

Bioakumulasi Timbal (Pb) oleh *Hydrilla verticillata* L.f. Royle di Danau Rawapening, Ambarawa Semarang

¹Wildan Suyuti Mustofa Marthana, ²Tri Retnaningsih Soeprbowati, ²Munifatul Izzati

¹Mahasiswa Magister Biologi Undip

²Jurusan Biologi FSM Undip

Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Matematika UNDIP

ABSTRACT

Rawapening lake is the one of national priority 2010 – 2014 that must get safe because the worse condition from eutrofication and water degradation quality. Eutrofication of Rawapening lake caused by nutrients/organic compounds enrichment naturally or anthropogenically, that signed by higher concentration of Nitrogene and Phosphate that trigger hydrilla blooming. The blooming of hydrilla disturb Rawapening Lake functions like flood bender, fisheries and tourism. However in another side this plants can be used to heavy metal remediation such as Pb as act of human activities like farming, fisheries, tourism, and home industry around the lake. There were many researchs to explore hydrilla potention for remediation, but still laboratory scale with under control condition. Because of these, it's required to do a research to find out fitoremediation potention of hydrilla to remediate heavy metal Pb in Rawapening Lake water and sediment (In – situ) to study its Pb bioaccumulation. Research was start in August – October 2013 used hydrilla in three weeks. That plants was planted in pond 1 m³. It was planted one plant each pond with 100 gram fresh weight and observed each week to calculated the Pb concentration. The parameter was observed is BAF (bioaccumulation factor) Pb sediment. The result is hydrilla has highest BAF value in week two with 97,90%. Hydrilla has potention to remediate heavy metal Pb that contain in sediment and it can harvested in two weeks.

Keywords : Eutrofication, Rawapening Lake, hydrilla, bioaccumulation, fitoremediation.

ABSTRAK

Danau Rawapening merupakan salah satu danau prioritas nasional 2010 – 2014 yang perlu diselamatkan karena kondisinya yang sudah sangat memprihatinkan akibat adanya proses eutrofikasi dan degradasi kualitas air. Kondisi eutrofik Danau Rawapening disebabkan oleh pengkayaan unsur hara karena pasokan bahan organik secara alami maupun yang berasal dari aktivitas manusia, yang ditandai dengan tingginya konsentrasi total Nitrogen dan Posfat sehingga memacu pertumbuhan yang tidak terkontrol / blooming hydrilla. Blooming hydrilla mengganggu fungsi Danau Rawapening sebagai pengendali banjir, perikanan dan kegiatan wisata. Namun di sisi lain bisa jadi mampu meremediasi logam berat Pb dengan cara mengakumulasi sebagai akibat dari aktivitas manusia yang meliputi pertanian, peternakan, industri pariwisata, dan industri perumahan. Sudah ada penelitian – penelitian yang dilakukan untuk mengeksplorasi potensi hydrilla untuk remediasi, namun masih dalam skala laboratorium dengan kondisi lingkungan yang terkontrol. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai potensi fitoremediasi hydrilla yang ditanam di Danau Rawapening (in - situ) untuk mengkaji bioakumulasi Pb pada hydrilla di Danau Rawapening. Penelitian dimulai bulan Agustus – Oktober 2013 menggunakan 1 jenis tanaman yaitu hydrilla dan lama waktu tanam 3 minggu. Tanaman di tanam dengan metode mesocosm yaitu ditanam di dalam plot ukuran 1m³ dengan kepadatan tiap plot yaitu 1 individu dengan berat basah 100 gram dan diamati tiap minggu untuk dihitung kandungan logam Pb. Parameter yang diamati adalah kandungan logam berat Pb sedimen dan akar hydrilla untuk memperoleh nilai BAF (bioaccumulation factor). Hasilnya adalah nilai bioaccumulation factor (BAF) Pb sedimen paling tinggi oeh hydrilla adalah minggu kedua sebesar 97,90%. Hydrilla memiliki potensi untuk mengurangi pencemaran logam berat Pb yang terkandung di dalam sedimen dan dapat dipanen dalam waktu 2 minggu.

Kata Kunci : Eutrofikasi, Danau Rawapening, hydrilla, bioakumulasi, fitoremediasi

PENDAHULUAN

Danau Rawapening merupakan danau semi alami yang terletak di Kabupaten Semarang, Propinsi Jawa Tengah. Secara geografis berada pada $7^{\circ}40' \text{ LS} - 7^{\circ}30' \text{ LS}$ dan $110^{\circ}24'46'' \text{ BT} - 110^{\circ}49'06'' \text{ BT}$ dan terletak di wilayah Jratunseluna (Jragung, Tuntang, Serang, Lusi, dan Juwana) (Permen PU No.11A/PRT/M/2006). Rawapening merupakan salah satu dari 15 danau prioritas yang perlu diselamatkan karena kondisinya yang sudah memprihatinkan. Hal tersebut karena penurunan kualitas perairan (Soeprbowati, 2011). Danau Rawapening dapat digolongkan sebagai ekosistem perairan tertutup karena memiliki 9 inlet namun hanya memiliki 1 outlet yaitu Sungai Tuntang, sehingga waktu tinggal air danau ini relatif lebih lama dibandingkan danau lainnya (Sulistiyawati dkk., 2006).

Danau Rawapening dimanfaatkan oleh pemerintah dan masyarakat diantaranya adalah sebagai reservoir atau tempat penampungan masa air untuk berbagai keperluan, antara lain sebagai sumber air minum, sumber keanekaragaman hayati, pembangkit listrik (PLTA), pengendali banjir, perikanan, irigasi pertanian, penampung air saat musim hujan dan kegiatan wisata (Budihardjo dan Huboyo, 2007; Prayitno, 2013; Sasongko dkk., 2013)

Namun kenyataan tersebut harus dibayar mahal oleh kondisi perairan yang saat ini sangat memprihatinkan. Pencemaran perairan yang diakibatkan oleh kegiatan pertanian, kegiatan jasa pariwisata dan budidaya perikanan telah memacu peningkatan kandungan bahan organik yang pada akhirnya memacu proses penyuburan perairan (eutrofikasi).

Berdasarkan beberapa penelitian yang dilakukan, Danau Rawapening saat ini telah mengalami masalah kesuburan perairan atau eutrofikasi dengan kategori perairan eutrofik menuju hipertrofik. Eutrofikasi merupakan proses pengayaan unsur hara atau produktivitas perairan karena pasokan bahan organik yang ditandai dengan tingginya konsentrasi total-P, total-N, dan klorofil-a, sehingga memacu pertumbuhan yang tidak terkontrol dari tumbuhan air (Reddy, 2005). Akibat yang ditimbulkan dari eutrofikasi salah satunya adalah perkembangbiakan tumbuhan air seperti hydrilla yang tidak terkendali sehingga mengganggu ekosistem di danau tersebut.

Di lain sisi, perkembangbiakan hydrilla berpotensi untuk digunakan dalam proses fitoremediasi untuk mengurangi konsentrasi logam berat yang terkandung di perairan Danau Rawapening untuk meningkatkan kualitas perairannya. Salah satu logam yang mencemari lingkungan Danau Rawapening adalah Pb yang bersifat karsinogenik (memicu sel kanker) apabila masuk dan diakumulasi di dalam tubuh manusia. Pencemaran logam berat Pb di Danau Rawapening ini didukung dengan ditemukannya di dalam sedimen dalam penelitian yang dilakukan Soeprbowati dkk., (2005). Hal itu didukung dengan pengujian laboratorium oleh Badan Lingkungan Hidup Jawa Tengah (2010) juga menunjukkan adanya kandungan logam berat Pb pada perairan Danau Rawapening. Penelitian lain oleh Soeprbowati (2011) menunjukkan bahwa di 2 wilayah Rawapening yaitu perairan di daerah Asinan mengandung 0,155 mg/L, sedangkan Dangkel mengandung 0,315 mg/L. Penelitian yang dilakukan Hidayah, dkk., (2012), kawasan danau Rawapening menunjukkan adanya kandungan logam berat Pb perairan $<0,03\text{mg/L}$ dan sedimen $<0,03\text{mg/L}$.

Apabila tidak ada tindakan untuk mengurangi kandungan logam berat Pb, maka lingkungan Danau Rawapening akan mengalami peningkatan akumulasi logam berat Pb yang menyebabkan semakin turunnya kualitas perairannya yang mengancam kesehatan apabila masuk dan terakumulasi oleh manusia atau organisme lainnya. Oleh karena itu, perlu diadakannya penelitian untuk mengkaji potensi hydrilla dalam memperbaiki kualitas perairan di lingkungan Danau Rawapening yang sudah tercemar logam berat Pb. Kemampuan hydrilla dalam meremediasi logam berat Pb dapat dilihat dari nilai *bioaccumulation factor* (BAF). *Bioaccumulation factor* adalah suatu jenis perhitungan/perkiraan di konsentrasi total zat kimia pada media air atau sedimen di bawah kondisi lapangan (Arnot dan Gobas, 2006). Beberapa penelitian mengenai pemanfaatan tumbuhan air hydrilla yang ada di Rawapening seperti pemanfaatan pada bidang remediasi, hydrilla digunakan untuk menurunkan kandungan limbah pupuk yang berupa N dan P (Ali, 2011) dan pemanfaatan hydrilla dan eceng gondok sebagai pembenah tanah / *soil conditioner* untuk memperbaiki struktur tanah (Mustofa, dkk.,

2012). Namun dari penelitian – penelitian tersebut untuk remediasi logam berat Pb yang ada di belum ada penelitian hydrilla yang digunakan Rawapening.

Tabel 1. Daftar penelitian pemanfaatan hydrilla

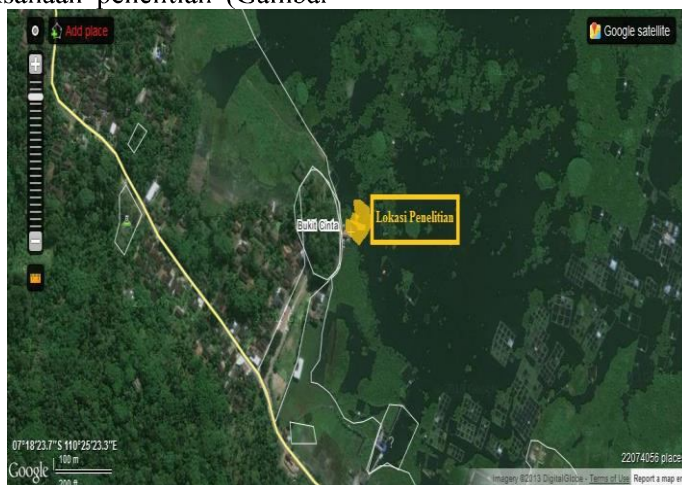
Tahun	Author	Pemanfaatan Hydrilla	Hasil
2011	Saham Ali Ali D., Munifatul Izzati, dan Tri Retnaningsih Soeprobowati	The Role of Aquatic Plants <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Hydrilla verticillata</i> , and <i>Ceratophyllum demersum</i> In Reducing Fertilizer Concentration in Aquatic Ecosystem	<i>E. crassipes</i> memiliki kemampuan paling tinggi dalam mereduksi nutrient posfat dan nitrat.
2012	Wildan Suyuti Mustofa, Munifatul Izzati, dan Endang Saptiningsih	Interaksi antara Pembenh Tanah dari <i>Hydrilla verticillata</i> Royle. dan <i>Salvinia molesta</i> Mitchell. terhadap Kapasitas Lapang Tanah Pasir dan Tanah Liat serta Pertumbuhan Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	Penambahan pembenh tanah dari <i>H.verticillata</i> dan <i>S. molesta</i> meningkatkan kapasitas lapang pada tanah pasir dan liat. Penambahan pembenh tanah dari <i>H. verticillata</i> dan <i>S. molesta</i> juga meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah dan berat kering tanaman kacang hijau pada tanah pasir dan liat.

METODOLOGI

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Kebon Dowo, Danau Rawa Pening, Semarang yang sebelumnya telah dilakukan prapenelitian untuk menentukan lokasi yang tercemar logam berat Pb serta sebagai tempat pelaksanaan penelitian (Gambar

1) dan untuk analisis logam berat dan klorofil dilakukan di Laboratorium Wahana Lingkungan, Semarang dan Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan, Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, serta dilaksanakan pada bulan Agustus - Oktober 2013.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Danau Rawapening, Desa Kebon Dowo, Ambarawa, Semarang

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah plastik UV, bambu, ekman grab, kantong plastik, timbangan manual merk Fujiko, timbangan analitik, label, pH meter, DO meter, tabung reaksi, gelas ukur, pipet tetes, mortar, GPS dan spektrofotometer.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *H. verticillata*, air dan sedimen yang dikoleksi dari Rawapening, aseton PA, alkohol.

Cara Kerja

Prasurvei

Prasurvei dilakukan dengan tujuan untuk menentukan lokasi penelitian. Penentuan lokasi dengan cara mengambil sampel sedimen menggunakan ekman grab dan pengambilan air dengan ember sebanyak 3 kali dan dianalisis kandungan logam berat Pb-nya.

Aklimatisasi

Hydrilla diambil dari Rawapening dengan berat basah yang sama dan diaklimatisasi dengan ditanam di media air yang bebas dari logam berat Pb selama 2 minggu.

Mesocosm

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mesocosm* yaitu percobaan yang dilakukan di

luar (*outdoor*) / in-situ dan dibatasi dengan tetap menggunakan kondisi alam dan memperhatikan aspek-aspek tertentu (Odum, 1984 di dalam Thaysen, 2013; Foekema, 2014). Pendekatan *mesocosm* dengan membuat plot ukuran 1x1x1 meter menggunakan plastic UV dan bambu sebagai tiang pancangnya. Setiap plot ditanami satu jenis tanaman air. Tanaman yang digunakan adalah hydrilla dan eceng gondok. Masing – masing plot dibuat dengan 3 kali pengulangan. Sebelum ditanami, diambil sampel sedimen dan air untuk dianalisis kandungan logam berat Pb serta dilakukan pengukuran faktor lingkungan, seperti DO, pH, salinitas, dan suhu awal.

Analisis kandungan logam

Pengukuran kandungan logam Pb dilakukan di laboratorium anorganik menggunakan metode uji AAS, metode ini telah dilakukan dalam menganalisis logam (Handayani, 2004). Secara teknis sebagai berikut : Hydrilla yang akan ditanam beserta air dan sedimen diujikan kandungan logam berat Pb sebagai kontrol. Selama penelitian berlangsung, kedua jenis tanaman beserta air dan sedimen di masing-masing plot diambil untuk diujikan logam berat Pb tiap minggu (minggu I, minggu II, minggu III).

Tabel 2. Variabel penelitian

No	Tujuan	Hipotesis	Variabel Data	Analisis/Sumber Data
1	Mengkaji konsentrasi logam berat Pb pada perairan dan sedimen di Danau Rawapening.	Logam Pb merupakan logam berat dengan konsentrasi tinggi yang mencemari perairan Danau Rawapening	Pb air Pb sedimen Pb akar	Metode uji AAS (Handayani, 2006)
2	Membandingkan bioakumulasi Pb pada hydrilla.	Bioaccumulation faktor (BAF) hydrilla mengalami peningkatan dan berbeda dari waktu ke waktu	Bioaccumulation factor (BAF)	$F_B \% = \frac{C_m \times 100}{C_s}$ Keterangan : $F_B \% =$ Bioaccumulation factor $C_m =$ konsentrasi logam berat Pb pada hydrilla $C_s =$ konsentrasi logam berat Pb di dalam substrat Gabriela dkk., (2010)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prapenelitian

Untuk mengetahui kandungan logam berat yang terkandung dalam sedimen di Danau Rawapening, maka dilakukan prapenelitian dengan mengambil sedimen dari desa

Kebondowo. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kandungan logam di dalam sedimen paling tinggi juga Pb = 3,208 ppm dan Cu = 2,032 ppm (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil analisis logam berat dari sedimen Danau Rawapening (Prapenelitian)

Logam berat	Konsentrasi (ppm)	ISQG Low (ppm)	ISQG high (ppm)
Timbal (Pb)	3,208	50	220
Kadmium (Cd)	1,653	1,5	10
Khromium (Cr)	1,880	80	370
Tembaga (Cu)	2,032	65	270

Berdasarkan hasil analisis logam berat di dalam sedimen di Danau Rawa Pening, logam Pb termasuk logam berat dengan konsentrasi paling tinggi. Kandungan logam berat yang ada di dalam sedimen Danau Rawapening belum ada penggolongan / peraturan pemerintah Republik Indonesia yang digunakan untuk menentukan kelas pencemaran logam berat yang terkandung di dalam sedimen. Oleh karena itu standar yang digunakan adalah standar ANZECC (Australian and New Zealand Environment and Conservation Council), (2000) yang menggolongkan sedimen Danau Rawapening masuk ke dalam kelompok ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*) – *Low* (kadar rendah) yang menyebabkan efek biologis rendah.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kandungan logam berat sudah mencemari kawasan tersebut. Hal ini sudah mengancam pengguna air yang bersumber dari Danau Rawapening karena dari data di atas, sedimen dapat menambah pencemaran air Danau Rawapening dengan melepas (*release*) logam Pb ke dalam air, sehingga airnya tidak memenuhi kriteria untuk dimanfaatkan, bahkan untuk pengairan sawah pun akan menyebabkan akumulasi logam berat oleh tanaman padi itu sendiri yang pada nantinya akan digunakan sebagai makanan pokok manusia (Brus dkk., 2009; Dewi dan Reginawati, 2009; Nogowa dan Suwazono, 2011;Istarani dan Pandebesie, 2014). Penelitian ini dibatasi dengan salah satu jenis logam, yaitu logam Pb dengan pertimbangan bahwa logam Pb merupakan salah satu logam yang paling tinggi terkandung di dalam sedimen. Logam Pb (Timbal) yang akan dikaji pada penelitian ini dalam hubungannya dengan bioakumulasi yang dilakukan Hydrilla.

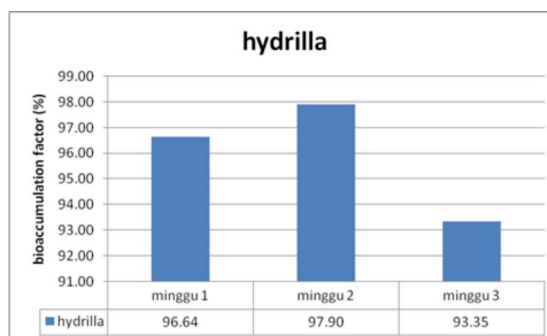
Kandungan logam Pb yang tinggi yang ada di dalam sedimen Rawapening berasal dari proses

alami dan akibat dari aktivitas manusia. Logam Pb yang berasal dari proses alami yaitu pada saat pembentukan Danau Rawapening yang diakibatkan dari letusan vulkanik (Wardani, 2002; KLH, 2010;Soeprobowati, 2011) dan akibat aktivitas manusia seperti pupuk kotoran hewan, pupuk pertanian, sludge yang digunakan sebagai bahan organik, pertambangan dan limbah industri/emisi bahan bakar kendaraan atau mesin (limbah bengkel) (Yuliati, 2010; Hidayah dkk., 2012; Kuswanto, 2014).

Selain menentukan jenis logam yang diteliti, ditentukan pula organ hydrilla yang akan diteliti. Organ yang dipilih dalam penelitian ini adalah akar dari hydrilla dengan berdasarkan penelitian – penelitian sebelumnya yang meneliti organ hydrilla terbukti bahwa akumulasi logam Pb paling tinggi pada bagian akar dibandingkan dengan organ yang lainnya (Yuliati, 2010).

Bioakumulasi Pb oleh Hydrilla

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hydrilla mampu mengakumulasi logam Pb (Gambar 4.1). Nilai bioaccumulation factor (BAF) tertinggi pada minggu kedua sebesar 97,90%. Namun pada minggu ketiga, nilai BAF mengalami penurunan dengan nilai BAF sebesar 93,35%.



Gambar 2. Bioaccumulation factor hydrilla terhadap logam berat Pb di dalam sedimen

Hydrilla mampu mengakumulasi logam Pb dengan mekanisme/cara tertentu, yaitu Cara pertama dengan pertukaran kation, sel – sel akar hydrilla mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari pada media sekitarnya yang biasanya bermuatan negatif. Namun apabila ion di sekitar sel –sel akar bermuatan positif (kation), penyerapan logam berat Pb tidak membutuhkan energi. Kation masuk ke dalam sel – sel akar secara pasif, sedangkan anion harus diangkut secara aktif ke dalam sel akar tanaman (Foth, 1991).

Cara kedua adalah akar tanaman air seperti hydrilla yang mengalami stres logam berat akan membentuk zat phytochelatin dan metalothioneins (Anaka, dkk., 2001). Phytochelatin adalah kelompok protein yang memiliki asam amino cystein, glycin dan asam glutamat, yang menginduksi tanaman jika tanaman mengalami cekaman logam berat. Senyawa ini mengikat ion logam dan membawanya ke vakuola dimana logam berat tidak menjadi toksik (Suresh Ravinkar, 2004). Salisbury dan Ross (1995) menyatakan bahwa spesies tanaman yang tumbuh di lingkungan tercemar logam akan mengalami stres logam dengan membentuk zat Phytochelatin khususnya di bagian akar sebagai mekanisme toleransi yang penting. Phytochelatin merupakan peptida kecil yang kaya asam amino sistein yang mengandung belerang. Atom belerang dalam sistein ini yang akan mengikat logam berat dari media tumbuh. Metallothionein merupakan zat yang menciptakan lokasi penyimpanan ion untuk kelebihan ion – ion logam berat bebas yang dikhelasi. Metallothionein adalah protein transport yang bertanggung jawab pada pemindahan kelebihan logam berat dari satu tempat ke tempat yang lain untuk menghindari efek toksik yang ditimbulkan terhadap tanaman (Shuresh dan Ravinskar, 2004)

Cara ketiga melibatkan proses rhizofiltrasi yaitu adsorpsi atau absorpsi logam oleh akar tanaman (Malik dan Biswas, 2012). Priyanto dan Prayitno (2004) menyatakan bahwa akumulasi logam berat oleh tanaman dibagi menjadi tiga proses, yaitu : pertama, penyerapan oleh akar. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer). Senyawa – senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama air,

sedangkan senyawa – senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar. Kedua, translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut ke bagian tanaman lainnya. Ketiga, lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar. Selain itu, dari Suresh dan Ravinskar (2004) menyatakan bahwa ada partisipasi zat yang dihasilkan tanaman untuk merespon keberadaan logam berat Pb yang akan meracuni tubuh tanaman yaitu dengan menghasilkan zat phytochelatin dan methallothiainein. Kedua zat ini akan bekerja secara terkoordinasi, dari fungsi phytochelatin yang mengikat logam Pb yang ada di dalam media, dalam penelitian ini adalah salah satu medianya adalah sedimen dan kemudian setelah diikat maka zat methallothiainein akan melokalisasi atau menempatkan logam berat Pb ke suatu sel atau jaringan untuk menyimpan logam berat Pb, dalam penelitian ini di dalam sel atau jaringan pada organ akar, sehingga keberadaan logam Pb tidak akan mengganggu metabolisme tanaman Hydrilla.

Nilai BAF hydrilla mengalami penurunan pada minggu ketiga hal ini disebabkan hydrilla sudah mengalami gangguan pada metabolismenya / toksifikasi, sehingga kemampuan untuk mengakumulasi logam Pb menurun. Tanaman tenggelam tidak direkomendasikan pada pengolahan limbah, karena produksinya rendah, banyak spesies yang tidak tahan terhadap kondisi eutrofik, namun memiliki peran penting bila dikombinasikan dengan jenis tanaman lain dalam sistem pengolahan limbah (Hammer dan Bastian, 1989). Polutan yang masuk ke dalam sel mesofil, akan memberi pengaruh pada tingkat molekuler atau struktural, yang menyebabkan perubahan dalam respon stomata, struktur kloroplas, fiksasi CO₂, dan sistem transpor elektron fotosintetik (Anggarwulan dan Solichatun, 2007) sehingga apabila ada aktivitas penyerapan logam berlangsung dan terjadi akumulasi pada organ-

organ tanaman, maka akan mengganggu proses metabolisme tanaman.

KESIMPULAN

Hydrilla memiliki potensi untuk mengakumulasi logam Pb yang terkandung di dalam sedimen dengan nilai bioaccumulation factor sebesar 97,90% dan efektif digunakan dalam jangka waktu 2 minggu untuk remediasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anaka S.S., R. Deht, D. Sarker, S.K.M. Samanathan, C.P. Millas and S. Burd. 2001. Analysis of Phytochelatin Complexation in the Lead Tolerant Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* (L) Nash). *Environment Polutan* (15)7 : 2173 – 2183.
- [2] Anggarwulan, E. n Solichatun. 2007. Kajian Klorofil dan Karotenoid *Plantago major* L, dan *Phaseolus vulgaris* L. Sebagai Bioindikator Kualitas Udara. *BIODIVERSITAS*, Vol. 8 (4) : 279 – 282. Oktober 2007.
- [3] Arnott, J.A. dan Gobas, F.A.P.C. 2006. *Environ. Rev.* Vol. 14 : 257-297. Doi. 10.1139/A06-005
- [4] Badan Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Tengah. 2010. Laporan Pengujian Kualitas Air Rawapening
- [5] Brus,DJ, Z Li, J Song, GF Koopmans, EJM Temminghoff, X Yin. C Yao, H Zhang, Y Luo, and J Japenga. 2009. Predictions of spatially averaged cadmium contents in rice grains in the Fuyang Valley, P.R. China. *J. Environ. Qual.* 38: 1126 – 1136.
- [6] Budiharjo, M.A., Huboyo, H.S.2007. Distribution of Nitrate and Phosphate pattern with Aquatox Model 2.2 and Relation to Plant Surface Water Hyacinth in Lake (Lake Rawa Dizziness case study of Semarang District). *Journal of precipitation* 2007;3(2):58-66.
- [7] Dewi, Triyani dan Hindersah, Reginawati. 2009. Konsentrasi Kadmium dan Timbal di Tnaman Mendong yang ditanam di Tanah Sawah dengan Aplikasi *Azotobacter* dan Arang Aktif. *Jurnal Agrikultura*, 20(3) : 185 -190
- [8] Foekema, E.M. 2014. Mesocosm. www.wageningenur.nl/en/show/Mesocosm.htm
- [9] Busoic, Gabriela., David, Ivanova., Michaela, Sencovici., dan LLiescu, Nicoleta. 2012. Evaluation of Capacity for Bioaccumulation of Some Heavy Metals in Three Aquatic Plants Species. *Water resources and wetlands Conference Proceedings*, 14-16 September.. Tulcea - Romania
- [10] Hammer, D.A. dan Bastian,R.K. 1989. Wetlands ecosystems:natural water purifier?. Dalam Hammer, D.A. (Ed). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers, Michigan.
- [11] Hidayah, A.M., Purwanto, dan Soeprbowati, T.R. 2012. Kandungan Logam Berat pada Air, Sedimen dan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawapening. Pprosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan.
- [12] Istarani, F. dan Pandebesie, Ellina S. 2014. Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan.*Jurnal Teknis POMITS* Vol. 3, No.1 ISSN : 2337 – 3539 (2301 – 9271 Print).
- [13] KLH. 2010. Laporan Penyusunan Zonasi Pemanfaatan Peraira Danau dan Baku Mutu Air Danau. Jakarta.
- [14] Kuswanto, Agus. 2014. Makalah Toksikologi : Logam Berat. <http://www.aguskuswanto.com/makalah/92-toksikologi-logam-berat.html>
- [15] Nogawa, K. dan Suwazono, Y. 2011. “Itai – itai Disease” *Encyclopedia of Environmental Health Itai – itai Disease* Vol. Issue 2011.
- [16] Reddy, M.V. (ed). 2005. *Restoration and Management of Tropical Eutrophic lakes*. USA : Science Publisher, Inc. 533 Hal.
- [17] Malik, Neetu dan Biswas, A.K. R 2012. Role of Higher Plants In Remediation of Metal Contaminated Sites. *Scientific reviews & Chemical Communications*: 2(2) ISSN 2277 – 2669 hal 141 – 146. India.
- [18] Mustofa, Wildan Suyuti., Izzati, Munifatul., dan Saptiningsih, Endang. 2012. Interaksi Pembenh Tanah dari Hydrilla verticillata

- Royle. dan *Salvinia molesta* Mitchell. terhadap Kapasitas Lapang Tanah Pasir dan Tanah Liat serta Pertumbuhan Kacang Hijau (*Vigna radiate* L.)
- [19] Priyanto, B. dan J. Prayitno. 2008. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat.
<http://tl.bppt.tripod.com/sublab/flora1.htm>. 10 Februari 2010.
- [20] Reddy, M.V. (ed). 2005. Restoration and Management of Tropical Eutrophic lakes. USA : Science Publisher, Inc. 533 Hal.
- [21] Salisbury, F.B. dan C.W. Ross. 1995. Fisiologi Tanaman. UGM Press. Yogyakarta.
- [22] Sasongko, B.S., Prasetyaningrum, Aji., dan Soemardi. 2013. Pengembang Mesin Pemilin Enceng gondok Pasca Pengeringan untuk Bahan Baku Kerajina. Prosiding Workshop Penyelamatan Danau Rawapening. Kementerian Lingkungan Hidup bekerjasama dengan Universitas Diponegoro. Semarang
- [23] Soeprbowati, T.R. 2011. Kajian Perubahan Ekosistem Danau Rawapening Menggunakan Diatom sebagai Bioindikator. Prosiding. Semarang : Simposium Nasional Penelitian Perubahan Iklim. Kementerian Lingkungan Hidup bekerjasama dengan UNDIP
- [24] Soeprbowati, T.R. 2011. Variabilitas Keanekaragaman dan Distribusi Vertikal Diatom Danau Rawa Pening. Jurnal Sains dan Matematika. FMIPA Universitas Diponegoro. Vol. 19 (3) : 65 – 70
- [25] Soeprbowati, T. R., W. H. Rahmanto dan J. . Hidayat. 2005. Kajian Perubahan Lingkungan Ekosistem Lentik Danau Rawa Pening Menggunakan Diatom Sebagai Bioindikator. Laporan Penelitian. FMIPA Universitas Diponegoro.
- [26] Sulistyawati, I; Soedarini; Bernadetha; Widianarko dan Budi. 2006. Degradation of The Rawa Pening Lake, Central Java and Its Consequence on Freshwater Animal Resources. A Research Proposal. Semarang : Soegijapranata Chatolic University. Page PFH - 6
- [27] Suresh B., and G.A. Ravishankar. 2004. Phytoremediation – Anovel and Promising Approach for Environmental Clean-up. Critical Reviews in Biotechnology 24, 2-3:97 – 110.
- [28] Yuliati. 2010. Akumulasi Logam Pb di Perairan Sungai Sail dengan Menggunakan Bioakumulator Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Jurnal Perikanan dan Kelautan 15,1 (2010) : 39 – 49.
- [29] Wardani, N.S. 2002. Sistem Geologi Rawapening. Paper dalam Simposium dan Lokakarya Pelestarian Danau Rawa Pening untuk Pemberdayaan Masyarakat. 18 – 19 April 2002. Pusat Studi Rawa Pening, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.