrasi merkuri total dalam jaringan mangrove tidak banyak dibandingkan dengan sedimen. Beberapa konsentrasi dilaporkan untuk daun seperti 0.2-1.8 ug/g kering (Chakrabarti *et al.*, dalam Lewis *et al.*, 2011) dan 0,03-0.14 ug/g kering (Agoramoorthy *et al.*, dalam Lewis *et al.*, 2011).

Tabel 4. Beberapa konsentrasi logam dalam jaringan mangrove R =kisaran, RMC = kisaran konsentrasi, MC = konsentrasi rata-rata, SV = Nilai tunggal, BD = dibawah batas deteksi (Lewis *et al.*, 2011).

Species	Location	Tissue	Cd	Cu	Cr	Mn	Ni	Pb	Zn	Reference	
<i>Laguncularia racemosa</i>	Panama	R	Leaves	2.3 5.0				2.7 9.3	33.4 41.4	Defew et al., 20	
<i>Avicennia marina</i>	Australia	RM	Leaves	2.9 24.8				0.1 3.9	8.8 57.7	MacFarlane, 20	
<i>Rhizophora mangle</i>	Brazil	MC	Fruits	BD	BD	17.8			1.2	Silva et al., 199	
			Flowers	BD	BD	59.0			9.0		
			Leaves	BD	BD	101			7.2		
			Branch	0.6		1.2			6.2		
			Trunk	0.5	0.2	20.4			3.4		
			Aerial roots	0.4	BD	15.5			7.2		
			Roots	5.1	BD	15.3			19.9		
14 species includes <i>Rhizophora conjugata</i> <i>Acanthus ilicifolius</i> <i>Bruguiera caryophyllodes</i> <i>Carapa moluccensis</i> <i>Scyphiphora hydrophyllaceae</i> <i>Excoecaria agallocha</i> <i>Avicennia alba</i> <i>Avicennia marina</i>	West Malaysia	R	Leaves	BD-12					BD-42	Peterson et al.,	
	China	R	Leaf Flower Branch Bark Wood Pneumatophore	0.01 0.30	1.8 13.8	0.28 0.73	25 1552	0.43 7.7	0.4 3.5	3.4 69.5	Peng et al., 199
<i>Avicennia marina</i>	Australia	MC	Twig Roots Leaf		101 9			164 5	295 25	MacFarlane et ;	
<i>Avicennia marina</i>	Australia	R	Young leaves	BD	18.3			2.4 4.3	16.4 43.7	Saenger and M	
<i>Aegiceras corniculatum</i>			Old leaves		3.6 12.2			2.7 4.2	13.7 34.3		
<i>Hibiscus tiliaceus</i>			Wood		4.3 20.5			2.6 15.1	9.9 20.8		
<i>Excoecaria agallocha</i>			Bark		6.6 21.4			7.5 15.7	12.6 54.9		
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>			Fruit		6.1 4.8			2.1 4.8	8.8 31.1		
Not Reported	Puerto Rico	SV	Leaves	<0.0	5.2	<1.0	561	2.6	4.5	Ragsdale and T	
<i>Rhizophora mangle</i> (mg/g)	Brazil	MC	Leaves	<0.02	<0.05	<0.2	101		7.2	Lacerda, 1998	
<i>Rhizophora mangle</i>	China	M	Standing crop	0.11	0.98	0.5	14.6	1.6	0.86	Weng-jiao et al	
Many species (review)		R	Leaves		1.2 102			0.2 108	0.5 120	MacFarlane et ;	
			Roots		1.1 101			0.2 164	0.3 640		
<i>Avicennia marina</i>	India	SV	Leaves	1 3	7 24			5 26	28 78	Chakrabarti et ;	
<i>Acanthus ilicifolius</i>			Stems								
<i>Ceriops decandra</i>			Roots								
<i>Avicennia officinalis</i>	India	R	Leaves	BD	8.1 95.1		51.1 391	11.8 27.4	9.3 116.9	Agoramoorthy ;	
<i>Rhizophora apiculata</i>											
<i>Rhizophora mucronata</i>											
<i>Excoecaria agallocha</i>											
<i>Bruguiera cylindrica</i>											
<i>Ceriops decandra</i>											
<i>Aegiceras corniculatum</i>											
<i>Acanthus ilicifolius</i>	Australia	R	Aerial roots		2 12	BD 4			29 60	Freda and Cox,	
<i>Avicennia officinalis</i>	India	R	Twigs		0.1 190.2		46 2472	25 225	18 248	Thomas and Fe	
<i>Acanthus ilicifolius</i>											
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>											
<i>Sonneratia caseolaris</i>											
<i>Barringtonia racemosa</i>											
<i>Acanthus ilicifolius</i>											
<i>Aegiceras corniculatum</i>											
Species	Location	Tissue	Cd	Cu	Cr	Mn	Ni	Pb	Zn	Reference	
<i>Kandelia candel</i>	Hong Kong	RMC	Roots				14.3 18.3	30 40	83 207	Ong Che, 199	
<i>Avicennia marina</i>	Saudi Arabia	R	Leaves	<0.4 3.1	0.5 23.3	<0.15 9.2	4.5 66.6	<0.2 7.5	<0.3 22.8	Sadiq and Zai	
<i>Rhizophora mangle</i>	French Guiana (nmol g ⁻¹)	R	Leaves		13 193	203 347		16 108	212 608	Marchand et ;	
<i>Avicennia germinans</i>			Stems		BD 207	151 346		8 83	67 1988		
<i>Crenea maritima</i>											
<i>Laguncularia racemosa</i>	India	R	Leaves		4.1 10.8		25.8 158.7		8.3 107.1	Bhosale, 1979	
<i>Rhizophora mangle</i>											
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>											
<i>Ceriops tagal</i>											
<i>Avicennia officinalis</i>											
<i>Lumnitzera racemosa</i>											
<i>Aegiceras corniculatum</i>											
<i>Acanthus ilicifolius</i>											
<i>Aeluropus lagopoides</i>											
<i>Clerodendron inerme</i>											
<i>Kandelia candel</i>	Taiwan	R	Root Branch Leaf	0.2 1.8 <0.05 0.6 <0.05 0.9	9.8 105.2 3.9 39.2 1.8 10.3			4 50.2 0.4 1.8 <0.4 3.7	5 77 4 24 <1 7	24.9 340 8.3 36.5 9.2 21.8	Chiu and Cho
			Seedling	0.1 0.9	3.2 5.0			0.7 2.8	<1 8	7.9 11.4	
<i>Ceriops tagal</i>	China	RMC	Propagules	0.02 0.06	2.1 7.8		5.1 28	0.02 0.04	5.7 60	Lian et al., 19	
<i>Aegiceras corniculatum</i>											
<i>Bruguiera sexangula</i>											
<i>Sonneratia caseolaris</i>											
<i>Rhizophora stylosa</i>											
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>											
<i>Kandelia candel</i>											
<i>Avicennia marina</i>											
<i>Sonneratia ovata</i>											
<i>Acanthus ilicifolius</i>	India	RMC	Leaves		0.8 3.7		5.7 7.2		0.7 1.6	Sarangi et al.,	
<i>Rhizophora mucronata</i>											
<i>Avicennia officinalis</i>											
<i>Xylocarpus granatum</i>											
<i>Ceriops decandra</i>											
<i>Bruguiera cylindrica</i>											

Urutan akumulasi logam dari semua spesies yang dilaporkan pada berdasarkan konsentrasi rerata pada daun Tabel 5 adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Urutan konsentrasi logam dalam daun.

Jenis Mangrove	Urutan akumulasi logam	Tinjauan dalam Lewis <i>et al.</i> , 2011
<i>Avicennia</i>	Mn> Cr> Zn> Ni> Cu> Pb> Cd	(Lacerda, 1998)
<i>Rhizophora</i>	Mn> Fe> Zn> Cu = Cd	(Lacerda, 1998)
<i>R. mangle</i>	Fe> Mn> Zn> Cu = Pb	(Lacerda <i>et al.</i> ,1986)
<i>A. shaueriana</i>	Fe> Mn> Zn> Cu = Pb	(Lacerda <i>et al.</i> ,1986)
<i>L. racemosa</i>	Fe> Mn> Zn> Cu = Pb	(Lacerda <i>et al.</i> ,1986)

Perbedaan akumulasi konsentrasi bahan kimia dalam jaringan dan urutan akumulasinya, karena beberapa faktor antara lain waktu pengumpulan dan usia jaringan (Sarangi *et al.*, 2002) serta jenis jaringan (MacFarlane, 2002; Marchand *et al.*, 2006). Misalnya perbedaan dalam serapan Zn, Cu dan Cr dalam enam jaringan *R. mangle* adalah antara 2 dan 12 kali lipat (Silva *et al.*, dalam Lewis *et al.*, 2011). Konsentrasi logam biasanya lebih besar di akar mangrove daripada jaringan di atasnya (Tam & Wong, 1997; MacFarlane *et al.*, 2003, 2007). Selanjutnya, konsentrasi untuk logam dan jaringan yang sama dapat berbeda dalam populasi spesies yang sama dan di antara spesies yang berbeda. Perbedaan tersebut telah dilaporkan secara umum dan dikaitkan dengan perbedaan dalam fisiologi (Marchand *et al.*, 2006). Tingkat translokasi yang berbeda antar organ tanaman juga dapat menjadi faktor (Ong Che dalam Lewis *et al.*, 2011). Perbedaan akumulasi logam antara lima spesies untuk jaringan dengan logam yang sama adalah 18 kali lipat untuk Cu, Ni, Zn dan Hg (Marchand *et*

al., 2006) dan 5 kali lipat untuk Cu, Pb dan Zn pada ranting dari lima spesies tersebut (Thomas & Fernandez dalam Lewis *et al.*, 2011). *Avicennia illicifolius* memiliki konsentrasi lebih banyak Cu, Zn dan Fe daripada *Kandelia candel* yang mengakumulasi lebih banyak Pb, Ni, Cr dan Cd (Ong Che dalam Lewis *et al.*, 2011). Cu, Zn dan Pb lebih besar pada *Avicennia officinalis* daripada di *Barringtonia racemosa* (Thomas & Fernandez dalam Lewis *et al.*, 2011). *Avicennia* sp. merupakan marga yang mengakumulasi lebih banyak logam daripada marga *Rhizophora* (Lacerda dalam Lewis *et al.*, 2011). Konsentrasi logam ($\mu\text{g/g}$ berat kering) Mn (4,5 - 2472)> Zn (0,7 - 1988)> Pb (0,02 - 225)> Cu (0,5 - 207)> Cd (0,01 - 3,1) dalam jaringan mangrove. Spesies yang berbeda menunjukkan potensi akumulasi logam yang berbeda-beda pula (Maiti & Chowdury, 2013).

Keberadaan logam pada jaringan mangrove merupakan hasil dari spesiasi logam dalam sedimen, eksklusi pada tingkat akar dan adaptasi fisiologis tanaman mangrove untuk mencegah

bioakumulasi (Bayen, 2012). Penelitian mengenai efek polusi pada mangrove dapat dipelajari dengan menggunakan tanggapan biologis, seperti kelangsungan hidup, produksi biomassa, efek pada fotosintesis, ekspresi metallothionin dan enzim. Polutan yang tidak dapat terkendali bertanggung jawab dalam mereduksi proses fotosintesis (Maiti & Chowdury, 2013).

Logam Cu dan Pb ditemukan terakumulasi dalam konsentrasi yang lebih tinggi dalam jaringan akar daripada dalam sedimen, sedangkan di jaringan daun Cu dan Zn ditemukan lebih dari 10% dari yang ada di akar. *Avicennia marina* dapat bertindak sebagai bioindikator pencemar logam yaitu Cu, Zn, dan Pb karena ada hubungan linier (MacFarlane *et al.*, 2003). Investigasi lain di pantai Bhitarkanika Orissa (India) mengungkapkan bahwa *A. officinalis*, dapat mengakumulasi konsentrasi tertinggi Fe, Cu, Mn, Zn diantara lima spesies mangrove, yaitu *Xylocarpus granatum*, *Bruguiera cylindrica*, *Rhizophora mucronata* dan *Ceriops decandra* (Sarangi *et al.*, 2002).

Beberapa penelitian akumulasi logam dalam jaringan mangrove juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti di Indonesia. Analuddin *et al.*, 2017 menemukan bahwa konsentrasi Cu ($83,85 \mu\text{g g}^{-1}$) dan Hg ($0,52 \mu\text{g g}^{-1}$) yang tinggi ditemukan dalam jaringan *Lumnitzera racemosa*, sementara konsentrasi Cd ($10,81 \mu\text{g g}^{-1}$), Zn ($70,41 \mu\text{g g}^{-1}$), dan Pb ($1,36 \mu\text{g g}^{-1}$) yang tinggi masing-masing ditemukan di jaringan *B. gymnorrhiza*, *B. parviflora* dan *C. tagal*

di RAWN Park, Sulawesi Tenggara. Akumulasi Pb pada jaringan *Avicennia marina* tertinggi terdapat pada bagian batang dibandingkan akar, daun dan buah, yaitu sebesar 5,890 ppm di Muara Sungai Kebon, Surabaya, Jawa Timur (Arisandy *et al.*, 2012). Konsentrasi Cu di akar bakau (*R. mucronata*) di Muara Angke 24,431 ppm, sedangkan di akar api api (*Avicennia marina* 23,674 ppm) (Handayani, 2006).

SPESIASI KIMIAWI DAN BIOAVAILABILITAS

Konsentrasi kontaminan total di dalam air dan sedimen tidak dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai perilaku dan risiko toksikologi (Ehlers & Loibner, 2006). Pertimbangan spesiasi kimia untuk memprediksi bioavailabilitas dan potensi terjadinya efek toksik berikutnya penting untuk dikaji lebih lanjut. Spesiasi kontaminan dipengaruhi oleh : biogeokimia, hidrologi dan proses iklim. Ekosistem mangrove yang spesifik dalam berbagai aspek, misalnya aspek siklus karbon dan nutrisi, karakteristik sedimen, kondisi pasang surut, pengaruh bahan organik, ukuran dan komposisi sedimen, kondisi redoks, salinitas, dan hidrologi dapat memengaruhi spesiasi, dan bioavailabilitas kontaminan (Bayens, 2012).

Hubungan antara bahan organik, serapan pada partikel halus, kondisi redoks dan efek salinitas muncul sebagai faktor penting yang mengendalikan spesiasi kontaminan di mangrove. Semua

proses fisikokimia ini, dan komponen-komponen biotik terkait yang memiliki pengaruh pada jenis vegetasi, mikro dan makrofauna terkait. Semua proses tersebut terkait pada posisi/lokasi di hutan mangrove, sehingga sangat penting untuk mengetahui dengan jelas posisi terjadinya dan bioavailabilitas kontaminan di mangrove (Marchand *et al.*, 2011). Namun, hingga saat ini, tidak ada metodologi yang secara umum diadopsi oleh komunitas ilmiah untuk “tidak ambigu” menggambarkan posisi situs sampling, sehingga menghambat interpretasi yang jelas (dalam hal bioavailabilitas) data di seluruh penelitian. Saat ini ada dua pendekatan yang dapat digunakan untuk mengukur spesiasi/bioavailabilitas yaitu pengujian biologi dan kimia. Uji biologi misalnya studi akumulasi dan penggunaan spesies bioindikator sedangkan uji kimia misalnya mengetahui konsentrasi logam berat dalam sedimen pada fraksi kimia yang berbeda. Sampai saat ini, sebagian besar studi spesiasi/bioavailabilitas dalam sampel mangrove telah bergantung pada pengukuran fraksi terlarut/partikel dalam air dan fraksi terlarut dari hasil ekstraksi kimia secara bertahap (*sequential extraction technique*) dalam sedimen (Marchand *et al.*, 2011; Yap *et al.*, 2011).

PENUTUP

Ekosistem mangrove adalah suatu sistem yang terdiri atas lingkungan biotik dan abiotik yang saling berinteraksi di dalam suatu habitat mangrove. Mangrove terdiri dari sekelompok tanaman intertidal yang mendominasi garis pantai dari

sebagian besar daerah tropis dan subtropis, serta mampu mengurangi polusi logam berat di daerah lepas pantai, karena dapat menyerap dan mengakumulasi logam berat melalui proses fisiologis dan biokimia. Selain itu, ekosistem mangrove juga berfungsi sebagai perangkap sedimen dan mencegah erosi, serta penstabil bentuk daratan di daerah estuari. Dengan banyaknya keragaman jenis dan fungsinya, mangrove dapat berpotensi sebagai pengendali polutan logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arisandy K.R., E.Y. Herawati, dan E. Suprayitno. 2012. Akumulasi logam berat (Pb) dan Gambaran histologi pada jaringan *Avicennia marina* (forsk.) Vierh di Perairan Pantai Jawa Timur. *J. Penelitian Perikanan* 1(1): 15-25.
- Analuddin, K., S. Sharma, Jamili, A. Septiana, I. Sahidin, U. Rianse, and K. Nadaoka. 2017, *Marine Pollution Bulletin*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.065>
- Bayen, S. 2012. Occurrence, bioavailability and of trace metals and organic contaminants in mangrove ecosystems: A review. *Environment International* 48: 84-101.
- Ehlers G. A. C. and A. P. Loibner. 2006. Linking organic pollutant (bio)

- availability with geosorbent properties and biomimetic methodology: a review of geosorbent characterisation and (bio)availability prediction. *Environ. Pollut.* 141:494–5
- Ellison, J.C. 1998. Impacts of sediment burial on mangroves. *Marine Pollution Bulletin* 37: 420-426.
- Hallare A. V, A. L. Santos, M. N. A. R. Uy and A. P. G. Macabeo. 2015. *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. as phytoaccumulator of sediment heavy metals in the Las Pinas-paranaque critical habitat and ecotourism area (Philippines). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 6 (2):392-398.
- Hamzah, F dan A. Setiawan. 2010. Akumulasi logam berat Pb, Cu dan Zn di hutan mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2: 41-52.
- Handayani, T. 2006. Bioakumulasi logam berat dalam mangrove *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina* di Muara Angke Jakarta. *J.Tek. Ling.* 7 (3): 266-270.
- Kristanti R. A, Mursidi dan Sarwono. 2007. Kandungan beberapa logam berat pada bakau (*Rhizophora apiculata*) di perairan Bontang Selatan, Kalimantan Timur. *Jurnal Kehutanan Unmul* 3 (2). 185-200.
- Kumar A. and A. L. Ramanathan. 2015. Speciation of selected trace metals (Fe, Mn, Cu and Zn) with depth in the sediment of Sundarnban mangroves: India and Bangladesh. *J Soils Sediments*. DOI 10.1007/s11368-015-1257-5.
- Lewis M., R. Pryorand, and L. Wilking. 2011. Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: A review. *Environmental Pollution* 159 (10): 2328-2346.
- MacFarlane, G.R. 2002. Leaf biochemical parameters in *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh as potential biomarkers if heavy metal stress in estuarine ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 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.) Vierh. *Marine Environmental Research* 54: 65-84.
- MacFarlane, G. R., A. Pulkownik and M. D. Burchett. 2003. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: Biological Indication Potential.

- Environmental Pollution*, 123(1):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.
- Maiti S.K. and A. Chowdhury. 2013. Effect of antropogenic pollution on mangrove biodiversity; A Review. *Journal of Environmental Protection*, 4: 1428-1434.
- Marchand, C., E. Lallier-Verges, F. Baltzer, P. Alberic, D. Cossa, and P. Baillif. 2006. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the coastline of French Guiana. *Marine Chemistry* 98: 1-17.
- Marchand C., AM. llenbach and E. Lallier-Verges. 2011. Relationships between heavy metals distribution and organic matter cycling in mangrove sediments (Conception Bay, New Caledonia). *Geoderma*, 160:444-456.
- Pramudji. 2017. *Mangrove di Indonesia*. COREMAP-CTI LIPI P2O LIPI, 288 hal.
- Rai, P.K. 2008. Heavy metal pollution in aquatic ecosystems and its phytoremediation using wetland plants: an ecosustainable approach. *International Journal of Phytoremediation*, 10: 133-160.
- Sarangi R. K., K. Kathiresan and A. N. Subramanian. 2002. Metal Concentrations in Five Mangrove species of the Bhitarkanika, Orissa, East Coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences*, 31(3): 251-253.
- Supriyantini E., R.A.T. Nuraini dan C.P. Dewi. 2017. Daya serap mangrove *Rhizophora* sp. terhadap logam berat Timbal (Pb) di perairan Mangrove Park, Pekalongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1): 16-24
- Tam N. F. Y. and Y. S. Wong. 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediment of Hongkong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 110:195-205.
- Wang Y., Q. Qiu, G. Xin, Z. Yang, J. Zheng, Z. Ye, and S. Li. 2013: Heavy metal contamination in a vulnerable mangrove swamp in South China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 5775-5787.
- Yap C. K., A. R. Azmizan, and M. S. Hanif. 2011. Biomonitoring of trace metals (Fe, Cu, and Ni) in the mangrove area of Peninsular Malaysia using different soft tissues of flat tree oyster, *Isognomon alatus*. *Water Air Soil Pollut.*, 218:19-36.