

Potensi Mangrove *Avicennia Marina* (Forsk.) sebagai Agen Fitoremediasi Kadmium (Cd) di Tambak dan Laut Mangunharjo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang

The Potential of *Avicennia Marina* (Forsk.) Mangrove as a Cadmium (Cd) Phytoremediation Agent Ponds and Mangunharjo Seas, Tugu District, Semarang City

Endah Dwi Hastuti*, Fina Irodatul Afyah, Munifatul Izzati

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacub Rais Tembalang Semarang 50275

*Email: endah_pdil@yahoo.com

Diterima 26 Februari 2022 / Disetujui 16 Juni 2022

ABSTRAK

Aktivitas industri di perairan Mangunharjo menghasilkan limbah yang dapat menyebabkan pencemaran logam berat salah satunya yaitu kadmium (Cd). Mangrove *Avicennia marina* dapat mengabsorpsi Cd dari sedimen dan air melalui akar kemudian di translokasi ke organ lain seperti daun dan akar sehingga berpotensi sebagai fitoremediasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan akumulasi Cd pada akar dan daun mangrove *Avicennia marina* di perairan laut dan tambak Mangunharjo. Penelitian ini menggunakan RAL dengan 2 faktor yaitu lokasi (tambak dan laut) dan organ (daun dan akar) masing-masing perlakuan dengan 3 ulangan. Analisis kandungan Cd menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spechtphotometry*), data diuji dengan ANOVA, dilanjutkan dengan DMRT pada taraf uji 5 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di tambak kadar Cd pada sedimen yaitu 1.0897 ppm dan pada air 0.0123 ppm, sedangkan di laut kadar Cd pada sedimen yaitu 0.1193 ppm dan pada air 0.0163 ppm. Faktor organ mangrove dan lokasi menunjukkan interaksi terhadap kadar Cd dan nilai BCF. Kadar Cd tertinggi terdapat pada organ daun di tambak (0.2269 ppm) dan nilai terendah terdapat pada organ daun di laut (0.0200 ppm). Nilai BCF tertinggi terdapat pada organ akar di laut (0.5133) dan yang paling rendah adalah organ daun di laut (0.0567).

Kata kunci: *Logam berat; faktor biokonsentras; bioindicator; akumulasi; excluder*

ABSTRACT

Industrial activities in the waters of Mangunharjo produce waste that can cause heavy metal pollution, one of which is cadmium (Cd). *Avicennia marina* mangroves can absorb Cd from sediment and water through the roots and then translocated to other organs such as leaves and roots so that it has the potential as phytoremediation. This study aimed to analyze the ability of Cd accumulation in the roots and leaves of *Avicennia marina* mangroves in Ponds and Mangunharjo Seas. This study used RAL with 2 factors, namely location (ponds and sea) and organs (leaves and roots) each treatment with 3 replications. Analysis of Cd content using AAS (*Atomic Absorption Spechtphotometry*) method, data was tested by ANOVA, followed by DMRT at the 5% test level. The results showed that in ponds the Cd content in sediment was 1.0897 ppm and in water was 0.0123 ppm, while at sea the Cd level in sediment was 0.1193 ppm and in water was 0.0163 ppm. Mangrove organ factors and location showed an interaction with Cd levels and BCF values. The highest Cd levels were found in leaf organs in ponds (0.2269 ppm) and the lowest values were found in leaf organs in the sea (0.0200 ppm). The highest BCF value was found in root organs in the sea (0.5133) and the lowest was in leaf organs in the sea (0.0567).

Keywords: Heavy metals; bioconcentration factor; bioindicators; accumulation; excluder

PENDAHULUAN

Mangrove memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat dari lingkungan ke dalam tubuhnya (Devi dkk., 2015). Kemampuan ini merupakan salah satu cara mangrove untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan ekstrim. Respon mangrove dalam mengabsorpsi logam berat dapat berbeda-beda tergantung dengan jenis atau spesies mangrove.

Avicennia marina adalah salah satu jenis mangrove yang mampu mengakumulasi logam berat. Jumlah akumulasi logam berat mangrove dapat menjadi indikator untuk menilai tingkat pencemaran logam berat di wilayah pesisir. Kumar dkk. (2011) menyatakan bahwa *A. marina* memiliki potensi sebagai fitoremediasi logam berat di ekosistem mangrove karena memiliki daya akumulasi yang baik terhadap logam berat. Hal ini didukung oleh penelitian Gunale dan Lotfinassbsl (2012) bahwa mangrove *A.marina* di Pesisir Laut Arab dapat mengakumulasi Cd sebesar 22,690 ppm di akar dan 21,040 ppm di daun.

Paruntu dkk (2017); Jaswiah dkk (2016) menyatakan bahwa Cd yang terlarut di perairan akan terakumulasi oleh organisme di sekitar perairan seperti mangrove. Cd yang telah terakumulasi di sedimen kemudian di serap oleh mangrove melalui sistem perakarannya sebagai ion-ion logam, dalam bentuk senyawa kation atau anion. Menurut Shavira (2017), proses akumulasi Cd di mangrove dapat berlangsung dalam tiga tahap, yaitu penyerapan oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain dan lokalisasi logam pada vakuola sel.

Menurut Ariyanto dkk (2020), kemampuan akar dan daun untuk mengakumulasi logam berat dapat diketahui melalui perhitungan *Bioconcentration Factor* (BCF). BCF dihitung berdasarkan konsentrasi logam berat di akar dan daun dibagi dengan konsentrasi logam berat yang ada di sedimen.

Kawasan Mangunharjo, Semarang merupakan wilayah pesisir dengan potensi akumulasi logam berat yang tinggi karena menjadi tempat berkumpulnya zat-zat polutan (Utami dkk,2018). Data Bappeda Kota Semarang (2010) menunjukkan terdapat 30 industri di dekat daerah

Mangunharjo. Pencemaran Cd dapat dihasilkan dari limbah industri dari pemukiman penduduk dan aktivitas industri. Limbah industri yang mengandung Cd antara seperti limbah industri plastik, industri serat sintetik dan industri keramik. Sampah rumah tangga dapat berupa minyak dan plastik. Tingginya aktivitas perindustrian, pemukiman penduduk dan kegiatan budidaya dikawasan Mangunharjo akan berpengaruh pada pencemaran oleh limbah di kawasan tersebut (Rachmaningrum dkk, 2015).

Kadmium merupakan logam berat yang sangat beracun dan berbahaya serta bermuatan positif Menurut Kawung dkk (2018), Cd termasuk zat toksik yang dapat dapat mempengaruhi pencemaran dan mengancam keseimbangan ekologi perairan, sehingga Cd digolongkan limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun).

Laut merupakan tempat terakumulasinya zat-zat pencemar yang terbawa aliran sungai. Pasang air laut menyebabkan air laut yang sudah tercemar oleh zat polutan yang mengandung logam berat menuju ke arah sungai dan tambak, sehingga terjadi penumpukan zat polutan pada air tambak tersebut. Hal ini memungkinkan adanya perbedaan antara kadar Cd di tambak dan di perairan laut (Sanjivanie dkk, 2017). Berdasarkan uraian permasalahan diatas, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui potensi *A. marina* sebagai agen fitoremediasi Kadmium (Cd) di tambak dan laut Mangunharjo.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret-September 2021. Pengambilan sampel dilakukan di perairan laut dan tambak Mangunharjo, Kota Semarang. Preparasi sampel dan Uji AAS dilakukan di Laboratorium Wahana Semarang. Alat dan bahan yang digunakan adalah wadah sampel, *Global Positioning System* (GPS), erlenmeyer, gelas beker, gelas ukur, labu takar, corong, botol aquades, pipet tetes, *furnace* (tanur), cawan porselen, vortex, timbangan analitik, AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), Horiba water quality control, sekop, pisau, aquademin, HNO₃, sampel air, sedimen organ akar dan daun mangrove *A. marina*.

Penentuan Titik Pengambilan Sampel Mangrove

Lokasi pengambilan sampel ditentukan dengan teknik *purposive sampling*. Setiap lokasi (tambak dan laut) terdiri atas 3 titik sampling sebagai pengulangan dan jarak antara stasiun sekitar 5-12 meter. Letak masing – masing stasiun ditunjukkan dengan alat bantu *Global Positioning System* (GPS). Mangrove *A. marina* yang diambil sample organ daun dan akarnya yaitu mangrove yang berada pada fase pohon dengan kriteria diameter batang 10 cm atau lebih (Kusmana, 2015).

Pengambilan Sampel Akar dan Daun Mangrove

Sampel akar yang diambil adalah bagian dari akar nafas dgn panjang 10-20 cm dan dipotong dengan pisau. Sampel daun diambil sebanyak 15-20 helai pada daun dengan urutan ke-3 dan 4. Sampel dimasukkan ke plastik sample berlabel. Pengambilan sampel organ mangrove dilakukan 3 kali ulangan, baik di tambak maupun di laut.

Pengambilan Sampel Sedimen dan Air

Sampel sedimen diambil sebanyak 250 gr dengan cethok lalu dimasukkan kedalam plastik. Sampel air diambil sebanyak 300-400 ml secara langsung dari permukaan perairan dengan botol sampel yang telah berlabel.

Preparasi Sampel Akar dan Daun Mangrove

Sampel daun dan akar dipotong hingga menjadi bagian-bagian kecil. Potongan sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 3-4 hari kemudian Sampel yang telah kering diblender menjadi hingga menjadi serbuk. Serbuk sampel dari daun dan akar mangrove ditimbang seberat 5 g, lalu dilanjutkan dengan proses pengabuan dalam tanur bersuhu 600-650°C selama 4 jam. HNO₃ pekat sebanyak 10 mL dimasukkan kedalam masing-masing sample lalu ditambah akuades hingga volumenya menjadi 50 mL. Larutan sampel dipanaskan di atas *hotplate* hingga

mendidih dan ditunggu selama 10 menit hingga suhunya sesuai dengan suhu ruang. Larutan sampel disaring menggunakan kertas saring ke dalam erlenmeyer. *Aquademin* ditambahkan kedalam larutan sampel hingga volumenya menjadi 50 mL lalu divortex selama 1 menit.

Preparasi Sampel Sedimen

Aquademin 10 mL dan HNO₃ pekat 10 ml ditambahkan kedalam 30 mL sampel sedimen. Larutan kemudian dididihkan menggunakan *hotplate* selama 10 menit. Larutan disaring menggunakan kertas saring ke dalam erlenmeyer setelah suhunya sesuai dengan suhu ruangan. Larutan sampel sedimen ditambah dengan *aquademin* sampai volumenya menjadi 50 mL dan divortex selama 1 menit.

Preparasi Sampel Air

HNO₃ pekat sebanyak 10 mL ditambahkan kedalam 100 mL sampel. Larutan kemudian dididihkan menggunakan *hotplate* hingga volumenya berkurang sebanyak 50 mL. Larutan disaring menggunakan kertas saring ke dalam erlenmeyer setelah suhunya sesuai dengan suhu ruangan. *Aquademin* sebanyak 50 mL ditambahkan kedalam larutan sampel.

Pengujian Sampel dengan AAS

Instrumen AAS diatur dengan mengacu instruksi dalam *manual book* instrumen AAS (Nastia, 2014). Panjang gelombang untuk menguji logam berat Cd diatur sebesar 228,8 nm. Proses kalibrasi dilakukan dengan kurva standar logam Cd pada konsentrasi 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 ppm. Absorbansi masing-masing larutan sampel diukur.

Perhitungan Konsentrasi Logam Berat

Konsentrasi logam berat yang sebenarnya menurut Panjaitan (2009) dapat dihitung dengan rumus :

$$K \text{ Sebenarnya} = \frac{K \text{ AAS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{Vol. Pelarut (L)}}{\text{Berat Sampel (mg)}}$$

Keterangan:

K sebenarnya : Konsentrasi logam sebenarnya
K AAS : Hasil Pengukuran AAS pada sampel
Vol. Pelarut : Volume pelarut yang digunakan
Berat Sampel : Berat sampel yang digunakan

Rancangan Penelitian

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah RAL 2 faktor (2x2). Faktor pertama yaitu lokasi: laut (L) dan tambak (T), faktor kedua yaitu organ mangrove: Akar (A) dan Daun (D), masing-masing dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Data konsentrasi logam Cd dianalisis secara statistik dengan ANOVA faktorial. Apabila terdapat pengaruh maka perlakuan di lanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf kepercayaan sebesar 95 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Tempat Tumbuhnya Mangrove *A. marina* di Tambak dan Laut Mangunharjo

Hasil pengukuran didapatkan rerata suhu di tambak lebih rendah yaitu 24,61°C dibanding rerata suhu di laut yaitu 27,61°C. Perbedaan suhu ini diakibatkan karena waktu pengukuran suhu di laut dilakukan pada siang hari sedangkan pengukuran suhu di tambak dilakukan pada sore hari, kondisi air di lokasi tambak lebih ternaungi dan kerapatan mangrove lebih tinggi dibanding lokasi laut serta air lokasi tambak cenderung lebih tenang dibandingkan dengan kondisi air di lokasi laut memiliki gelombang air yang cukup deras. Menurut Hadikusumah (2008), distribusi suhu pada perairan di pengaruhi oleh beberapa faktor yaitu penyerapan panas, curah hujan, aliran sungai dan pola sirkulasi arus. Perairan dengan kedalaman dangkal juga dapat menyebabkan suhu menjadi lebih tinggi karena cahaya matahari dapat menembus ke dasar perairan. Menurut Sukoasih dkk (2016), suhu air yang tinggi cenderung meningkatkan akumulasi dan toksisitas logam berat, hal ini terkait dengan laju metabolisme biota air yang meningkat.

Hasil Pengukuran pH menunjukkan bahwa pH di tambak lebih rendah berkisar diangka 6.61-6.92 dan di laut berkisar diangka 6.97-7.29. Perbedaan pH ini dikarenakan kondisi air di

tambak yang lebih ternaungi dan laju fotosintesis rendah sehingga ion H⁺ lebih banyak yang menyebabkan pH air turun. Menurut Kordi dan Andi (2009), kisaran pH yang memenuhi syarat kehidupan pada air tambak yaitu antara pH 7-9. pH air ditambak juga dapat turun ke pH 4, sehingga air menjadi asam. Menurut Susana (2009), menurunnya kualitas perairan dapat ditunjukkan dari rendahnya nilai pH di perairan tersebut. Perairan dengan pH rendah dapat menyebabkan stress hingga kematian pada ikan, begitu pula pada pH yang sangat tinggi. Menurut Kordi dan Andi (2009), pH juga dapat berpengaruh terhadap oksigen terlarut dalam perairan. Oksigen terlarut akan menipis kadarnya apabila pH di perairan rendah.

Hasil pengukuran oksigen terlarut (DO) menunjukkan bahwa rerata DO di tambak lebih rendah yaitu 4.40 dari pada rerata DO di laut yaitu 8.39. Rendahnya kadar DO pada tambak dikarenakan kondisi air lebih surut dan cenderung lebih menggenang yang menyebabkan berkurangnya pergerakan air sehingga difusi oksigen dan laju fotosintesis menjadi lambat. Nilai DO di laut juga relatif lebih tinggi di banding tambak karena kondisi air di laut memiliki arus, sehingga difusi oksigen menjadi cepat. Menurut Simanjuntak (2007), lokasi di dekat pantai umumnya memiliki distribusi oksigen yang rendah, sedangkan pada lokasi yang semakin jauh dengan pantai kadar oksigen terlarutnya lebih tinggi. Hal tersebut disebabkan karena oksigen dapat masuk kedalam air dengan lancar melalui proses difusi dan fotosintesis. Hal ini sejalan dengan pendapat Tahir (2016), bahwa distribusi oksigen terlarut dipengaruhi oleh faktor suhu, salinitas, aktivitas biologis, arus, gerakan massa air dan proses difusi. Menurut Supriyatna dkk (2020), kadar DO di perairan merupakan hal yang penting bagi kehidupan biota air. Kadar DO yang sangat rendah dibawah 1.5 mg/l dapat menyebabkan kematian bagi ikan.

Hasil pengukuran salinitas yang telah dilakukan didapatkan bahwa salinitas di tambak lebih rendah yaitu 12.22 ppt dan di laut berkisar diangka 13.82 ppt. Menurut pendapat Maharani (2014), daerah tepi pantai umumnya memiliki salinitas yang lebih rendah dan salinitas akan

semakin meningkat apabila lokasinya semakin kearah laut. Hal ini karena adanya aliran sungai yang bermuara di laut sehingga nilai salinitas di tepi pantai lebih rendah dibandingkan nilai salinitas dilaut. Hal ini juga sesuai dengan pendapat Suhana (2018) yang menyatakan bahwa

distribusi salinitas di perairan Indonesia sangat bervariasi tergantung dari struktur geografi, masukan air tawar dari sungai, curah hujan, penguapan dan sirkulasi massa air. Perubahan salinitas permukaan laut di perairan juga dipengaruhi oleh musim.

Tabel 1. Nilai suhu, pH, salinitas dan DO air di tambak dan laut Mangunharjo.

	Stasiun	Parameter			
		Suhu °C	Derajat Keasaman (pH)	Salinitas (ppt)	Oksigen terlarut (DO) mg/L
Tambak	1	24.70	6.61	10.73	6.01
	2	24.49	6.92	13.08	4.32
	3	24.62	6.66	12.86	2.87
	Rata-rata	24.60	6.73	12.22	4.40
Laut	1	27.83	7.28	14.38	8.00
	2	27.47	6.97	13.89	8.86
	3	27.54	7.11	13.18	8.32
	Rata-rata	27.61	7.12	13.82	8.39
	Baku Mutu	28-32 °C	7,0-8,5*	≤34*	>5>6*

Kadar Cd pada Air dan Sedimen di Tambak dan Laut Mangunharjo

Kadar Cd pada sedimen di lokasi tambak dan laut menunjukkan perbedaan nyata, sedangkan kadar Cd pada sampel air di lokasi tambak dan laut tidak berbeda nyata. Kadar Cd pada sedimen di tambak memiliki kadar yang jauh lebih tinggi dari pada lokasi laut disebabkan oleh beberapa faktor seperti adanya perbedaan jenis sedimen di tambak yang berlumpur dan di laut yang lumpur berpasir, keadaan arus di yang tambak lebih tenang sedangkan arus di laut lebih kuat, suhu air yang lebih rendah pada tambak serta sumber dari Cd sendiri. Hal ini sesuai dengan pendapat Sukoasih dkk (2016) bahwa suhu dapat mempengaruhi kadar logam berat di air dan sedimen. Peningkatan suhu yang akan menyebabkan senyawa logam berat larut di air. Menurut Ridha (2017), jenis sedimen bisa berpengaruh terhadap kadar logam berat di sedimen. Kadar logam berat di lumpur lebih tinggi dari pada jenis sedimen lumpur berpasir. Menurut Salam (2020), substrat yang berpasir memiliki struktur yang lemah karena antara partikel yang satu dengan yang lainnya

tidak memiliki daya ikat yang besar. Substrat yang berpasir juga memiliki sifat porous karena tingginya pori aerasi. Aerasi yang lancar akan mendorong terjadinya oksidasi bahan organik menjadi mineral-mineral tanah secara berlebihan. Menurut Sagala dkk (2014) meningkatnya akumulasi logam berat di sedimen di karenakan arus perairan yang lemah. Sumber Cd dapat berasal dari daratan maupun dari laut, seperti adanya pembuangan limbah plastik, limbah rumah tangga, kegiatan perahu oleh nelayan dan dari zat-zat masukan yang berasal dari laut saat pasang yang kemudian mengendap di tambak.

Kadar Cd pada air di laut dan di tambak tidak berbeda nyata dikarenakan pergerakan permukaan air yang saling berhubungan antara air di tambak dan di laut, yaitu terkait pasang surutnya. Menurut Sanjivanie dkk (2017), pasang air laut menyebabkan air laut yang sudah tercemar oleh zat polutan yang mengandung logam berat menuju ke arah sungai dan tambak, sehingga terjadi penumpukan zat polutan pada air tambak tersebut.

Tabel 2. Kadar Cd (ppm) pada air dan sedimen di tambak dan laut Mangunharjo

Substrat	Lokasi		Baku Mutu
	Tambak (T)	Laut (L)	
Sedimen (S)	1.0897 ^a	0.1193 ^b	9.6 ppm ^{**}
Air (R)	0.0123 ^c	0.0163 ^c	0,001 mg/l [*]

Keterangan: Angka diikuti dengan notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata.

*) KepMen LH No 51 Tahun 2004

***) NOAA 1999

Kadar Cd pada Daun dan Akar Mangrove *A. marina* di Tambak dan di laut

Pada lokasi tambak tidak terdapat perbedaan nyata dan menunjukkan akumulasi Cd yang sama tingginya pada organ akar maupun daun dikarenakan tingginya translokasi Cd dari akar ke daun yang dipengaruhi oleh tingginya kadar fitokelatin pada mangrove *A. marina* di tambak. Kadar fitokelatin yang tinggi ini disebabkan karena cekaman logam berat yang tinggi pada lokasi tambak. Menurut Palar (2008), fitokelatin sangat berpengaruh dalam proses transportasi dan translokasi logam berat. Menurut Gupta dkk. (2013); Dennis dkk. (2019); Gratao dkk. (2019); Garcia dkk. (2020), kompleks dari senyawa logam-fitokelatin dapat mencegah toksisitas logam pada tanaman. Fitokelatin berikatan dengan gugus tiolnya lalu menonaktifkan logam dan di lokalisasikan ke vakuola sel. Hal yang berperan penting dalam pembentukan fitokelatin adalah GSH. Saat berada di bawah cekaman logam berat, GSH dapat meningkat hingga beberapa kali lipat. Fitokelatin di bentuk dari GSH oleh enzim *glutathione-γ-glutamylcysteinyl transferase* atau *PC synthase*. Fitokelatin terakumulasi di dalam vakuola sel-sel tumbuhan.

Kadar Cd pada akar dilaut lebih rendah dipengaruhi oleh kadar logam Cd sedimen di laut lebih rendah dari pada di tambak. Menurut Ashar dkk. (2014), kandungan logam Cd pada sedimen berpengaruh terhadap proses bioakumulasi logam berat Cd, karena organisme tersebut mengalami kontak langsung dengan sedimen yang telah terkontaminasi logam Cd. Menurut Indrasti dkk. (2006), kadar logam berat yang di absorpsi oleh tanaman pada umumnya sebanding dengan kadar

logam berat yang ada di dalam limbah. Semakin tinggi kadar logam, maka semakin banyak pula logam yang bisa diabsorpsi oleh tanaman.

Kadar Cd daun di laut lebih rendah dari pada akar di laut karena kadar Cd di daun pada lokasi laut adalah hasil translokasi logam Cd yang berasal dari akar namun translokasinya tidak setinggi di tambak. Menurut Song *et al.* (2019), Cd di xylem akar lalu di transport ke organ tumbuhan seperti bagian daun, biji serta pucuk. Transport Cd dari akar ke batang berlangsung dalam tiga proses yaitu penyerapan Cd dari sel akar, transport simplast ke stele dan pelepasan Cd ke xylem batang. Transport Cd ke daun dan biji adalah transport Cd dari xylem ke floem. Cd didaun kemudian diasingkan ke kompartemen ekstraseluler dan subseluler seperti vakuola sel untuk menghilangkan Cd di sitosol sebagai tempat terjadinya metabolisme agar tidak mengganggu reaksi metabolisme yang sensitif. Proses ini dibantu oleh protein pengangkut (transporters) logam yang terdapat pada plasma membran dan tonoplas (Manara, 2012).

KESIMPULAN

Kadar logam Cd pada sedimen lebih tinggi di tambak, sedangkan Kadar Cd pada air lebih tinggi di laut. Organ daun di tambak paling tinggi mengakumulasi logam Cd diikuti dengan akar di tambak, akar di laut dan daun di laut

DAFTAR PUSTAKA

Ashar, Y.K., Evi, N., Surya, D. 2014. Analisis Kandungan Kadmium (Cd) dalam Udara Windu (*Penaeus monodon*) yang Berada di Tambak Sekitar tempat Pembuangan Akhir

- (TPA) Sampah Kelurahan Terjun Kota Medan. Universitas Sumatra Utara. Medan. Hal 1-10.
- Ayuda, L.P., Shinta, K., Erna, S, M. Aris, W. 2019. Hubungan Kadar Kadmium Serum Denganfungsi Ginjal Padapekerja Parkir Terminal Arjosari.*Jurnal Bio Komplementer Medicine*. Vol. 6 (3).
- Dennis, K. K., Uppal, K., Liu, K. H., Ma, C., Liang, B., Go, Y., Jones, D. P. 2019. Phytochelatin Database: A Resource for Phytochelatin Complexes of Nutritional and Environmental Metals. *The Journal of Biological Database and Curation*. 1-9.
- Deri., Emiyarti, La Ode, A. A. 2013. Heavy Metal Acumulattion of Lead (Pb) of Mangrove *Avicennia marina* Roots in Kendari Bay. *Jurnal Mina Laut Indonesia*, 1(1):38- 40.
- Devi, W.K., Iriyanti, E.S., dan Ketut, G. D. P. 2015. Kandungan Cadmium dan Timbal Buah Mangrove *Bruguiera Gymnorhiza*, *Avicennia Alba* dan *Sonneratia Caseolaris* dari Muara Sungai Mati dan Daerah Pemogan, Badung, Bali-Indonesia.*Cakra Kimia Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*.3 (2).
- Fadhilah, A., H. Hamdani., A. Sahidin. Daya Serap Akar Mnagrove *Avicennia Marina* Terhadap Logam Berat Timbal (Pb) di Perairan Taman Wisata Alam Angke Kapuk Jakarta.*Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 9(2) : 80 -86.
- Garcia, J. D. G., Thomas, R. S., Saavedra, E., Velasco, D. A. F., Romero, S. R.,Figueroa, K. I. C., Cozatl, D. G. M., dan Sanchez, R. M. 2020. Mapping the Metal-catalytic Site of Zinc-activated Phytochelatin Synthase. *Algal Research*. 47:1-10.
- Gratao, P. L., Alves, L. R., dan Lima, L. W. 2019. Heavy Metal Toxicity and Plant Productivity: Role of Metal Scavengers. *Plant Metal Interaction*. Springer: Cham.
- Gunale, V.R., Lotfinasabasl. S. 2012. Sudies on Heavy Metals Bioaccumulation Potential of Mangroce Species, *Avvicennia marina*. *International Journal of Engineering Science*. Vol 4: 4411-4421.
- Gupta, D. K., Vandenhove, H., dan Inouhe, M. 2013. Role of Phytochelatins in Heavy Metal Stress and Detoxification Mechanisms in Plants.
- Hadi, F., Arifeen, M.Z.U., Aziz T., Nawab S., dan Nabi G. 2015.Phytoremediation Of cadmium By *Ricinuc communis* L.In Hydroponic Condition.*Journal Agricultur American-Eurasian & Environ*, Vol 15(6).
- Hadikusumah. 2008. Variabilitas Suhu Dan Salinitas Di Perairan Cisadane. *Makara. Jurnal Sains*. 12(2): 82-88.
- Indrasti, N.S., Suprihatin., Burhanudin., Aida. N. 2014. Penyerapan Logam Pb Dan Cd Oleh Eceng Gondok: Pengaruh Konsentrasi Logam Dan Lama Waktu Kontak. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. Vol. 16(1), 44-50.
- Istarani F., dan Pandebesie, E.S. 2014. Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) Terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan.*Jurnal Teknik POMITS*. 3(01): 1-6.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B.,Beeregowda, K.N. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals.*Interdiscip Toxicol*. 7(2): 60-72
- Jaswiah., Syamsidar H. Syarifuddin, Iin Novianti. 2016. Fitoremediasi Logam Kadmium Pada Asap Rokok Menggunakan Tanaman Lidah Mertua Jenis *Sansevieria Hyacinthoides* dan *Sansevieria Trifasciata*. *Chimica Et Natura Acta*. Vol. 4 (2): 88-92.
- Juniawan, A., Rumhayati B., dan Lamuyanto B. 2013. Karakteristik Lumpur Lapindo Dan Fluktuasi Logam Berat Pb Dan Cu Pada Sungai Porong Dan Aloo. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*.7(01):1-10.
- Jupriyati, Ruri., Nirwani Soenardjo., dan Chrisna Adi Suryono. 2013. Akumulasi Logam berat Timbal (Pb) dan Pengaruhnya Terhadap Histologi Akar *Avicennia marina* (Forssk).Vierh.Di Perairan Mangunharjo Semarang.*Journal of Marine Research*.Volume 3, Nomor 1.Hal.61-68.
- Kawung dkk. 2018. Analisis Akumulasi Kandungan Logam Kadmium Pada Akar dan Daun Mangrove di Perairan Basaan-Belang Kabupaten Minahasa Tenggara dan Likupang Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. Volume 1, Nomor 1
- 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.
- Nastia, Prayudi. 2014. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon *Avicennia marina* di Hutan Mangrove Desa Nelayan Kecamatan Medan Labuhan dan

- Desa Jaring Halus Kecamatan Secanggang. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara.
- Song, Y., L. Jin, X. Wang. 2017. Cadmium Absorbtion and Transportation Pathways in Plants. *International Journal of Phytoremediation*, 19 (2), 133-141.
- Sugiyanto, N. A. N., D. Yona., dan S. H. Julianda. 2016. Analisis Daya Serap Akar Mangrove *Rhizophora Mucronata* Dan *Avicennia Marina* Terhadap Logam Berat Pb dan Cu Di Pesisir Probolinggo, Jawa Timur. *Jurnal Nasional Perikanan Dan Kelautan*.:488 – 494.
- Suhana, M. P. 2018. Karakteristik Sebaran Menegak dan Melintang Suhu dan Salinitas Perairan Selatan. *Dinamika Dinamika Maritim*. 6(2).
- Sukoasih, A., Teguh, W., Suparmin. 2016. Hubungan Antara Suhu, pH dan Berbagai Variasi Jarak dengan Kadar Timbal (Pb) pada Badan Air Sungai Rompong dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraja Tengah. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang.
- Supriatna., M, Mahmudi., M, Musa., Kusriani. 2020. Hubungan pH dengan Parameter Kualitas Air pada Tambak Intensif Udang Vannamei (*Litopenaeus Vannamei*). *Journal Of Fisheries And Marine Research*. Vol. 4 No.3 (2020) 368-37