

## FITOREMEDIASI Pb DAN Zn DI SUNGAI SIAK OLEH *Ceratophyllum demersum*

**Budijono<sup>1</sup>, M. Hasbi<sup>1</sup>, Eko Purwanto<sup>2</sup>, Sampe Harahap<sup>2</sup> dan B. Sinaga<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Riau

<sup>2</sup>Dosen Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau

<sup>3</sup>Mahasiswa Jurusan MSP FPK Universitas Riau

### ABSTRACT

*Ceratophyllum demersum* is a type of drowning macrophytics that plays a key role in freshwater ecosystem and is commonly used in phytoremediation of heavy metals in water. This preliminary study focused on assessing the ability of *C. demersum* in accumulating heavy metals (Pb and Zn) into their body tissues from heavy metals contained in the water of the Siak River. This plant is grown in natural condition (S. Siak) at different water depth (0,5,5,1 m) with aquatic plant floating raft. Measurement of water samples and water retrieval as well as entire plant tissue per depth for calculated heavy metals at different time intervals (6, 12, 18, 24, 30 days). The results show that the Siak River has been contaminated with Pb and Zn and the concentration of Pb > Zn in *C. demersum* with each Pb of 0 - 1m water depth is 12.641 mg / kg, 15.659 mg / kg and 16.604 mg / kg of initial concentration of 0.158 mg / kg. The average absorption rate and Pb accumulation per depth are 78.86%, 97.92% and 103.89%, respectively. It was concluded that phytoremediation of heavy metal Pb in Siak River was effective with *C. demersum* up to a water depth of 1 m.

**Keywords:** Phytoremediation, Heavy Metal, *Ceratophyllum demersum*, Siak River

### PENDAHULUAN

Sungai Siak merupakan salah satu dari 4 sungai terbesar dalam kewenangan Provinsi Riau dengan panjang ± 300 km, lebar 100-150 m dan kedalaman 15-25 m melintasi 5 kabupaten (Bengkalis, Kampar, Rokan Hulu, Siak dan Pekanbaru) sepanjang 100 km. Sungai ini telah dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas, diantaranya perkebunan, pertanian, industri (minyak sawit, *plywood*, kimia, *pulp and paper*, kimia), perikanan, pasar, pelabuhan, pertokoan, transportasi air dan pertambangan galian C dan lain-lain.

Aktivitas-aktivitas tersebut menghasilkan buangan limbah cair secara langsung dan tidak langsung mengandung berbagai senyawa di dalamnya, sehingga saat ini telah mengakibatkan penurunan kualitas air dan keberlanjutan biota akuatik di dalamnya. Hasil pantauan pada 17 titik pantau dari hulu ke hilir Sungai Siak menunjukkan status D (Sungai tercemar berat) yang tergolong tercemar berat (BLH Provinsi Riau, 2010, 2013 dan 2015). Salah satu bahan pencemar di air adalah logam berat yang bersifat kumulatif dan karsinogenik yang tidak mudah hilang dalam air karena logam berat tidak dapat terurai secara biologis. Logam berat cenderung membentuk persekutuan bersama senyawa organik (Sumarjo, 2009).

Pb dan Zn adalah 2 jenis logam berat tertinggi di Sungai Siak, terutama pada ruas Sungai Kota Pekanbaru dengan kisaran Pb 0,024 – 0,059 mg/L dan Zn 0,016 - 0,058 mg/L (BLH Provinsi Riau, 2015). Dampak yang ditimbulkan oleh logam berat bagi biota akuatik yaitu terganggunya metabolisme tubuh akibat terhalangnya kerja enzim dalam proses fisiologis. Pb dan Zn dapat menumpuk dalam tubuh dan bersifat kronis yang akhirnya mengakibatkan kematian biota akuatik (Palar, 2008).

Fitoremediasi menjadi upaya menarik dan banyak dikaji untuk memulihkan atau membersihkan logam berat di air menggunakan tanaman akuatik. Tanaman akuatik



tenggelam memainkan peran kunci dalam ekosistem dangkal air tawar. Mereka menyediakan habitat dan perlindungan bagi ikan predator dan zooplankton, yang secara tidak langsung dapat menghambat kelimpahan fitoplankton (Jepessen *et al.*, 1998) dengan persaingan untuk nutrisi dan aktivitas alelopati (Scheffer *et al.*, 1993; Nakai *et al.*, 1999). Makrofita mengurangi proses resuspensi dan meningkatkan laju sedimentasi, yang meningkatkan transparansi air (Madsen *et al.*, 2001; Søndergaard *et al.*, 2003).

*Ceratophyllum demersum* sebagai tanaman akuatik tenggelam telah banyak diuji sebagai agen fitoremediator terhadap logam berat yang umum pada kondisi terkontrol (laboratorium) oleh berbagai peneliti luar dan dalam negeri. Namun pengujian pada lingkungan sungai yang lebih kompleks dan dinamis mempengaruhi kemampuan tanaman ini mengakumulasi logam berat masih sangat minim dilaporkan. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menilai kemampuan *C. demersum* dalam mengakumulasi logam berat Pb dan Zn di perairan Sungai Siak.

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei – September 2017 di Sungai Siak Kota Pekanbaru, Provinsi Riau. Analisis logam berat (Pb dan Zn) dan TSS di Laboratorium Perpaduan Kelutan FPK Universitas Riau. Bahan yang digunakan adalah sampel air Sungai Siak, tanaman *C demersum*, HNO<sub>3</sub>, botol plastik bekas 1500 ml, tali nilon kantong plastik, kertas label, spidol, dan alat tulis. Diantara alat yang digunakan adalah timbangan analitik 0,0001 g, pH meter, *current drauge*, *coolbox*, *stopwatch*, termometer raksa, AAS merk Perkin Elmer dan *secchi disk*.

Metode eksperimen digunakan untuk mengujikan tanaman akuatik tenggelam (*C. demersum*) yang diapung dengan satu rakit apung. Rakit apung berbentuk persegi empat dengan ukuran 5 m (P) x 2.5 m (L) dengan pelampung botol bekas 1500 mL di tiap sisi petakan. Di dalam rakit apung tersebut dibagi menjadi 10 petakan dengan ukuran 1 x 1 m<sup>2</sup> sehingga diperoleh 2 deret petakan *C. demersum*. Di dalam masing-masing petakan diberi tali nilon dengan jarak 25 cm di tiap sisi panjang dan lebar petakan yang berfungsi untuk menggantung tanaman akuatik tersebut. Dalam tiap petakan terdapat 4 (empat) tali yang digantungkan kedalam air dengan panjang 1,5 m yang diberi pemberat. Masing-masing tali tersebut diikatkan tanaman tersebut pada strata kedalaman air yaitu: 0 m (bagian permukaan air); 0,5 m dan 1 m. Tanaman yang diikatkan di tiap tali dalam tiap petakan sebanyak 50 g yang telah diaklimatisasi. Tanaman ini dikumpulkan dari genangan air di lingkungan Universitas Riau sebanyak 5 kg dengan cara *hand collecting*, kemudian dicuci bersih dan dimasukkan kedalam kolam terpal selama ± 1,5 bulan dengan pergantian tiap 3 hari sekali. Seminggu sebelum digunakan, 50 g tanaman (daun dan batang) diambil secara random dari kolam terpal untuk diketahui logam berat awal.

Pengambilan sampel tanaman selanjutnya dilakukan pada tiap strata kedalaman air pada waktu 6, 12, 18, 24 dan 30 hari sebanyak 50 g secara random pada tiap tali dalam petakan, kemudian dimasukkan kedalam kantong plastik secara terpisah dan dilabel sesuai kedalaman air yang ditanami tanaman tersebut untuk dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C selama 2 hari dan diambil 1 g untuk proses destruksi dan dilanjutkan analisis logam Pb dan Zn menggunakan AAS Perkin Elmer pada panjang gelombang 217 nm untuk logam Pb dan pada panjang gelombang 213,9 nm untuk logam Zn. Hasil pengukuran AAS yang diperoleh, dihitung menggunakan persamaan, yaitu:  $Y = a + bx$ .

Data kualitas air yang meliputi suhu, kecerahan, kecepatan arus, pH, DO, TSS dan logam berat (Pb dan Zn) dalam air dan *C. demersum* disajikan dalam bentuk tabel dan grafik kemudian dibahas secara deskriptif. Sebagian data kualitas air kecuali kecerahan dan kecepatan arus dibandingkan dengan baku mutu air (PP.82/2001).



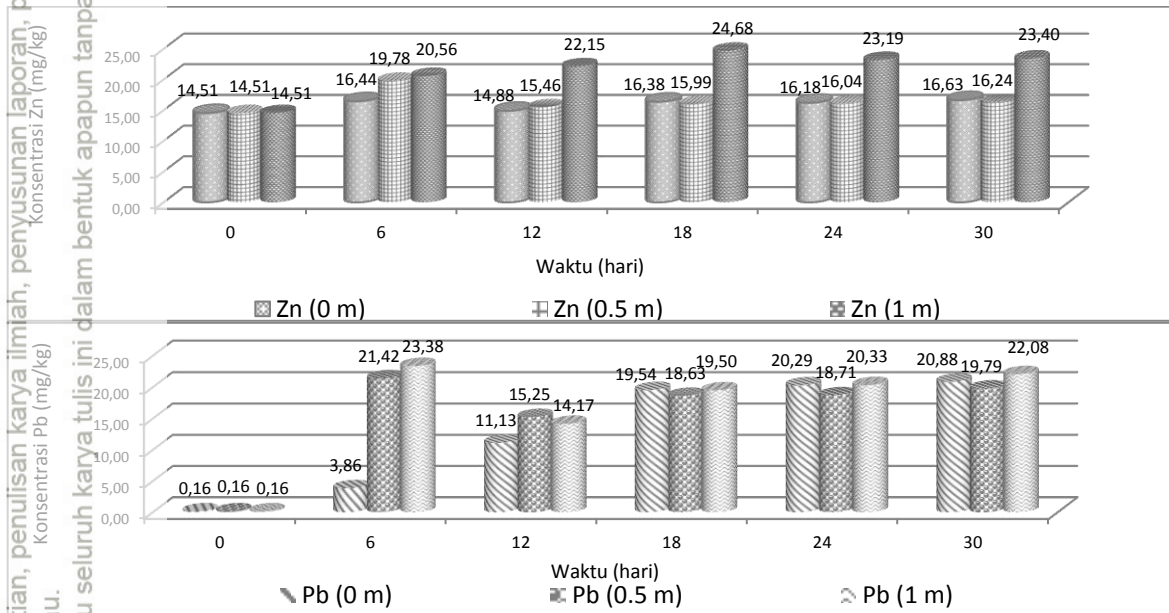
**HASIL**

**Kualitas air dan logam berat (Pb dan Zn)**

Kualitas air Sungai Siak yang diperoleh menunjukkan kisaran kecerahan 20.5 – 37 cm, kecepatan arus 11 – 13 cm/detik, suhu 26 – 29 °C, pH 5.19 – 6.39, TSS 34 – 60 mg/L, DO 4.01 – 4.19 mg/L, Pb 0.2110 – 0.7870 mg/L dan Zn 0.1320 – 0.2785 mg/L. Konsentrasi rerata Pb 0.5426 mg/L lebih tinggi dari Zn 0.2145 mg/L.

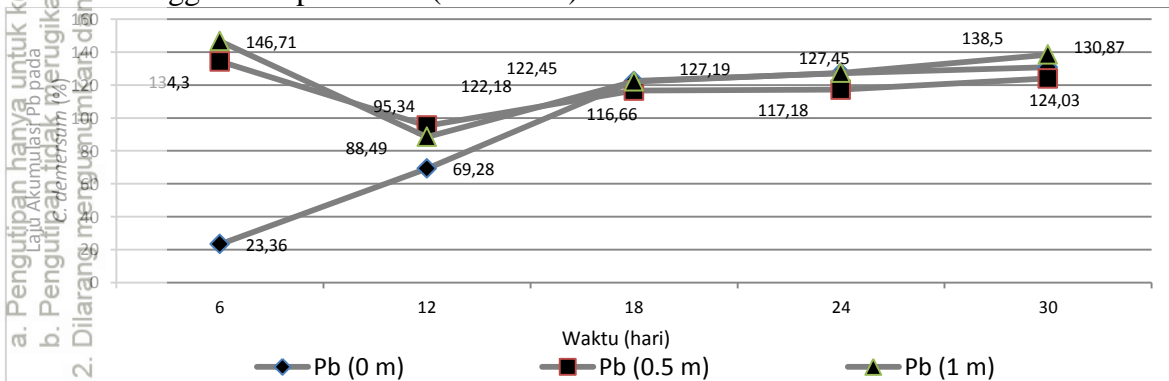
**Penyerapan dan Akumulasi Logam Berat pada *C. demersum***

Sebelum digunakan, *C. demersum* memiliki konsentrasi Zn (14.513 mg/kg) > Pb (0.158 mg/kg). Setelah sebulan ditanam kedalam air pada strata kedalaman air (0; 0.5; 1 m) mengalami rata-rata peningkatan konsentrasinya secara berurutan untuk Zn menjadi 15.837 mg/kg, 16.337 mg/kg dan 21.417 mg/kg. Kondisi serupa juga berlaku untuk Pb menjadi 0.264 mg/kg, 15.659 mg/kg dan 16.604 mg/kg (Gambar 1).

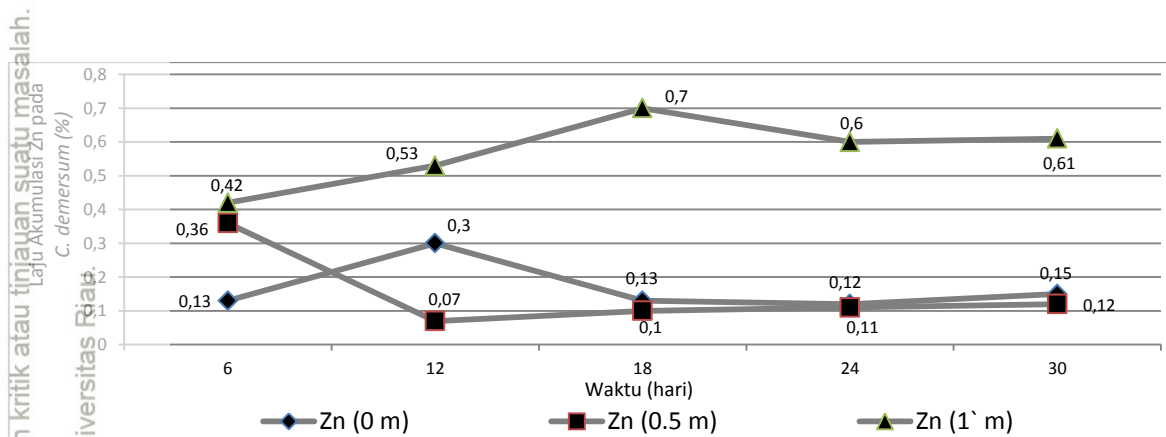


Gambar 1. Konsentrasi Zn dan Pb dalam Tanaman *C. demersum*

Penyerapan dan akumulasi logam berat Pb oleh *C. demersum* pada bagian permukaan air (0 m) semakin meningkat secara linier sejalan dengan waktu pengamatan dari 23.36% (hari ke-6) menjadi 124.03% (hari ke-30), sementara pada strata 0.5 dan 1 m pada hari ke-6 secara berurutan, yaitu 134.30% dan 146.71%. Sebaliknya laju akumulasi tanaman ini terhadap Zn jauh lebih rendah (< 1%) dengan laju akumulasi yang terus meningkat sejalan dengan waktu, terutama pada strata kedalaman air 1 m dibandingkan strata 0 – 0.5 m yang hanya tertinggi dicapai pada hari ke-6 dan terus menurun hingga akhir penelitian (Gambar 2).







Gambar 2. Laju Penyerapan dan Akumulasi Pb dan Zn oleh Tanaman *C. demersum*

### PEMBAHASAN

Kecerahan air Sungai Siak tergolong rendah karena dipengaruhi oleh air gambut dengan warna coklat kehitaman dan partikel tersuspensi di atas baku mutu air, namun hasil dapat mendukung kehidupan *C. demersum* yang ditanam melebihi batas kecerahan air yang terukur ini. Kecepatan arus saat penelitian tergolong rendah karena tidak dipengaruhi oleh kondisi hujan yang dapat meningkatkan aliran air sungai. Suhu air berada di kisaran normal untuk kehidupan biota akuatik, termasuk tanaman ini, bahkan tanaman ini mampu hidup pada kisaran suhu 10–19°C (Al-Ubaidy dan Rasheed, 2015) dan 27–34°C (Suryadi, Apriani dan Kadaria, 2016). Tanaman ini mampu tumbuh pada lingkungan air bersifat asam (pH rendah) yang berbeda dari hasil penelitian Al-Ubaidy dan Rasheed (2015) dengan kisaran pH 7–7.3. Di air, konsentrasi logam berat Pb > Zn dan keduanya telah melebihi baku mutu air (PP.82/2001), yaitu Pb 0,03 mg/L dan Zn 0,05 mg/L.

Tanaman yang diuji ini mampu menyerap unsur hara dalam air sehingga dapat bertahan hidup pada media yang tercemar Pb dan Zn. Hal ini karena memiliki beberapa mekanisme utama dalam menghadapi cekaman logam berat seperti halnya *Elodia canadensis*, yaitu: (1) penanggulangan (ameliorasi), tumbuhan mengabsorpsi ion tersebut, tetapi bertindak demikian rupa untuk meminimumkan pengaruhnya dengan cara meliputi pembentukan kelat (chelatin), pengenceran, lokalisasi atau bahkan ekskresi; dan (2) ameliorasi, tumbuhan dapat mengembangkan sistem metabolis yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik yang potensial dengan molekul enzim (Fitter & Hay, 1992 dalam Yuliani dan Purnomo, 2012).

Dari penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa terjadi penyerapan dan akumulasi logam berat Pb dan Zn oleh *C. demersum* dari konsentrasi awal. Konsentrasi Pb karena dipengaruhi Zn awal yang tinggi dalam tanaman ini. Penyerapan dan akumulasi Zn terbesar pada strata 1 m dari hari ke 0-18 dan cenderung stabil hingga hari ke-30 dibandingkan pada strata 0 m dan 0.5 m. Hal ini berkaitan dengan peran Zn sebagai unsur berat esensial untuk pertumbuhan *C. demersum* sehingga semakin banyak Zn yang diakumulasi dapat meningkatkan pembentukan klorofil untuk proses fotosintesis, dengan intensitas cahaya pada kedalaman 1 m sudah sangat rendah akibat kecerahan air Sungai Siak hanya mencapai 37 cm. Sebaliknya penyerapan dan akumulasi Pb oleh tanaman ini sesungguhnya adalah yang terbesar dibandingkan Zn ditinjau dari konsentrasi awal dalam tanaman. Pada strata 0.5 m dan 1 m, penyerapan dan akumulasi Pb terbesar pada hari ke-6 dan cenderung meningkat seiring bertambah waktu pada kondisi kecerahan air yang sama. Konsentrasi Pb yang terus meningkat ini karena Pb bukan logam berat esensial. Menurut Kabata-Pendias & Pendias (1984 dalam Saygideger *et al.*, 2004), timbal (Pb) belum terbukti penting dalam metabolisme tumbuhan, meskipun terjadi secara alami di semua tumbuhan.



Berdasarkan penyerapan dan akumulasi Zn yang masih berlangsung hingga hari ke-10 dan tertinggi pada strata 1 m menunjukkan kehadiran Pb baik di air dan dalam tanaman ini mungkin memberikan pengaruh kecil terhadap proses fotosintesis, ketersediaan unsur hara di air dan penyerapan unsur hara tersebut ke bagian tanaman ini sehingga diperlukan pengamatan lanjutan. Hal ini disebabkan kehadiran timbal (Pb) mengambil bagian terhadap terganggunya proses fotosintesis karena terganggunya enzim yang berperan terhadap biosintesis klorofil yaitu asam aminolevulinic (ALAD) yang mengkatalisis pembentukan porphobilinogen (Singh, 1995 dalam Saygideger *et al.*, 2004), sehingga kelebihan logam berat pada tumbuhan berefek terjadinya penghambatan biosintesis klorofil (Miranda dan Hangoan, 1996 dalam Saygideger *et al.*, 2004). Logam berat Pb dilaporkan mengganggu struktur grana dari kloroplas (Mishra & dubey, 2005a). Pembentukan struktur kloroplas dipengaruhi oleh nutrisi mineral seperti Mg dan Fe. Masuknya logam berat secara berlebihan pada tumbuhan seperti Pb akan mengurangi asupan Mg dan Fe sehingga menyebabkan perubahan pada volume dan jumlah kloroplas (Kovacs, 1992 dalam Sembiring dan Sulistyawati, 2006). Menurut Mishra dan Dubey (2005b), Pb pada media tanam yang berlebihan dapat menyebabkan terbatasnya jumlah unsur hara yang dibutuhkan dalam jaringan tumbuhan yang menyebabkan perkembangan dan pertumbuhan tumbuhan akan menurun. Ion-ion hara kation seperti  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , dan  $Fe^{3+}$ , serta anion  $NO_3^-$  dihambat penyerapannya ke akar tanaman oleh Pb.

Secara umum, penyerapan dan akumulasi kedua logam berat tersebut oleh tanaman ini cukup tinggi di perairan Sungai Siak yang memiliki tingkat kecerahan air dan pH yang rendah serta warna air coklat kehitaman. Hasil serapan dan akumulasi Pb oleh *C. demersum* dari penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian pada tanaman sama yang mampu menyerap Pb sebesar 10.7 mg/kg atau 9.3 mg/kg pada *Potamogeton natans* dan lebih rendah pada *Elodea canadensis* yang mencapai 27.4 mg/kg oleh Osmolovskaya dan Kurilenko (2005). Laju penyerapan dan akumulasi kedua logam yang cukup tinggi ini dipengaruhi oleh pH rendah. Hal ini merujuk akumulasi As oleh *C. demersum* tertinggi pada pH 5 dan menurun jika nilai pH meningkat (Khang, Hatayama dan Inoeu, 2012).

Pada lingkungan yang banyak mengandung logam berat tumbuhan membuat regulator dan tumbuhan tersebut mengadakan ekspresi gen untuk membentuk senyawa pengikat yang disebut fitokhelatin. Fitokhelatin merupakan peptide yang mengandung 2-8 macam amino sistem di pusat molekul serta suatu asam glutamate dan sebagai glisin pada ujung yang berlawanan. Fitokhelatin dibentuk di dalam inti yang kemudian melewati endoplasma (RE), aparatus golgi, vasikula sekretori untuk sampai ke permukaan sel. Fitokelathin ini banyak mengandung gugus SH-, S+, dan RS-. Gugus SH- ini terdapat dalam asam amino system yang merupakan senyawa pembangun fitokelatin. Fitokelatin akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein bertemu dengan logam berat dan membentuk senyawa kompleks, sehingga logam berat akan terbawa menuju jaringan tumbuhan (Salisbury & Ross, 1995 dalam Novita dan Hidayat, 2012). Penyerapan dan akumulasi kedua logam berat oleh *C. demersum* melalui permukaan tubuhnya (batang dan daun), karena memiliki kutikula sangat tipis yang memudahkan pengambilan logam dari air (Prasad, 2008). Proses penyerapan logam berat oleh tumbuhan air sebagian besar merupakan proses pasif, dimana dalam proses ini tidak memerlukan ATP tetapi sebagian kecil terlibat dalam metabolisme sel (Connel dan Salisbury, 1995 dalam Novita dkk., 2012).

Penyerapan dan akumulasi kedua logam dalam tanaman ini tidak menurunkan kedua logam pada Sungai Siak sebagai media tanam karena dilakukan langsung pada perairan mengalir alami yang terus menerus menerima masukan logam ini dari berbagai sumber *non point sources*. Bahkan kondisi serupa juga ditemukan dalam penelitian laboratorium yaitu penyerapan Pb oleh *Elodea canadensis* yang tidak sebanding dengan



penurunan Pb pada media tanamnya oleh Novita dkk. (2012), yang disebabkan logam berat yang sudah masuk ke dalam tubuh tumbuhan akan diekskresi dengan cara menggugurkan daunnya yang sudah tua sehingga dapat mengurangi konsentrasi logam Pb (Priyanto, 2008 dalam Novita dkk., 2012) atau karena terjadi pengendapan Pb yang berupa molekul garam dalam air jika pH pada media bersifat basa (Darmono, 1995).

### SIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Sungai Siak telah mengalami pencemaran logam berat Pb dan Zn; (2) terdapat perbedaan konsentrasi logam berat (Pb dan Zn) dalam *C. demersum* berdasarkan strata kedalaman air berbeda dengan konsentrasi Zn tertinggi seiring waktu pada strata 1 m dan Pb tertinggi pada strata 0.5 m dan 1 m; dan (3) terdapat perbedaan penyerapan dan akumulasi logam berat (Pb dan Zn) oleh *C. demersum* berdasarkan strata kedalaman air berbeda dengan penyerapan Pb tertinggi seiring waktu pada strata 0.5 dan 1 m.

### DAFTAR PUSTAKA

- A1-Ubaidy, H.J. and K.A. Rasheed. 2015. Phytoremediation of Cadmium in river water by *Ceratophyllum demersum*. *World J Exp Biosci*, 3: 14-17.
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Provinsi Riau. 2005. Studi Konservasi DAS Siak Tahun 2005. Bapedal Provinsi Riau, Pekanbaru.
- Badan Lingkungan Hidup Provinsi Riau. 2010. Laporan Pemantauan Kualitas Air Sungai Siak Tahun 2010. BLH Provinsi Riau, Pekanbaru.
- Badan Lingkungan Hidup Provinsi Riau. 2013. Laporan Pemantauan Kualitas Air Sungai Siak Tahun 2013. BLH Provinsi Riau, Pekanbaru.
- Badan Lingkungan Hidup Provinsi Riau. 2014. Laporan Pemantauan Kualitas Air Sungai Kampar Tahun 2014. BLH Provinsi Riau, Pekanbaru.
- Badan Lingkungan Hidup Provinsi Riau. 2015. Laporan Pemantauan Kualitas Air Sungai Siak Tahun 2015. BLH Provinsi Riau, Pekanbaru.
- Conner, D.W. dan G.J. Miller. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. UI Press, Jakarta.
- Darmono. 1995. Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. UI, Bogor.
- Devi, I. Apriani dan U. Kadaria. 2016. Uji Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) Sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. Program Studi Teknik Lingkungan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjung Pura, Pontianak. <https://media.neliti.com/media/publications/191710-ID-none.pdf>. Diakses 16 Nopember 2017. Pukul 10.15 WIB.
- Harada, H.V., M. Hatayama dan C. Inoue. 2012. Arsenic accumulation by aquatic macrophyte coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) exposed to arsenite, and the effect of iron on the uptake of arsenite and arsenate. *Environmental and Experimental Botany*, 83: 47-52.
- Harada, S., I. Inoue, M. Hosomi, and A. Murakami. 1999. Growth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophytes. *Water Sci. Technol.* 39: 47-53.
- Novita, Yuliani dan T. Purnomo, 2012. Penyerapan Logam Timbal (Pb) dan Kadar Klorofil *Elodea canadensis* pada Limbah Cair Pabrik Pulp dan Kertas *LenteraBio*, 1(1):1-8
- Prasad, J.D., P.A. Chambers, W.F. James, E.W. Koch and D.F. Westlake. 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submerged macrophytes. *Hydrobiologia*, 444: 71-84.
- Priyanto, S dan R.S. Dubey. 2005a. Heavy Metal Toxicity Induced Alterations in Photosynthetic Metabolism in Plants. India: Banaras Hindu University.





Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau

- Diakses dalam <http://www.psi.cz/ftp/ola/Handbook%20of%20Photosynthesis/DK3138ch44.pdf>. pada tanggal 23 September 2016.
- Mishra, S dan R.S. Dubey. 2005b. Toxic Metal on Plants. India : Banaras Hindu University. Diakses dalam <http://www.scielo.br/..a04v17n1.pdf>. Pada tanggal 15 Januari 2012.
- Smolovskaya, N. dan Kurilenko, V. 2005. Macrophytes in phytoremediation of heavy metal contaminated water and sediments in urban inland ponds, Geophysical Research Abstracts, (Online), Vol. 7. diakses dalam <http://meetings.copernicus.org/www/cosis.net/abstracts/EGU05-J-10510.pdf>. Pada tanggal 19 April 2011.
- Palar, H. 2008. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta, Jakarta.
- Prasa, M.N.V. 2008. Aquatic Plants for Phytotechnology. Diakses dalam <http://sumarsih07.files.wordpress.com/2008/09/aquatic-plant.pdf>. Pada tanggal 26 Januari 2015.
- Saygıteger, S., D. Muhittin, dan K. Gonca. 2004. Effect of Lead and pH on Lead Uptake, Chlorophyll and Nitrogen Content of *Typha latifolia* L. and *Ceratophyllum demersum* L. International Journal of Agriculture and Biology. Diakses dalam [http://www.fspublishers.org/ijab/past-issue/IJABVOL\\_6\\_NO\\_1/39.pdf](http://www.fspublishers.org/ijab/past-issue/IJABVOL_6_NO_1/39.pdf). Pada tanggal 13 Maret 2017.
- Scheffer, M., S.H. Hosper, M.L. Meijer, B. Moss and E. Jeppesen. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends Ecol. Evol.* 8: 275-279.
- Sembiring, E. dan E. Sulistyawati. 2006. Akumulasi Pb dan pengaruhnya pada kondisi daun *Swietenia macrophylla* King. Penelitian Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati (SITH), Institut Teknologi Bandung. Diakses dalam [http://www.sith.itb.ac.id/profile/databuendah/Publications/7.%20Ebinthalina\\_IATPI2006.pdf](http://www.sith.itb.ac.id/profile/databuendah/Publications/7.%20Ebinthalina_IATPI2006.pdf). Pada tanggal 13 Maret 2016.
- Sondergaard, M., J.P. Jensen and E. Jeppesen. 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506-509: 135-145
- Sumardjo, D. 2009. Pengantar Kimia. Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta.

