

KEMAMPUAN AKUMULASI TIMBAL (Pb) PADA AKAR MANGROVE JENIS *Avicennia marina* (Forsk.) DAN *Rhizophora mucronata* (Lamk.) DI LAHAN TAMBAK MANGUNHARJO SEMARANG

Titi Wulandari*, Rini Budihastuti*, Endah Dwi Hastuti*
Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan, Departemen Biologi,
Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
*Email: daniel_harpodt@yahoo.co.id

ABSTRAK

Perairan di Mangunharjo merupakan kawasan yang dekat dengan aktivitas industri dan pemukiman penduduk. Tingginya aktivitas di kawasan Mangunharjo, dapat mengalirkan berbagai limbah yang dapat menimbulkan pencemaran, salah satunya pencemaran Logam Berat Pb. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kemampuan akar dan daun *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina* dalam mengakumulasi polutan logam berat Timbal (Pb). Penelitian dilakukan di lahan tambak Kelurahan Mangunharjo Semarang. Rancangan penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap 2x1: Faktor I yaitu Jenis (*Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata*) pada stadium pohon, Faktor II yaitu organ akar dengan dua kali pengambilan sampel dalam jangka waktu 30 hari. Parameter penelitian antara lain kadar logam Pb pada akar mangrove, serta kadar logam Pb pada air dan sedimen. Hasil penelitian dapat diketahui kadar logam Pb dalam air dan sedimen lingkungan tumbuh *Avicennia marina* berturut-turut adalah 0,36-0,9475 mg/l dan 0,941-1,455 mg/kg. Kadar logam Pb dalam air dan sedimen pada akar *Rhizophora mucronata* berturut-turut adalah 0,175-0,243 mg/l. Jenis dan Organ tidak berinteraksi karena signifikansinya 0,732 (>0,05). Kemampuan mangrove untuk menyerap logam berat di lingkungan perairan dapat diketahui dengan menghitung *Bio Concentration Factors* (BCF). Nilai BCF untuk mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* berkisar antara 0,0566-0,1068, dengan nilai tertinggi pada akar *Rhizophora mucronata* (0,2879-0,0638).

Kata kunci: Akumulasi, *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Bio Concentration Factor*, signifikansi

ABSTRACT

The waters in Mangunharjo are close to industrial activities and human settlements. The high activity in the Mangunharjo area, can flow a variety of waste that can cause pollution, one of which pollution Heavy Metal Pb. This study aims to analyze the ability of roots and leaves *Rhizophora mucronata* and *Avicennia marina* in accumulating heavy metal pollutant Lead (Pb). The research was conducted in the pond area of Mangunharjo Subdistrict, Semarang. The design of this research using Randomized Completely Randomized Design 2x1: Factor I namely Type (*Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*) at tree stage, Factor II that is root organ with two sampling within 30 days. The research parameters included Pb metal content on mangrove root, and Pb metal content in water and sediment. The result of this research can know the level of Pb metal in water and the environmental sediments of *Avicennia marina* are 0.36-0,9475 mg / l and 0,941-1,455 mg / kg, respectively. The concentration of Pb metal in water and sediment at the root of *Rhizophora mucronata* was 0.175-0,243 mg / l, respectively. Types and Organs do not interact because of their significance of 0.732 (> 0.05). The ability of mangroves to absorb heavy metals in aquatic environments can be determined by calculating Bio Concentration Factors (BCF). BCF

values for mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata* ranged from 0.0566 to 0.1068, with the highest values at the root *Rhizophora mucronata* (0.2879-0.0638).

Keywords: Accumulation, *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, Bio Concentration Factor, significance

PENDAHULUAN

Mangrove adalah jenis tumbuhan yang dapat hidup dan berkembang dengan baik di kawasan pesisir. Mangrove sebagai tumbuhan perairan dapat mengakumulasi bahan-bahan pencemar seperti logam berat yang ada di lingkungan hidupnya sehingga disebut dengan bioindikator perairan (Rashed, 2007).

Kemampuan setiap jenis mangrove berbeda dalam mengakumulasi logam berat. Konsentrasi logam berat antar organ tumbuhan seperti akar, cabang, dan daun berbeda dalam tiap-tiap spesies. Perbedaan konsentrasi logam berat pada tumbuhan berkaitan dengan proses fisiologis tumbuhan tersebut (Kariada dkk, 2013). Jenis tanaman mangrove yang baik dalam mengakumulasi logam berat adalah *Avicennia marina* dan *Rhizophora muconata* (MacFarlane *et al*, 2007). *Avicennia marina* merupakan pohon api-api yang banyak ditemui di daerah pesisir. Jenis mangrove ini memiliki daun yang lebar dan akar nafas. (Halidah, 2014). *Rhizophora mucronata* merupakan tanaman bakau yang memiliki akar tunjang tumbuh menggantung dan memiliki daun berbentuk lonjong. Tanaman bakau ini banyak ditemukan di daerah pasang surut air laut (Duke *et al*, 2007).

Kawasan Mangunharjo merupakan kawasan pedesaan yang padat penduduk dan dekat dengan industri-industri pabrik. Menurut Bappeda Kota Semarang (2010), terdapat 30 industri di dekat Kawasan Mangunharjo. Industri tersebut diantaranya industri mebel, industri beton, industri pakaian, industri obat, industri makanan, industri pembuatan plastik dan masih banyak

lagi. Aktivitas manusia dan aktivitas pabrik biasanya akan menghasilkan limbah yang nantinya dapat mencemari lingkungan sekitarnya. Pencemaran limbah biasanya mengandung bermacam-macam logam berat yang mempunyai dampak negatif yaitu bersifat racun bagi organisme air, manusia dan lingkungan sekitarnya (Endrawati dkk, 2014).

Logam berat merupakan unsur anorganik yang memiliki respon biologi terhadap makhluk hidup sehingga mampu menimbulkan dampak yang membahayakan bagi kehidupan (Nugrahanto dkk, 2014). Salah satu logam berat yang mempunyai tingkat toksisitas tinggi adalah Logam Timbal (Pb). Logam Pb merupakan logam berat yang tidak dapat terurai oleh proses alam. Pb masuk ke dalam perairan melalui pengkristalan di udara dengan bantuan air hujan dan melalui proses modifikasi dari batuan mineral akibat hampasan gelombang dan angin. Pb masuk ke dalam perairan juga merupakan dampak dari aktivitas kehidupan manusia dari daratan (Jupriyati dkk, 2013). Logam berat Pb dapat berada di sedimen dan di perairan tempat tumbuhnya mangrove. Mekanisme masuknya Logam Pb yaitu melalui akar, terjadi pertukaran ion, logam Pb diabsorpsi oleh akar dalam bentuk kation, karena Pb dalam sedimen merupakan zat anorganik. Logam Pb kemudian ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman mangrove.

Kemampuan akumulasi Logam berat oleh mangrove dapat diketahui dengan perhitungan BCF (*Bio Concentration Factor*). Menurut MacFarlane *et al* (2007), BCF adalah kemampuan organisme untuk mengakumulasi logam berat di lingkungan perairan. Nilai BCF dihitung berdasarkan konsentrasi logam berat dalam organisme dibagi dengan konsentrasi

logam berat di medium. Medium yang dimaksud adalah sedimen.

Berdasarkan permasalahan di atas, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kemampuan *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina* dalam mengakumulasi logam berat timbal (Pb) di lahan tambak Mangunharjo. Hal tersebut menjadi sangat penting karena dengan adanya data mengenai akumulasi logam berat Pb pada kedua jenis mangrove tersebut, kita dapat mengetahui jenis dan organ mangrove mana yang mampu mengakumulasi Logam Pb terbanyak. Sehingga nantinya dapat digunakan untuk memperbaiki kondisi lingkungan yang tercemar di Kawasan Mangunharjo Semarang.

METODE PENELITIAN

WAKTU DAN TEMPAT

Penelitian ini dilaksanakan Bulan Juni-September 2016. Sampel diambil di Lahan Tambak Mangunharjo Semarang. Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Pakan dan Nutrisi Fakultas Peternakan UNDIP. Pengujian AAS dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA UNNES.

CARA KERJA

Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling*, yaitu lokasi penelitian ditentukan berdasarkan daerah yang memiliki jenis mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* pada stadium pohon. Lokasi antara sampel saling berdekatan tetapi jarak tidak diperhitungkan karena diambil secara acak.

Sampel yang diambil antara lain adalah akar, daun, air, dan sedimen. Daun yang diambil adalah daun di bagian tengah ranting urutan ke-3 dari ujung sebanyak 10 lembar. Akar yang diambil adalah akar nafas sepanjang 30 cm dari ujung akar. Air diambil

sebanyak 100 ml dan sedimen diambil sebanyak 250 gr. Akar dan daun dipotong kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C (3-4 hari). Setelah itu, sampel diblender sampai menjadi bubuk lalu ditimbang sebanyak 5 gr. Sampel dimasukkan dalam tanur pada suhu 600-650°C selama 4 jam. Proses ini disebut proses pengabuan. Setelah menjadi abu, dilakukan proses destruksi. Sampel dilarutkan dengan 10 ml HNO₃ pekat sampai volume menjadi 50 ml. Sampel dipanaskan pada *hotplate* sampai mendidih, kemudian ditunggu selama 10 menit, kemudian didinginkan. Sampel disaring ke dalam erlenmeyer. Larutan sampel ditambah aquademin sehingga volume sampel kembali menjadi 50 ml, kemudian divortex selama 1 menit. Sampel dimasukkan ke dalam botol sampel. Sampel sedimen diambil sebanyak 30 ml kemudian ditambah dengan 10 ml Aquademin. Selanjutnya dilakukan proses destruksi sama seperti sampel akar dan daun. Sampel air diambil sebanyak 100 ml kemudian ditambah 10 ml HNO₃ pekat. Sampel dipanaskan dalam *hotplate* sampai volumenya berkurang berkurang 50 ml. Sampel didinginkan kemudian disaring ke dalam erlenmeyer. Sampel ditambahkan Aquademin sampai volumenya kembali menjadi 50 ml kemudian di vortex. Sampel dimasukkan ke dalam botol sampel. Sampel diuji dengan Spektrofotometer Serapan Atom AAS. Kemudian dicari konsentrasi logam Pb sebenarnya dengan rumus:

$$K S : \frac{K AAS \left(\frac{mg}{l}\right) \times Vol.Pelarut (L)}{Berat Sampel (mg)}$$

dimana

- K S : Konsentrasi logam sebenarnya
K AAS : Hasil AAS pada tiap sampel
Vol.pelarut : Volume yang digunakan untuk melarutkan (indukan)
Berat Sampel : Berat sampel yang digunakan

Kemudian dihitung kemampuan mangrove dalam menyerap logam Pb dengan rumus :

$$\text{BCF Pb} = \frac{\text{Logam berat pada daun atau akar}}{\text{Logam berat pada sedimen}}$$

dimana

BCF Pb: *Bio Concentration Factors* Pb

Setelah data Logam Pb diperoleh, kemudian dianalisis dengan Uji T.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Logam Pb pada Air dan Sedimen

Hasil penelitian menunjukkan adanya kandungan logam Pb akar mangrove serta di lingkungan abiotiknya yaitu di sedimen dan air. Kemampuan akumulasi logam Pb oleh mangrove tentunya tidak lepas dari lingkungan abiotik sebagai tempat hidupnya yaitu sedimen dan perairan (substrat). Kandungan logam Pb pada sedimen dengan pengulangan sebanyak enam kali yaitu berkisar antara 0,836-1,191 ppm. Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan logam Pb di sedimen lebih besar daripada di air. Nilai kisaran konsentrasi logam Pb ini masih berada di bawah kisaran ambang batas normal sesuai ketetapan konsentrasi normal logam Pb pada sedimen menurut National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) yaitu sebesar 46,7 ppm.

Menurut Madusari dkk (2016), logam Pb memiliki berat jenis yang lebih berat dibanding dengan air, sehingga dapat mengendap di sedimen. Kandungan logam Pb di sedimen dipengaruhi oleh ukuran partikel sedimen. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar kandungan logam Pb. Hal ini disebabkan karena partikel sedimen yang halus memiliki luas permukaan yang besar dengan kerapatan ion lebih stabil untuk mengikat logam Pb daripada partikel sedimen yang besar, sehingga sedimen dengan partikel

lebih kecil memiliki kemampuan menyerap relatif lebih tinggi. Meskipun di Indonesia belum ada baku mutu kadar logam Pb dalam sedimen, tetapi apabila sudah dalam jumlah yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan ekosistem (Supriyantini dan Soenardjo, 2015).

Selain di perairan, sedimen di lahan tambak juga mengandung logam Pb. Kandungan logam Pb di air dengan pengulangan sebanyak enam kali yaitu berkisar antara 0,213-0,453 ppm. Kandungan logam Pb pada air di lingkungan tersebut melebihi ambang batas perairan yang telah ditetapkan oleh Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup (2004) yaitu sebesar 0,008 ppm.

Menurut Abidin (2014) aktivitas manusia, industri galangan kapal dan berbagai aktivitas pelabuhan lainnya merupakan salah satu jalur yang mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan logam dalam perairan. Heriyanto dan Endro (2011) menyatakan bahwa sumber dari logam berat Pb yaitu bisa dari erosi batuan mineral, partikel Pb di udara yang dibawa oleh hujan dan secara non alami akibat aktivitas manusia seperti limbah industri. Logam Pb masuk ke dalam perairan dapat melalui proses pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan, dan dapat juga dengan proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin. Korosifikasi batuan mineral adalah pengikisan yang terjadi pada batuan (Suratno, 2013).

Kandungan logam Pb pada *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata*

Hasil analisis kandungan logam Pb pada sampel akar dan daun mangrove selanjutnya dilakukan Uji T. Berdasarkan Analisis Uji T, terdapat perbedaan nyata pada akar *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina* karena nilai signifikansinya lebih dari 0,05 yaitu sebesar 0,00.

Rata-rata kandungan logam berat Pb pada akar mangrove jenis *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata kandungan logam Pb pada Jenis dan Akar Mangrove

Jenis	Organ Akar
<i>Avicennia marina</i>	0,0912
<i>Rhizophora mucronata</i>	0,0916

Berdasarkan Uji T, konsentrasi logam Pb pada kedua jenis mangrove (*Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata*) berbeda nyata, pada akar *Rhizophora mucronata* logam Pb lebih tinggi dibandingkan dengan akar *Avicennia marina*. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan pada sistem perakaran. Perbedaan sistem perakaran pada jenis mangrove dapat menyebabkan adanya perbedaan dalam menyerap logam berat. *Rhizophora mucronata* memiliki jenis akar tunjang sedangkan pada *Avicennia marina*. Menurut Zakiyyah (2013), *Rhizophora mucronata* memiliki sistem perakaran akar tunjang, yaitu akar yang tumbuh dari batang ke dalam tanah dan seakan-akan menunjang batang. Pola penyebaran akar tunjang lebih sempit daripada akar nafas, tetapi akar ini dapat menghujam jauh ke tanah. Selain itu, akar ini mempunyai diameter 1,2 cm, sehingga bisa menyerap lebih banyak logam Pb. Sedangkan pada *Avicennia marina* memiliki tipe akar nafas dengan diameter yang lebih kecil yaitu 0,9 cm, sehingga sedikit dalam menyerap logam Pb.

Proses mekanisme masuknya Logam Berat ke dalam tanaman adalah dalam bentuk senyawa kation atau anion. Logam Pb merupakan senyawa kation karena bermuatan positif. Absorpsi logam dilakukan oleh ujung akar, penyerapan terjadi pada epidermis akar. Kemudian ion ion tersebut bergerak menuju xilem, melalui sistem sitoplasma (simplas)

bergerak dari sel ke sel. Proses penyerapan selanjutnya terjadi dua proses yaitu secara mobil ion-ion diabsorpsi secara langsung ke dalam sel meristem daun yang nantinya berfungsi sebagai penyokong pertumbuhan tanaman, kemudian secara immobil ion-ion diabsorpsi pada sel daun yang sudah tua, untuk nantinya digugurkan. Proses pengambilan logam Pb pada tanaman mangrove merupakan sistem transport pasif. Sistem transport pasif adalah transport yang digerakkan oleh kekuatan fisik, yaitu konsentrasi tinggi ke rendah yang terjadi di dalam sel. Setelah diabsorpsi oleh akar, logam berat akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman (Hidayati, 2013).

Mekanisme akar tanaman dalam menyerap polutan seperti logam Pb yaitu dengan mengkombinasikan keuntungan luas permukaan akar yang lebih besar dengan afinitas (ketertarikan) reseptor kimia yang tinggi. Logam Pb bersamaan dengan hara yang lain berikatan dengan permukaan akar. Dalam sel-sel akar, sistem pengangkutan dan pengambilan logam Pb terjadi melalui plasma membran. Pengambilan logam Pb melalui pengangkut sekunder seperti saluran protein atau protein pembawa H^+ dimana potensial negatif membran mendorong pengambilan kation melalui pengangkut sekunder. Urutan pengambilan logam Pb ke dalam simplas akar, dan pergerakan ke xilem mencakup tiga tahapan : (1.) penahanan logam Pb dalam sel akar, (2.) pengangkutan simplastik (menggunakan simplas) ke stele, (3.) kemudian dilepas ke xilem yang dibantu oleh membran pengangkutan protein. Fitokelatin dan Metalothionein memainkan peran penting dalam pengangkutan dan translokasi logam Pb. Fitokelatin adalah kelompok protein yang memiliki asam amino cystein, glycine, dan asam glutamat, protein ini yang menginduksi tanaman jika tanaman mengalami cekaman logam Pb. Senyawa Fitokelatin mengikat ion logam dan

membawanya ke vakuola dimana logam Pb tidak lebih lama menjadi toksik atau terjadi pengenceran konsentrasi toksik dari logam Pb tersebut. Metalothionein menciptakan ruang penyimpanan ion untuk kelebihan ion ion logam Pb. Metalothionein merupakan protein transport yang bertanggung jawab pada pemindahan kelebihan logam Pb dari satu tempat pada tanaman (Palar, 2008).

4.3 Kemampuan Akumulasi Logam Berat (BCF) oleh Tanaman Mangrove Jenis *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata*

Bio-concentration Factor (BCF) ini menunjukkan kemampuan tanaman mangrove dalam menyerap logam Pb dari lingkungannya. Nilai BCF dihitung berdasarkan konsentrasi senyawa yang ada dalam organisme dibagi dengan konsentrasi logam berat yang ada pada sedimen atau substratnya (Panjaitan, 2009). Hasil rata-rata perhitungan BCF dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata *Bio Concentration Factor* (BCF)

Jenis	Organ Akar (ppm)
<i>Avicennia marina</i>	0,0631
<i>Rhizophora mucronata</i>	0,1068

Hasil analisis Uji T pada BCF *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* menunjukkan bahwa kedua jenis mangrove berbeda nyata karena nilai signifikansinya kurang dari 0,05 yaitu sebesar 0,01.

Kemampuan akar *Rhizophora mucronata* lebih baik mengakumulasi Logam Pb dari sedimen dibandingkan dengan akar *Avicennia marina*. Rata-rata BCF pada akar *Rhizophora mucronata* yaitu 0,1068 ppm, sedangkan pada *Avicennia marina* yaitu

0,0631 ppm. Hal ini terjadi karena pada sedimen yang ditumbuhi *Rhizophora mucronata* lebih sedikit mengandung Logam berat Pb, karena logam yang ada di sedimen sudah diserap oleh akar mangrove. MacFarlane *et al* (2008) menyatakan bahwa *Avicennia marina* merupakan spesies mangrove yang sangat ketat menyerap logam Pb bahkan tidak menyerap sama sekali, hal tersebut terjadi karena Logam Pb merupakan unsur non esensial bagi tanaman bahkan bisa bersifat toksik sehingga *Avicennia marina* akan menyeleksi logam yang akan masuk. Secara Fisiologis, mangrove secara aktif mengurangi penyerapan logam berat ketika konsentrasi logam berat di sedimen tinggi, yaitu dengan cara Dilusi atau pengenceran racun.

Menurut Tangahu *et al* (2011) penyerapan dan akumulasi logam berat oleh mangrove dapat dibagi menjadi tiga proses berkesinambungan, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan yang lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Menurut Kusumastuti (2009), secara keseluruhan akumulasi logam berat pada organ tumbuhan mangrove yang terbesar adalah pada organ akar karena akar mengalami kontak langsung dengan sedimen yang tercemar, kemudian ditranslokasikan ke bagian lain. Menurut Rohmawati (2007), Akumulasi logam ke dalam akar tumbuhan melalui bantuan transpor molekul dalam membran akar kemudian akan membentuk transpor logam kompleks yang menembus xilem dan terus menuju sel daun. Setelah sampai di daun, logam akan melewati plasmalemma, sitoplasma, dan tonoplasma untuk memasuki vakuola. Molekul kompleks bereaksi dengan akseptor terminal molekul untuk membentuk akseptor kompleks logam kemudian transpor molekul dilepas dan akseptor kompleks logam terakumulasi dalam

vakuola yang tidak akan berhubungan dengan proses fisiologi sel tumbuhan. Proses tersebut terjadi di Vakuola transpor.

KESIMPULAN

1. Kondisi pencemaran logam Pb di perairan Mangunharjo sudah melebihi ambang batas yaitu mencapai 0,453 ppm ($>0,008$), sedangkan pada sedimen masih dibawah
2. ambang batas yang ditentukan yaitu 1,191 ppm ($<46,7$).
3. Konsentrasi logam Pb yang lebih tinggi berada pada akar *Rhizophora mucronata* yaitu sebesar 0,0916 ppm, sedangkan pada *Avicennia marina* yaitu sebesar 0,0912 ppm.
4. Kemampuan akumulasi (BCF) jenis *Rhizophora mucronata* lebih tinggi dibanding *Avicennia marina*. Sehingga *Rhizophora mucronata* lebih baik dalam menyerap logam Pb dibanding *Avicennia marina*

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Fadhilah. 2014. Biokonsentrasi Fleshy Makroalgae terhadap Logam Pb dan Cu di Pulau Bonebatang, Barranglompo, dan Lae Lae Caddi Kota Makassar. Skripsi. Makassar: Universitas Hassanudin.
- Duke, N.C. 2007. *Rhizophora apiculata*, *R. mucronata*, *R. stylosa*, *R. × annamalai*, *R. × lamarckii* (Indo-West Pacific stilt mangrove). *Permanent Agriculture Resources* 2 (1)
- Halidah. 2014. *Avicennia marina* (Forssk.) Jenis Mangrove yang Kaya Manfaat. Balai Penelitian Kehutanan Makassar: Jl.Perintis Kemerdekaan Km.16 Makassar, Sulawesi Selatan,.

- Info Teknis EBONI*. Vol. 11 No. 1, Mei 2014 : 37 – 44
- Heriyanto, N.M dan Endro Subiandono. 2011. *Penyerapan Polutan Logam Berat (Hg, Pb, dan Cu) oleh Jenis- jenis Mangrove*. Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi. Bogor.
- Jupriyati, Ruri., Nirwani Soenardjo., dan Chrisna Adhi Suryono. 2013. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Pengaruhnya Terhadap Histologi Akar Mangrove *Avicennia marina* (Forssk). Vierh. di Perairan Mangunharjo Semarang. *Journal Of Marine Research. Volume 3, Nomor 1, Tahun 2013, Halaman 61-68*. Online di: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Kariada, Nana, TM. 2013. *Akumulasi Logam Cu pada Avicennia marina di Wilayah Tapak, Tugurejo, Semarang*. Semarang: Universitas Semarang.
- Kusumastuti W. 2009. *Evaluasi Lahan Basah Bervegetasi Mangrove dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan: Studi Kasus di Desa Kepetingan Kabupaten Sidoarjo*. Thesis (Tidak dipublikasikan). Universitas Diponegoro.
- MacFarlane, G.R, and M.D.Burchett. 2008. Cellular Distribution of Copper, Lead and Zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Aquatic Botany* 68: 45-59
- MacFarlane, G.R., Pulkownik, and M.D., Burchett. 2007. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk) Vierh: Biological Indication Potential. *Environmental Pollution*, 123:139-151.
- Madusari, Beny Diah., H, Pranggono., Linayati. 2016. *Analisis Kandungan Timbal (Pb). Cadmium (Cd) pada Air dan*

- Ikan Bandeng (Chanos chanos) di Tambak Kota dan Kabupaten Pekalongan*. UNIKAL: Pekalongan.
- MENLH. 2004. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: 51/MENLH/2004 Tahun 2004*. Tentang Penetapan Baku Mutu Air Laut Dalam Himpunan Peraturan di Bidang Lingkungan Hidup. Jakarta.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2005. *Baku Mutu Kualitas Sedimen*. Departement of Commerce USA.
- Nugrahanto, Nico Prasetyo. Bambang Yulianto, Ria Azizah. 2014. Pengaruh Pemberian Logam Berat Pb terhadap Akar, Daun, dan Pertumbuhan Anakan Mangrove *Rhizophora mucronata*. Journal Of Marine Research. Volume 2, Nomor 3, Tahun 2014, Halaman 107-114 Online di: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Palar, H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineka Cipta, Jakarta
- Panjaitan, Grace. Y. 2009. *Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon Avicennia marina Di Hitan Mangrove*. Skripsi. Jurusan Budaya Hutan. Universitas Sumatera Utara. Medan. 58 hlm.
- Rashed MN. 2007. *Biomarker as Indicator for Water Pollution with Heavy Metals in Rivers, Sea and Oceans*. Fac. of Science. South Valley University. Egypt.
- Rohmawati. 2007. *Uji daya akumulasi tumbuhan avicennia marina terhadap logam berat (cu, cd dan hg) di pantai kenjeran surabaya*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang : Jurusan Bioogi Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang.
- Supriyantini, Endang dan Nirwani Soenardjo. 2015. Kandungan Logam Pb dan Cu pada Akar dan Buah Mangrove *Avicennia marina* di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Vol. 18(2):98-106. ISSN 0853-7291*.
- Suratno, Eko Wijianto. 2013. Validasi Metode Analisis Pb dengan Menggunakan Flame Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk Studi Biogeokimia dan Toksisitas Logam Timbal (Pb) pada Tanaman Tomat (*Lycopersium esculentum*). Lampung: Universitas Lampung.
- Tangahu, Bieby, Voijant., S, R, S, Abdullah., H, B asri., M, Idris., N, Anuar., M, Mukhlisin . 2011. A review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants trough Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*. Vol: 2011, 31 Pages.
- Zakiyyah, Jazilatus. 2013. *Uji Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tumbuhan Mangrove di Pantai Tambaan Kota Pasuruan*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Hidayati, Nuril. 2013. *Mekanisme Fisiologis Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat*. Bogor: Pusat Penelitian Biologi LIPI.