

Kemampuan Tumbuhan *Ludwigia adscendens* dalam Menyerap Logam Berat Kadmium (Cd) pada Berbagai Konsentrasi

The Ability of Ludwigia adscendens in Absorbing Heavy Metal Cadmium (Cd) on the Various of Concentration

Mar'atus Sholikhah *, Fida Rachmadiarti

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Surabaya

* e-mail: maratussholikhah73@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh berbagai konsentrasi Cd terhadap kadar Cd dalam akar *Ludwigia adscendens* dan kadar klorofil daun. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor perlakuan yaitu berbagai konsentrasi Cd sebesar 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm. Penelitian dilakukan selama 10 hari. Kadar Cd dalam akar diukur dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*), sedangkan kadar klorofil diukur dengan menggunakan spektrofotometer. Data dianalisis dengan menggunakan ANAVA satu arah, kemudian dilanjutkan dengan uji DMRT. Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh berbagai konsentrasi Cd terhadap kadar Cd dalam akar *L. adscendens* serta kadar klorofil daun. Penyerapan kadar Cd paling optimal terdapat pada pemberian konsentrasi 10 ppm dan 15 ppm sebesar 3,20 ppm dan 3,37 ppm, serta kadar klorofil akhir pada konsentrasi 15 ppm sebesar 5,81 mg/l. Hasil penelitian membuktikan bahwa tumbuhan *L. adscendens* memiliki kemampuan dalam menyerap logam Cd di perairan.

Kata kunci: kemampuan tumbuhan; *Ludwigia adscendens*; kadar Cd; kadar klorofil

ABSTRACT

The research aimed to know the effects of various cadmium concentration on the cadmium concentration in the roots of *Ludwigia adscendens* and leaf chlorophyll content. This research was an experimental research which used Completely Group Design (RAL). This design used one treatment factors, namely various concentration of Cd used concentration 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm and 15 ppm. The research has done for 10 day. The levels of Cd in root was measured by using AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*), while the chlorophyll content was measured by spectrophotometer. Data were analyzed using one way ANAVA, and followed by DMRT test. The result showed that there was an effect of various Cd concentration on the concentration of Cd in roots and leaf chlorophyll content. The optimum rate of Cd content was found in 10 ppm and 15 ppm of Cd concentration 3.20 ppm and 3.37 ppm, and the chlorophyll content in 15 ppm of Cd concentration 5.18 mg/l. Hence, it can be concluded that *L. adscendens* have the ability to absorb heavy metal Cd in the waters.

Key words: ability of plant; *Ludwigia adscendens*; levels of Cd; chlorophyll content

PENDAHULUAN

Penurunan kualitas air dapat disebabkan oleh masuknya limbah cair, padat dan udara ke badan air sehingga terjadi penurunan kualitas air. Sumber pencemaran air digolongkan menjadi dua jenis yaitu berasal dari limbah domestik dan limbah industri, sedangkan aspek pencemaran yang terjadi disebabkan oleh beberapa unsur pencemar yang sifatnya rutin pada praktek pembuangan berupa limbah cair yang mengandung senyawa kimia racun bagi manusia misalnya logam berat, pestisida dan zat-zat radioaktif (Herlambang, 2006).

Penurunan kualitas air yang disebabkan oleh logam berat dapat meracuni manusia jika

terakumulasi dalam jangka panjang. Logam berat memiliki sifat yang tidak dapat terurai/terdegradasi, beracun serta dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Unsur-unsur kimia yang memiliki bobot jenis lebih dari 5 g/cm³ disebut logam berat (Baharudin, 2012). Logam berat apabila masuk ke dalam lingkungan perairan dapat mengganggu kehidupan biota perairan seperti plankton, hewan dan tumbuhan dan menyebabkan penyimpangan sifat-sifat air (Kristanto, 2002).

Kadmium (Cd) merupakan logam berat nonessensial dan berdasarkan tingkat keracunannya termasuk dalam kategori "the big three heavy metal". Kadmium dalam jangka waktu

panjang dapat terakumulasi dan berdampak negatif pada tubuh manusia terutama hati dan ginjal. Penggunaan tumbuhan dalam mengatasi pencemaran air merupakan salah satu upaya dalam meminimalkan kadar logam berat yang terdapat di dalam perairan. Teknik untuk mengendalikan pencemaran air salah satunya yaitu dengan teknik fitoremediasi.

Fitoremediasi merupakan upaya untuk meminimalkan limbah dan polutan dengan menggunakan tumbuhan dan bagian-bagiannya baik secara *ex situ* dengan menggunakan kolam buatan atau raktor maupun secara *in situ* dengan penelitian di lapangan secara langsung (Morel *et al.*, 2006). Tumbuhan yang dipakai untuk ekstraksi polutan yang efisien harus memiliki karakteristik seperti pertumbuhan cepat, biomassa, toleransi dan kapasitas hidup yang tinggi (Nur, 2013). Karakteristik tumbuhan yang dapat digunakan pada fitoremediasi yaitu tumbuhan yang cepat tumbuh, mampu meremediasi lebih dari satu logam berat, pada jangka waktu yang singkat mampu menyerap air dalam jumlah banyak, dan toleransi yang tinggi terhadap logam berat. Salah satu tumbuhan yang berpotensi menyerap logam berat yaitu *Ludwigia adscendens*.

Ludwigia adscendens termasuk famili onagraceae dan merupakan tumbuhan yang memiliki pertumbuhan yang sangat cepat, jenis tumbuhan herba mengapung yang dikenal sebagai tapak dara air. Tumbuhan ini hidup di kolam, rawa dan kanal. Ciri-ciri tumbuhan ini antara lain merupakan tumbuhan herba, batang bulat putih kehijauan daun tersebar, helaian daun berbentuk bulat telur terbalik dan memiliki daun penumpu pada tiap percabangan tangkai daun (Nirmal, 2013). Tumbuhan ini memiliki peranan dalam pengobatan selain itu *L. adscendens* juga memiliki kemampuan dalam menyerap berbagai logam berat salah satunya yaitu mampu menyerap logam berat Cu di perairan, sehingga tumbuhan ini mampu digunakan sebagai tumbuhan fitoremediasi (Cheng, 2003). Penelitian Rachma *et al.*, (2014) yang terkait pengaruh logam berat terhadap fisiologi tumbuhan *Jussiaea repens* yaitu terjadi penurunan rerata klorofil total sebanyak 5,45 mg/l pada variabel waktu detensi 10 hari dan konsentrasi Cd 10 ppm. Respons morfologi yang terjadi pada kadar klorofil total tumbuhan yang tercemar logam berat akan mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya kadar logam pada media tanam perairan yang disebabkan oleh kerusakan struktur kloroplas (Rachma *et al.*, 2014).

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini menggunakan tumbuhan *Ludwigia adscendens* yang dipaparkan pada media dengan konsentrasi Cd yang berbeda selama 10 hari, sedangkan penelitian Rosyada (2016), tumbuhan *Ludwigia adscendens* dipaparkan pada perairan yang tercemar lumpur lapindo dengan waktu detensi yang berbeda yaitu selama 7 dan 14 hari. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh berbagai konsentrasi Cd terhadap kadar Cd dalam akar *L. adscendens* dan kadar klorofil daun. Berdasarkan paparan di atas dilakukan penelitian tentang kemampuan tumbuhan *Ludwigia adscendens* dalam menyerap logam berat kadmium (Cd) dengan berbagai konsentrasi 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, dan 15 ppm.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimental, dilaksanakan di Green House C10 Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya, sedangkan pengujian kadar Cd dilakukan di Laboratorium IPA Terpadu Universitas Negeri Surabaya. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2018.

Sasaran penelitian pada penelitian ini menggunakan tumbuhan *Ludwigia adscendens* dengan media tanam berupa Cd dengan berbagai konsentrasi sebesar 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm serta kadar klorofil daun. Penelitian ini menggunakan desain penelitian RAL (Rancangan Acak Lengkap) dengan satu faktor perlakuan yaitu berbagai konsentrasi Cd.

Bahan dan alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu aquades, logam Cd, larutan HNO₃, larutan Hoagland, alkohol 95% dan tumbuhan *Ludwigia adscendens*. Alat-alat yang digunakan yaitu akuarium, pH pen, termometer, lux meter, hot plate, mortal alu, AAS dan spektrofotometer.

Prosedur penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap yaitu tahap awal dilakukan aklimatisasi tumbuhan dalam air aquades selama 10 hari, kemudian tumbuhan yang telah diaklimatisasi dipilih tumbuhan yang kondisinya sehat dan segar untuk diaplikasikan pada penelitian. Pada tahap pembuatan media tanam digunakan berbagai konsentrasi logam Cd yaitu 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm dilarutkan dalam larutan HNO₃ kemudian diencerkan dengan menggunakan akuades diisikan ke dalam akuarium ukuran 10 liter diisi media tumbuh sebanyak 5 liter, kemudian ditambahkan larutan Hoagland sebanyak 20% dari jumlah keseluruhan media.

Pada tahap perlakuan tumbuhan *L. adscendens* ditimbang dengan biomassa tumbuhan 100 gram pada tiap perlakuan, kemudian diaplikasikan ke dalam akuarium dengan media tanam logam Cd sebesar 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm. Perlakuan dilakukan dengan waktu detensi 10 hari, kemudian diuji kadar logam berat pada akar tumbuhan *L. adscendens* serta pengujian kadar klorofil tumbuhan.

Data pada akhir perlakuan diukur kadar Cd dalam akar adapun langkah-langkah analisis kadar Cd pada akar sebagai berikut: 1) sampel akar tumbuhan di ambil sebanyak 2 g dan dioven pada suhu 100°C; 2) hasil sampel akar kering ditumbuk sampai menjadi serbuk; 3) sampel didestruksi dengan melarutkan serbuk kedalam 2 ml HNO₃, kemudian dipanaskan di atas hot plate; 4) ditambahkan 10 ml aquadenim, kemudian disaring dan dimasukkan ke dalam botol sampel; 5) dianalisis konsentrasi logam kadmium (Cd) dalam akar dengan menggunakan AAS.

Kadar klorofil daun diukur dengan spektrofotometri, adapun langkah-langkah analisis kadar klorofil pada daun sebagai berikut: 1) sampel daun ditimbang sebanyak 1 g daun yang masih segar, kemudian dipotong kecil-kecil; 2) hasil potongan daun digerus dalam lumping porselin sampai potongan tersebut menjadi halus; 3) sampel gerusan daun tersebut diekstraksi dengan menggunakan 30 ml alkohol 95%; 4) ekstrak tersebut disaring dengan menggunakan kertas saring sampai volume akhir filtrat mencapai 30 ml. Jika volume filtrat kurang dari 30

ml, maka ditambahkan kembali alkohol 95% sampai filtrat mencukupi volume. Melakukan pencatatan nilai absorbansi (*Optical Density*) larutan tersebut dan kadar klorofil total dihitung dengan menggunakan rumus Wintermans dan De Mots sebagai berikut: Klorofil total : $20,0 \times OD_{649} + 6,1 \times OD_{665}$ (mg/l). Pengukuran kadar klorofil filtrat tersebut dengan menggunakan alat Spektrofotometer pada panjang gelombang 649 nm dan 655 nm. Larutan yang digunakan sebagai pelarut untuk kalibrasi adalah alkohol 95%, kemudian hasil uji dianalisis dengan menggunakan uji statistik yaitu uji ANAVA satu arah dan dilanjutkan dengan uji DMRT.

HASIL

Penelitian ini terdiri atas satu faktor perlakuan yaitu berbagai konsentrasi Cd. Parameter yang diukur pada penelitian ini yaitu kadar Cd pada akar *L. adscendens* dan kadar klorofil daun pada perlakuan dengan pemberian berbagai konsentrasi Cd. Konsentrasi penyerapan Cd tertinggi terdapat pada perlakuan konsentrasi 10 ppm dan 15 ppm lebih tinggi dibandingkan konsentrasi yang lainnya (Tabel 1).

Kadar klorofil pada daun *Ludwigia adscendens* setelah diberi perlakuan berbagai konsentrasi logam Cd mengalami penurunan dari konsentrasi 0 ppm sampai konsentrasi 15 ppm. Semakin tinggi kadar Cd pada media, semakin menurun kadar klorofil pada daun.

Tabel 1. Kadar Cd pada akar *Ludwigia adscendens* dengan pemberian berbagai konsentrasi Cd.

Konsentrasi Cd (ppm)	Kadar Cd dalam akar (ppm)
0	0,00 ±0,000 ^a
5	1,68 ±0,328 ^b
10	3,20 ±0,386 ^c
15	3,37 ±0,535 ^c

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf yang tidak sama, menunjukkan hasil yang berbeda nyata.

Tabel 2. Kadar Klorofil pada Daun *L. adscendens* dengan Pemberian Berbagai Konsentrasi Cd

Konsentrasi Cd (ppm)	Kadar Klorofil pada daun (ppm)
0	18,15 ±0,390 ^d
5	13,99 ±0,606 ^c
10	11,37 ±0,993 ^b
15	5,18 ±0,586 ^a

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf yang tidak sama, menunjukkan hasil yang berbeda nyata.

Berdasarkan hasil penelitian di atas dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh konsentrasi Cd terhadap kadar Cd dalam akar serta kadar klorofil daun. Perlakuan konsentrasi Cd berturut-turut menghasilkan kadar penyerapan Cd dari tertinggi ke terendah terdapat pada perlakuan konsentrasi 15 ppm, 10 ppm, 5 ppm dan 0 ppm, sedangkan kadar klorofil akhir dari tertinggi ke terendah terdapat pada perlakuan 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 15 ppm.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh konsentrasi terhadap kadar Cd dalam akar *Ludwigia adscendens* serta kadar klorofil daun. Perbedaan konsentrasi penyerapan Cd tertinggi terdapat pada perlakuan konsentrasi 15 ppm dan konsentrasi 10 ppm lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi yang lainnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Rachma *et al.*, (2014), bahwa tumbuhan *Jussiaea repens* pada konsentrasi tertinggi yaitu 10 ppm mampu menyerap Cd lebih optimal dibandingkan konsentrasi 1 dan 5 ppm. Menurut Ghosh dan Singh (2005), prinsip penyerapan logam oleh tumbuhan yaitu semakin besar kandungan logam pada media tanam maka semakin besar pula logam yang diserap oleh tumbuhan.

Ludwigia adscendens merupakan tumbuhan akuatik yang hidup pada perairan rawa atau sungai. Menurut Irhamni *et al.*, (2017), tumbuhan akuatik hiperakumulator membentuk jaringan lakuna atau aerenkim di dalam akar dan batangnya yang dapat digunakan untuk pertukaran materi dari bagian batang ke akar. Berdasarkan penelitian Rosyada (2016), *L. adscendens* merupakan tumbuhan fitoremediator yang mampu menurunkan logam berat Cd pada perairan yang tercemar lumpur lapindo. Penyerapan logam Cd oleh tumbuhan *L. adscendens* terjadi karena adanya kemampuan tumbuhan dalam mentoleransi dan mendetoksifikasi daya racun dari logam berat. Menurut Oh *et al.*, (2014), tumbuhan fitoremediasi memiliki kemampuan tidak hanya mengakumulasi, mendegradasi atau volatilisasi kontaminan, tetapi harus tumbuh dengan cepat pada berbagai kondisi.

Akar tumbuhan menyerap kadar logam berat paling tinggi, hal ini dikarenakan di bagian akar terdapat rizosfer yang dapat mengeluarkan eksudat dan enzim-enzim yang dapat berikatan dengan logam sehingga logam dapat mudah terserap oleh akar (Gamal, 2005). Akumulasi logam Cd di akar dapat terjadi karena adanya kemampuan tumbuhan dalam melakukan strategi

untuk mencegah logam naik ke daun sehingga dapat mengganggu proses fotosintesis. Akar yang menyerap logam Cd akan membawa logam Cd dalam bentuk ion kedalam rizosfer sesuai spesies setiap tumbuhan. Penyerapan Cd secara efisien dapat terjadi apabila logam berikatan dengan suatu zat khelat (Liu *et al.*, 2010).

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam Cd pada akar tumbuhan dapat melalui tiga proses yaitu 1) adanya penyerapan logam pada akar dalam bentuk ion kedalam rizosfer sehingga logam dapat mudah terserap dengan bantuan akar yang menghasilkan eksudat kemudian diikat dengan zat khelat untuk meningkatkan efisiensi penyerapan, 2) translokasi logam melalui xilem dan floem ke bagian tumbuhan yang lainnya seperti batang dan daun terdapat tiga tahapan yaitu secara apoplas melalui ruang antar sel dan dinding sel membran luar; secara simplas melalui protoplas yang terhubung antar sitoplasma dan transporter khusus seperti mekanisme pompa air dan berbagai tipe transporter 3) lokalisasi logam pada bagian sel tertentu diangkut melalui proteins transpor yang terdapat di membran plasma kemudian akan disimpan di vakuola akar (Gerth, 2000), kemudian logam diangkut melalui jaringan pengangkut xilem dan floem, selanjutnya ditranslokasikan menuju bagian tumbuhan yang lainnya melalui jalur apoplas dan mengaktifasi enzim fitokhelatin sintasel untuk membentuk fitokhelatin didalam sitoplasma (Krystovova *et al.*, 2012). Ion logam yang berada di daun melewati plasmalema, sitoplasma dan tonoplasma bergerak menuju vakuola daun (Kaya *et al.*, 2009).

Kadar klorofil dalam daun tumbuhan menunjukkan pengaruh akumulasi logam Cd semakin tinggi konsentrasi yang diberikan pada media tanam maka nilai kadar klorofil akhir semakin menurun, hal ini dibuktikan bahwa pada konsentrasi 15 ppm kadar klorofil akhir paling rendah dibandingkan dengan perlakuan 0 ppm, 5 ppm dan 10 ppm. Rachmadiarti *et al.*, (2015) melaporkan bahwa logam berat Pb mampu terakumulasi dalam jaringan daun *Limnocharis flava* (L.) sebesar 10 mg/L⁻¹, lebih tinggi daripada kriteria yang ditentukan oleh FAO dan WHO (5 mg kg⁻¹). Menurut penelitian Mutmainnah *et al.*, (2015), kandungan logam berat yang tinggi dapat mengganggu metabolisme sel yang dapat menghilangkan komponen sitoplasma dan mengganggu proses fisiologis tumbuhan dengan mengganggu biosintesis klorofil dan merusak struktur kloroplas.

Peningkatan konsentrasi logam Cd pada media beriringan dengan menurunnya kadar klorofil daun, pada akhir perlakuan diperoleh

kadar klorofil menurun pada perlakuan konsentrasi 15 ppm lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi 0 ppm, 5 ppm, dan 10 ppm, hal ini dibuktikan dengan pertumbuhan tanaman pada akhir penelitian ini cenderung optimal dengan terbentuknya tunas pada tumbuhan. Hal ini dikarenakan masing-masing akar tumbuhan mengandung bakteri yang apabila bakteri tersebut saling berinteraksi dan bersinergis maka bakteri tersebut mampu meningkatkan pertumbuhan tumbuhan (Aiman *et al.*, 2017). Konsentrasi Cd yang tinggi di dalam media masuk ke dalam jaringan tumbuhan sehingga mengganggu kinerja dari unsur-unsur yang dibutuhkan dalam fotosintesis salah satunya menghambat proses metabolisme (Oktavia *et al.*, 2016).

Hasil penelitian pada tumbuhan *L. adscendens* pada konsentrasi 15 ppm menunjukkan bahwa terjadi perubahan warna pada daun yaitu terjadi gejala klorosis pada beberapa daun dan rontoknya rambut akar. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan penurunan kadar klorofil pada daun antara lain faktor genetik, intensitas cahaya, oksigen, karbohidrat, air, suhu dan unsur hara (Salisbury dan Ross, 1995). Kadar klorofil yang semakin menurun pada tiap perlakuan disebabkan adanya unsur hara pembentuk klorofil tergantikan posisinya oleh ion Cd. Penurunan kadar klorofil pada tumbuhan berkorelasi dengan adanya Cd sebagai indikator stress logam berat (Borker *et al.*, 2013).

Mekanisme penanggulangan terhadap logam berat dapat terjadi karena tumbuhan memiliki kemampuan dalam beradaptasi terhadap cekaman logam berat yang diberikan. Fitter dan Hay (1991), dalam menghadapi cekaman toksisitas logam berat tumbuhan dapat melakukan penanggulangan (ameliorasi) yaitu kemampuan tumbuhan dalam meminimalisir pengaruh dari logam berat yang masuk dalam akar. Pada pengamatan pH lingkungan menunjukkan bahwa terjadi kenaikan pH pada tiap perlakuan menunjukkan bahwa adanya kemampuan tumbuhan dalam menaikkan pH media tanam. Menurut Levine (2013) dijelaskan bahwa kenaikan pH diatas 7 dapat menurunkan kelarutan logam Cd. Faktor fisik yang lainnya yaitu suhu dan intensitas cahaya pada penelitian ini suhu dan intensitas cahaya pada awal perlakuan suhu berkisar antara 28-30°C, Hal ini sesuai dengan penelitian Hartanti *et al.*, (2014), suhu pertumbuhan tanaman air berkisar antara 22-30 °C. Suhu dapat mempengaruhi proses fotosintesis dan dapat mempengaruhi proses metabolisme makhluk hidup. Intensitas cahaya pada ruangan

berkisar antara 675-820 candela, hal ini disebabkan karena perubahan cuaca yang berubah-ubah sehingga intensitas cahaya yang dihasilkan kurang optimal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa *L. adscendens* mampu menyerap Cd paling optimal pada konsentrasi 10 ppm dan 15 ppm.

SIMPULAN

Terdapat pengaruh berbagai konsentrasi Cd terhadap kadar Cd dalam akar *Ludwigia adscendens* dan kadar klorofil yaitu pada perlakuan konsentrasi 10 ppm dan 15 ppm mampu menyerap Cd sebesar 3,20 dan 3,37 ppm, serta pada konsentrasi 15 ppm mengalami penurunan kadar klorofil sebesar 5,81 mg/l. Semakin tinggi konsentrasi logam Cd pada media, maka semakin rendah kadar klorofil daun.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiman U, Tantriati, Bambang S, 2017. Pemberian Macam Konsorsium Bakteri Hasil Isolasi Tumbuhan Pantai pada Kangkung (*Ipomea reptans* Poir.). *Agro Science*. 5(1): 1-6.
- Baharudin H, Suhud I, Vanny MAT, 2012. Adsorpsi Kadmium (II) dari Larutannya Menggunakan Biomassa Akar dan Batang Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk). *Akademi Kimia*. 1(4): 153-158.
- Borker AR, Ashish V, Mane1, Ganesh DS, Girish RP, 2013. Phytoremediation potential of *Eichhornia crassipes* for the treatment of cadmium in relation with biochemical and water parameters. *Food Agriculture*. 25: 443-456.
- Cheng S, 2003. Heavy Metals in Plants and Phytoremediation (*Review article*). 336-340.
- Fitter AH, dan Hay RKM, 1991. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Diterjemahkan oleh Sri Andani dan E.D. Purbayanti. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Gamal HR, 2005. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of soil rhizosphere spiked with poly aromatic hydrocarbons. *Mycobiol*. 33(1): 41-50.
- Gerth A, 2000. Phytoremediation of soil and sludge with special examination of heavy metal contamination In: Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ, Inyang HI, Stottmeister U (ed): *Bioremediation of Contaminated Soils*. Marcek Dekker Inc. New York. Basel. 787-809.
- Ghosh M dan Singh SP, 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of its byproduct. *Applied Ecology and Environmental Research*. 3(1): 1-18.
- Hartanti PI, Alexander TSH, Ruslan W, 2014. Pengaruh Kerapatan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap Penurunan Logam Chromium pada Limbah Cair Penyamakan Kulit. *Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. 1(2): 31-37.

- Herlambang A, 2006. Pencemaran Air dan Strategi Penanggulangannya. *Peneliti Pusat Teknologi Lingkungan*. 2(1): 21-25.
- Irhamni, Setiaty P, Edison P, Wirsal H, 2017. Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat secara Fitoremediasi. *Serambi Engineering*. 1(2): 75-84.
- Kaya G, Ozcan C, Yaman M, 2009. Flame Atomic Absorption Spectrometric Determination Of Pb, Cd, And Cu in *Pinus Nigra L.* and *Eriobotrya Japonica* Leaves Used as Biomonitors In Environmental Pollution. *Bulletin Environmental Contamination Toxicology*. 84: 191-196.
- Kristanto P, 2002. *Ekologi Industri*. Yogyakarta. Andi Yogyakarta.
- Krystofova O, Zitka O, Krizkova S, Hynek D, Shestivska V, Adam V, Hubalek V, Mackova M, Macek T, Zehnalek J, 2012. Accumulation of cadmium by transgenic tobacco plants (*Nicotiana tabacum L.*) carrying yeast metallothionein gene revealed by electrochemistry. *Int. J. Electrochem. Sci.* 7: 886-907.
- Levine M, 2013. Effect of pH on Heavy Metal Concentration. *Environment Contamination and Toxicology*. 90(1): 85-90.
- Liu XP, Peng KJ, Wang AG, Lian CL, Shen ZG, 2010. Cadmium accumulation and distribution in populations of *Phytolacca americana L.* and the role of transpiration. *Chemosphere*. 78: 1136-1141.
- Mutmainnah F, Arinafril, Suheryanto, 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) dengan menggunakan *Hydrilla verticillata* dan *Najas indica*. *Teknik Lingkungan*. 12(2): 90-103.
- Morel JL, Guillaume E, Nadezhda G, 2006. *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Netherland: Springer.
- Nirmal KR, Subhasish G, Indrani C, 2013. *Ludwigia adscendens* is a Nontoxic Antigonadal Herb - A Dose Dependent Study On Male Rats. *International Journal Of Pharma And Bio Sciences*. 4(2): 131 - 143.
- Nur F, 2013. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *Biogenesis*. 1(1): 74-83.
- Oh K, Tiehua C, Tao L, Hongyan C, 2014. Study on Application of Phytoremediation Technology in Management and Remediation of Contaminated Soils. *Clean Energy Technologies*. 2(3): 216-220.
- Oktavia Z, Budiyo, Nikie AYD, 2016. Pengaruh Variasi Lama Kontak Fitoremediasi Tanaman Kiambang (*S. molesta*) terhadap Kadar Cd pada Limbah Cair Home Industry Batik X Magelang. *Kesehatan Masyarakat*. 4(5): 2356-3346.
- Rachma NA, Rachmadiarti F, Kuntjoro S, 2014. Kemampuan Adaptasi Tumbuhan Tapak Dara Air (*Jussiaea repens*) terhadap Logam Berat Kadmium (Cd). *Lentera Bio*. 3(1): 13-19.
- Rachmadiarti F, Soehono LA, Utomo WH, Yanuwiyadi B, Fallowfield H, 2012. Resistance of Yellow Velvetleaf (*Limnocharis flava* (L.) Buch.) Exposed to Lead. *Journal of Applied Environment and Biological Sciences*. 2(6): 210-215.
- Rosyada A, 2016. Kemampuan Tapak Dara Air (*Ludwigia adscendens*) sebagai Fitoremediator dalam Menurunkan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Perairan yang Tercemar Lumpur Lapindo, Sidoarjo. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Salisbury FB dan Ross CW, 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid II* diterjemahkan oleh Dian R. Lukman dan Sumaryono. Bandung: ITB.