

# Penyerapan Logam Timbal (Pb) dan Kadar Klorofil *Elodea canadensis* pada Limbah Cair Pabrik Pulp dan Kertas

Novita, Yuliani, Tarzan Purnomo

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

## ABSTRAK

Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat timbal (Pb) adalah industri pulp dan kertas. Kadar timbal (Pb) pada limbah cair yang dibuang ke perairan melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sehingga dapat menyebabkan pencemaran air. *Elodea canadensis* merupakan tumbuhan yang menyerap logam timbal (Pb) dalam perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *Elodea canadensis* dalam menyerap timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas serta pengaruhnya terhadap kadar klorofil total *Elodea canadensis*. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, menggunakan rancangan acak kelompok faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu biomassa *Elodea canadensis* (20 g dan 30 g) dan waktu detensi (10 hari dan 20 hari). Kedua faktor tersebut diulang 6 kali sehingga menghasilkan 24 kombinasi perlakuan. Parameter penelitian meliputi penyerapan Pb pada *Elodea canadensis*, penurunan kadar Pb pada limbah cair pabrik pulp dan kertas, dan kadar klorofil total *Elodea canadensis*. Analisis Pb dilakukan secara kuantitatif dengan spektrofotometer serapan atom (SSA) di Balai Besar Laboratorium Kesehatan (BBLK) Surabaya, sedangkan klorofil total secara kuantitatif dengan spektrofotometer di Laboratorium Fisiologi Jurusan Biologi UNESA. Data dianalisis secara statistik dengan analisis varian dua arah dan dilanjutkan uji BNT 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada perbedaan pengaruh biomassa dan lama waktu detensi terhadap kemampuan *Elodea canadensis* dalam menyerap logam Pb, penurunan kadar Pb pada limbah cair pabrik pulp dan kertas, dan perubahan kadar klorofil total *Elodea canadensis*. Ada perbedaan pengaruh interaksi biomassa dan lama waktu detensi pada kemampuan *Elodea canadensis* dalam menyerap logam Pb dan perubahan kadar klorofil total *Elodea canadensis*. Namun tidak ada perbedaan pengaruh interaksi pemberian biomassa dan lama waktu detensi pada penurunan kadar Pb pada limbah cair pabrik pulp dan kertas. Perlakuan yang efektif terhadap penyerapan logam timbal dan penurunan kadar Pb pada limbah cair pabrik pulp dan kertas yaitu perlakuan biomassa 30 g dan waktu detensi 20 hari dengan penyerapan pada *Elodea canadensis* sebesar 0,144 mg/kg dan penurunan Pb pada limbah cair pabrik pulp dan kertas sebesar 99,32%. Perubahan kadar klorofil total terbesar akibat pemberian limbah cair pabrik pulp dan kertas terjadi pada perlakuan biomassa 30 g dan waktu detensi 20 hari yaitu dengan penurunan kadar klorofil total sebesar yaitu 2,152 mg/l.

**Kata kunci:** Limbah cair pabrik pulp dan kertas, Kadar Pb, *Elodea canadensis*, dan Kadar klorofil total.

---

## PENDAHULUAN

Dalam suatu kegiatan industri, air limbah industri tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan, tetapi harus diolah terlebih dahulu agar mempunyai kualitas yang sama dengan kualitas air lingkungan. Pada kenyataan masih banyak industri atau pusat kegiatan kerja yang membuang limbahnya ke lingkungan melalui sungai, danau atau langsung ke laut. Pembuangan air limbah secara langsung ke lingkungan inilah yang menjadi penyebab utama terjadinya pencemaran air (Wardhana, 1995).

Air dapat tercemar oleh berbagai komponen anorganik, diantaranya berbagai jenis logam berat yang berbahaya, yang banyak digunakan dalam berbagai keperluan sehingga diproduksi secara kontinyu dalam skala industri. Industri-industri logam berat tersebut harus mendapatkan pengawasan yang ketat sehingga tidak

membahayakan bagi para pekerja maupun lingkungan sekitarnya (Kristanto, 2002). Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat adalah industri pulp dan kertas. Pada tahun 2005 terdapat empat pabrik kertas yang menyebabkan Kali Surabaya tercemar. Limbah pabrik kertas yang dibuang di Kali Surabaya sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena limbah tersebut mengandung timbal hitam (Pb) dari tinta koran (Abidien, 2005).

Hasil analisis limbah cair pabrik pulp dan kertas yang diambil di outlet IPAL di daerah Driyorejo Gresik pada tanggal 14 Desember 2010 di laboratorium UPN Surabaya, diketahui mengandung logam berat Pb sebesar 1,040 mg/l. Sungai tempat pembuangan limbah tersebut merupakan sungai kelas II. Menurut keputusan Gubernur Jawa Timur nomor 45 tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri

atau Kegiatan Usaha Lainnya Di Jawa Timur, kadar Pb maksimal limbah cair yang boleh dibuang ke air kelas II adalah 0,5 mg/l. Maka dapat diketahui, kadar logam berat Pb limbah pabrik pulp dan kertas di daerah Gresik melebihi baku mutu yang telah ditentukan.

Logam berat Pb dan persenyawaannya dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktivitas manusia. Badan perairan yang telah kemasukan senyawa atau ion-ion Pb dapat menyebabkan jumlah Pb dalam badan perairan melebihi konsentrasi yang semestinya. Hal ini dapat mengakibatkan kematian bagi biota perairan tersebut (Palar, 2008). Kelebihan Pb<sup>2+</sup> dalam tumbuhan dapat mengganggu dan menghambat berbagai proses fisiologis (Balsberg, 1989 dalam Saygideger *et al.*, 2004). Respon tumbuhan yang terpapar Pb<sup>2+</sup> salah satunya adalah penghambatan biosintesis klorofil (Miranda & Ilangovan, 1996 dalam Saygideger *et al.*, 2004).

Tumbuhan air memiliki beberapa mekanisme dalam menghadapi cekaman logam berat di perairan dan menurut beberapa penelitian tumbuhan air dapat menurunkan logam berat dalam perairan melalui mekanismenya tersebut. Upaya tumbuhan air untuk mengatasi logam berat di perairan adalah dengan fitoremediasi dengan cara menyerap logam berat. Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel seperti vakuola untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Priyanto & Prayitno, 2003).

*Elodea canadensis* merupakan tumbuhan air submergent (tenggelam) yang berasal Amerika Utara dan telah tersebar di seluruh dunia. Terutama di Eropa, spesies ini sangat invasif dan dianggap sebagai gulma karena kemampuannya untuk tumbuh dan berkembang biak cukup pesat di beragam habitat dan kondisi. *Elodea canadensis* juga mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat, sehingga dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran logam di perairan (Podraza, 2010). Tumbuhan ini banyak dijumpai dan tumbuh liar di perairan dengan beragam kondisi (Podraza, 2010). Hasil penelitian Osmolovskaya & Kurilenko (2005) menemukan bahwa bahwa *Elodea canadensis* mampu menyerap Pb dalam air 27,4 mg kg<sup>-1</sup> DW. Untuk mengetahui peran tumbuhan *Elodea canadensis* dalam menyerap Timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas di Driyorejo Gresik dan pengaruhnya terhadap kadar klorofil total, maka

dilakukan penelitian mengenai pengaruh biomassa *Elodea canadensis* terhadap penyerapan logam Pb yang terkandung dalam limbah cair pabrik pulp dan kertas. Hal ini diharapkan agar limbah cair setelah difitoremediasi menggunakan *Elodea canadensis* dapat memenuhi baku mutu.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental karena memiliki variable, karena adanya kelompok kontrol terhadap variabel, kelompok perlakuan, pengulangan, dan sampel diambil secara acak dan homogen. Penelitian dilaksanakan di laboratorium Fisiologi dan Green house C 10 Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya, bulan Juli-Agustus 2011. Untuk analisis kadar Pb dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan (BBLK) Surabaya. Adapun sasaran penelitian ini adalah tumbuhan *Elodea canadensis* yang diperoleh di Sungai daerah Gayungsari kecamatan Gayungan-Surabaya dan limbah cair pabrik pulp dan kertas di kawasan Driyorejo-Gresik. Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor perlakuan yaitu biomassa *Elodea canadensis* (20 g dan 30 g) dan waktu detensi (10 hari dan 20 hari). Perlakuan ini diulang sebanyak 6 kali sehingga kombinasi perlakuan 2x2x6=24.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah akuades, tumbuhan *Elodea canadensis*, limbah cair pulp dan kertas, dan alkohol 95%. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah bak plastic volume 5 liter, neraca analitik, pH, termometer, lux meter, aerator, gelas ukur 100 ml, beaker glass 1000 ml, pipet tetes, counter, botol sampel, tabung reaksi, rak tabung reaksi, sentrifuse, AAS, spektrofotometer, lumping porselin, dan kertas saring.

Prosedur penelitian dibagi menjadi 3 yaitu tahap persiapan meliputi tahap aklimatisasi dan pembuatan media tanam, tahap pelaksanaan percobaan, dan tahap teknik pengambilan data. Tahap aklimatisasi dimulai dengan mengaklimatisasi *Elodea canadensis* selama 10 hari (Cahyaningrun, 2007) dengan menggunakan air akuades pada bak 5 liter sebanyak 3 liter, kemudian menanam *Elodea canadensis* pada akuades tersebut selama 10 hari. Kemudian menganalisis kadar Pb awal yang terkandung dalam *Elodea canadensis* dan menganalisis kadar klorofil awal yang terkandung dalam *Elodea canadensis*. Pembuatan media tanam dimulai dengan mengambil limbah cair pulp dan kertas sebanyak 80 liter yang dilanjutkan dengan

menganalisis kadar logam Pb awal yang terdapat dalam limbah cair pulp dan kertas lalu meletakkan media tanam sebanyak 3 liter pada masing-masing bak yang berjumlah 24 dengan volume bak sebesar 5 liter.

Tahap pelaksanaan percobaan dimulai dengan persiapan media tanam, pemasangan aerator, menimbang *Elodea canadensis* yang telah diaklimatisasi sesuai dengan biomassa yang ditentukan yaitu sebanyak 20 g dan 30 g. Menanam *Elodea canadensis* yang telah diaklimatisasi ke dalam bak sesuai perlakuan. Setelah perlakuan selama waktu yang telah ditentukan (10 hari dan 20 hari), dilakukan pengukuran kadar Pb pada masing-masing perlakuan yang meliputi Pb yang diserap oleh *Elodea canadensis* dan limbah cair pulp dan kertas serta pengukuran kadar klorofil total pada *Elodea canadensis*. Untuk pengukuran kadar *Elodea canadensis* mengambil sampel kurang lebih 10 g *Elodea canadensis*, untuk pengukuran kadar limbah cair pulp dan kertas mengambil sampel 50 ml, dan untuk kadar klorofil total mengambil 0,3 g *Elodea canadensis* pada masing-masing perlakuan.

Tahap teknik pengambilan data dilakukan sebelum dan sesudah penelitian, yaitu melakukan pengukuran factor fisika kimia pH, suhu, dan intensitas cahaya, menganalisis kadar Pb pada *Elodea canadensis* dan limbah cair pulp dan kertas sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan AAS serta menganalisis Kadar Klorofil *Elodea canadensis* menggunakan Spektrofotometer.

Data yang diperoleh berupa kadar Pb pada *Elodea canadensis* dan pada limbah cair pulp dan kertas serta kadar klorofil total pada *Elodea canadensis*. Data dianalisis dengan menggunakan analisis varian (ANOVA) dua arah dan apabila ada perbedaan antar perlakuan maka dilanjutkan dengan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) pada taraf signifikan 5%. Untuk pH, suhu dan intensitas cahaya merupakan data pendukung.

## HASIL

**Penyerapan logam timbal oleh *Elodea canadensis*.** Hasil Anava dua arah menunjukkan bahwa ada perbedaan antara perlakuan biomassa dan waktu detensi yang diberikan terhadap penyerapan logam timbal oleh *Elodea canadensis* pada limbah cair pabrik pulp dan kertas. Hal ini terjadi juga pada perlakuan interaksi biomassa dan waktu detensi *Elodea canadensis*. Kadar timbal (Pb) yang ada dalam *Elodea canadensis* dengan perlakuan biomassa (20 g dan 30 g) dan waktu

detensi (10 hari dan 20 hari), disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Pengaruh biomassa *Elodea canadensis* dan waktu detensi terhadap penyerapan timbal (Pb) oleh *Elodea canadensis*.

Biomassa <i>Elodea canadensis</i> (g)	Kadar awal (mg/kg)	Serapan kadar Pb pada waktu detensi (mg/kg)		Rata-rata
		10 hari	20 hari	
		20g (A)	0,057 <sup>a</sup>	
30g (B)	0,009	0,064 <sup>a</sup>	0,144 <sup>b</sup>	0,104 <sup>w</sup>
Rata-rata		0,061 <sup>x</sup>	0,104 <sup>y</sup>	

Hasil uji BNT pada taraf signifikansi 0,05 di atas menunjukkan ada perbedaan secara nyata pada perlakuan biomassa 20 g dan 30 g terhadap penyerapan timbal, demikian pula untuk perlakuan waktu detensi 10 hari dan 20 hari. Pada perlakuan interaksi antara biomassa dan waktu detensi juga menunjukkan ada perbedaan nyata pada penyerapan logam timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas. Perlakuan biomassa dan waktu detensi menunjukkan bahwa *Elodea canadensis* mampu menyerap timbal (Pb). Hal ini ditunjukkan dengan terdapatnya timbal (Pb) dalam *Elodea canadensis*. Kadar timbal (Pb) yang terdapat dalam *Elodea canadensis* dapat dilihat dalam Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa perlakuan yang paling banyak menyerap logam timbal (Pb) adalah perlakuan dengan biomassa 30 gram dan waktu detensi 20 hari yaitu sebesar 0,104 mg/kg sebesar 0,144 mg/kg.

**Penurunan logam timbal pada media limbah cair pabrik pulp dan kertas.** Hasil Anava dua arah menunjukkan bahwa ada perbedaan antara perlakuan biomassa dan waktu detensi yang diberikan terhadap penurunan kadar timbal dalam limbah cair pabrik pulp dan kertas setelah perlakuan. Namun pada perlakuan interaksi biomassa dan waktu detensi tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata. Kadar timbal (Pb) dalam limbah cair pabrik pulp dan kertas setelah perlakuan, disajikan dalam Tabel 2.

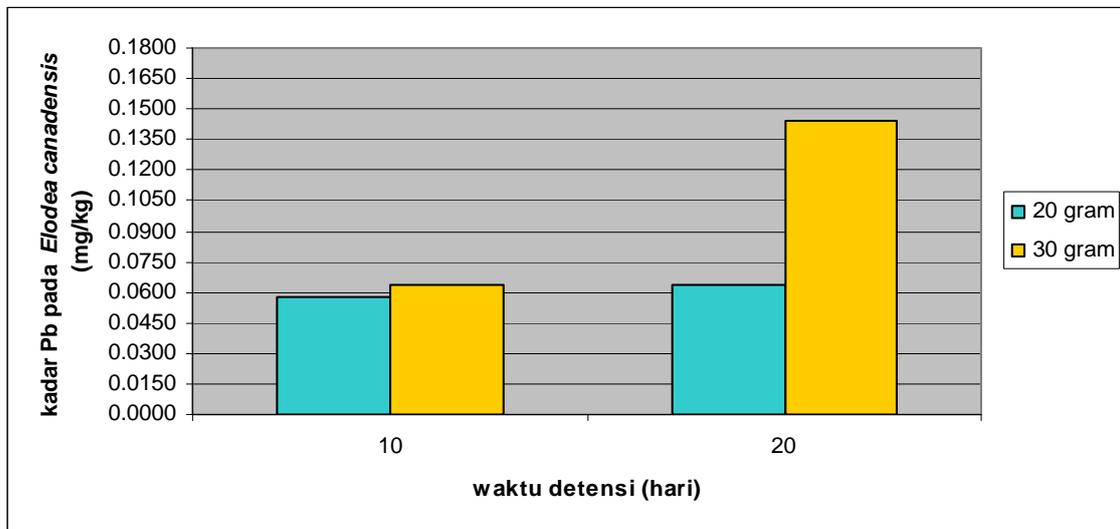
Hasil uji BNT pada taraf signifikansi 0,05 di atas menunjukkan ada perbedaan secara nyata pada perlakuan biomassa 20 g dan 30 g terhadap penurunan kadar timbal dalam limbah cair pabrik pulp dan kertas setelah perlakuan, demikian pula untuk perlakuan waktu detensi 10 hari dan 20 hari. Pada perlakuan interaksi antara biomassa dan waktu detensi tidak menunjukkan adanya

perbedaan penurunan kadar timbal dalam limbah cair pabrik pulp dan kertas setelah perlakuan. Penurunan kadar logam timbal pada limbah cair pulp dan kertas dapat dilihat dalam Gambar 2.

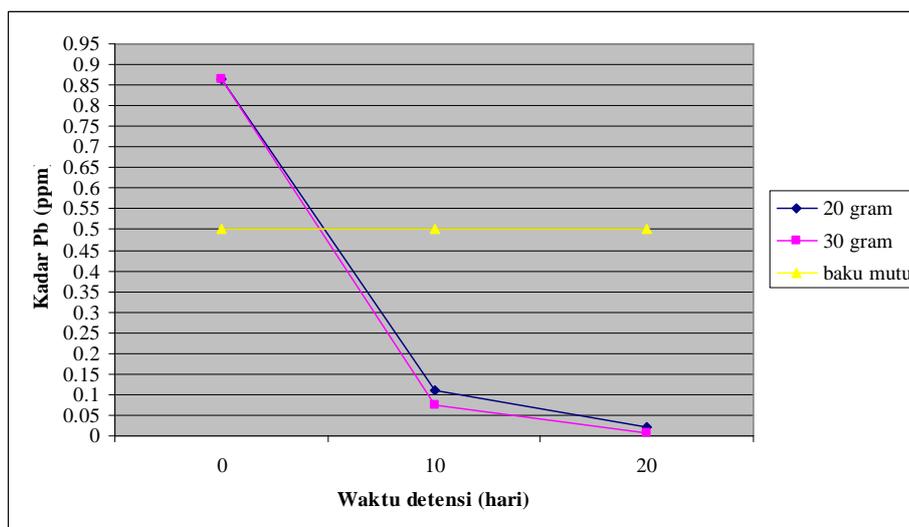
Gambar 2 menunjukkan bahwa kadar logam timbal pada limbah cair pulp dan kertas menurun seiring dengan waktu detensi, sekaligus biomassa 30 g lebih banyak menurunkan logam timbal dibanding dengan biomassa 20 g. Penurunan kadar Pb terbaik terjadi pada perlakuan B20. Gambar 2 juga menunjukkan bahwa penurunan kadar Pb pada media limbah cair pabrik pulp dan kertas telah memenuhi baku mutu.

**Tabel 2.** Pengaruh biomassa *Elodea canadensis* dan waktu detensi terhadap penurunan timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas.

Perlakuan biomassa <i>Elodea canadensis</i> (g)	Penurunan Pb pada limbah (ppm) pada waktu detensi			Rata-rata
	awal	10 hari	20 hari	
A (20g)	0,864	0.755	0.842	0.798 <sup>v</sup>
B (30g)	0,864	0.790	0.858	0.824 <sup>w</sup>
Rata-rata	0,864	0.772 <sup>x</sup>	0.850 <sup>y</sup>	



**Gambar 1.** Pengaruh biomassa dan waktu detensi *Elodea canadensis* terhadap penyerapan kadar timbal (Pb) oleh *Elodea canadensis*.



**Gambar 2.** Pengaruh biomassa dan waktu detensi terhadap penurunan kadar timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas.

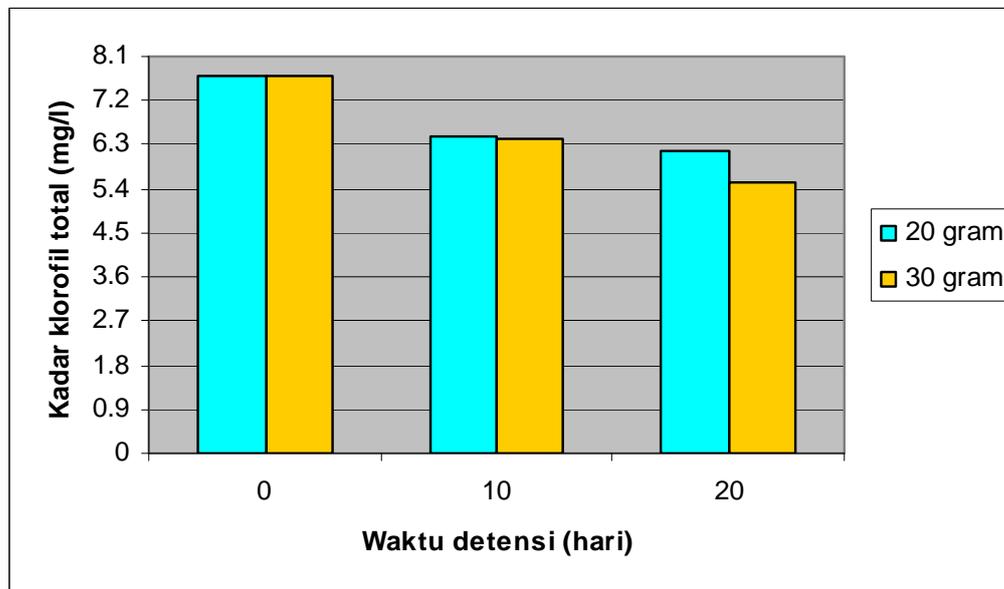
**Kadar klorofil total dalam *Elodea canadensis*.** Hasil Anava dua arah menunjukkan bahwa ada perbedaan antara perlakuan biomassa dan waktu detensi yang diberikan terhadap kadar klorofil total *Elodea canadensis* yang ditumbuhkan pada media limbah cair pabrik pulp dan kertas. Hal ini terjadi juga pada perlakuan interaksi biomassa dan waktu detensi *Elodea canadensis*. Kadar klorofil total pada *Elodea canadensis* dengan perlakuan biomassa (20 g dan 30 g) dan waktu detensi (10 hari dan 20 hari), disajikan dalam Tabel 3.

Hasil uji BNT pada taraf signifikansi 0,05 di atas menunjukkan ada perbedaan secara nyata pada perlakuan biomassa 20 g dan 30 g terhadap kadar klorofil total *Elodea canadensis*, demikian pula untuk perlakuan waktu detensi 10 hari dan 20 hari. Pada perlakuan interaksi antara biomassa dan waktu detensi juga menunjukkan ada

perbedaan nyata pada kadar klorofil total *Elodea canadensis* yang ditanam pada limbah cair pabrik pulp dan kertas. Kadar klorofil total yang terdapat dalam *Elodea canadensis* dapat dilihat dalam Gambar 3.

**Tabel 3.** Pengaruh biomassa dan waktu detensi terhadap kadar klorofil total *Elodea canadensis* pada media limbah cair pabrik pulp dan kertas.

Biomassa <i>Elodea</i> <i>canadensis</i> (g)	Kadar klorofil total awal (mg/l)	Kadar klorofil total pada perlakuan waktu detensi (mg/l)		Rata-rata
		10 hari	20 hari	
A (20g)	7,691	6,453 <sup>b</sup>	6,156 <sup>b</sup>	6,304 <sup>w</sup>
B (30g)	7,691	6,432 <sup>b</sup>	5,539 <sup>a</sup>	5,986 <sup>v</sup>
Rata-rata		6,443 <sup>y</sup>	5,847 <sup>x</sup>	



**Gambar 3.** Pengaruh biomassa dan waktu detensi pada limbah cair pabrik pulp dan kertas terhadap kadar klorofil total *Elodea canadensis*.

Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa terjadi penurunan kadar klorofil total pada *Elodea canadensis* dibandingkan dengan kadar klorofil total awal akibat adanya logam timbal pada media pertumbuhannya. Penurunan kadar klorofil total seiring dengan waktu detensi dimana kadar klorofil total pada perlakuan waktu detensi 20 hari lebih kecil daripada 10 hari. Penurunan kadar klorofil paling besar terjadi pada perlakuan B20 (biomassa 30 g dan waktu detensi 20 hari) yaitu sebanyak 2,152 mg/l

## PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa terjadi penyerapan logam timbal (Pb) oleh *Elodea canadensis*. Penyerapan terbesar pada perlakuan B20 yaitu perlakuan *Elodea canadensis* dengan biomassa 20 g dan waktu detensi 20 hari dengan nilai 0,144 mg/kg yang menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak dengan logam timbal (Pb), maka semakin banyak timbal yang diserap oleh tanaman *Elodea canadensis*. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman *Elodea canadensis* dapat bertahan hidup dalam media yang tercemar logam berat timbal (Pb).

*Elodea canadensis* merupakan tumbuhan air memiliki tingkat toleransi yang tinggi terhadap logam berat dibandingkan penghuni air lainnya seperti ikan (Connel & Miller, 1995). Menurut Fitter & Hay (1992), *Elodea canadensis* memiliki beberapa mekanisme utama dalam menghadapi cekaman logam berat seperti timbal (Pb), 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. (2) Toleransi, tumbuhan dapat mengembangkan sistem metabolis yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik yang potensial dengan molekul enzim.

Penyerapan timbal (Pb) oleh *Elodea canadensis*, diikuti dengan penurunan kadar timbal (Pb) pada media tanam limbah cair pabrik pulp dan kertas. Hal ini disebabkan karena timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas diserap oleh tanaman *Elodea canadensis*, sehingga kadar timbal (Pb) pada limbah cair pulp dan kertas menjadi berkurang atau menurun. Penurunan terbesar pada perlakuan B20 yaitu perlakuan *Elodea canadensis* dengan biomassa 20 g dan waktu detensi 20 hari dengan kadar akhir sebesar 0,006 ppm. Timbal pada tumbuhan merupakan unsur non esensial yang bisa masuk di dalam tumbuhan; maka akan dikelat oleh suatu protein yang ada dalam akar kemudian disimpan dan sebagian akan diteruskan ke daun (Palar, 2008). *Elodea canadensis* selain mampu menyerap logam berat timbal (Pb) melalui akarnya, juga mampu menyerap timbal (Pb) melalui seluruh permukaan tubuhnya 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 diperlukan ATP tetapi sebagian kecil terlibat dalam metabolisme sel (Connel & Miller, 1995). Timbal (Pb) diserap tanaman dalam bentuk ion garam oleh akar tumbuhan yang bergerak melewati korteks secara apoplas, simplas maupun keduanya. Apabila melewati secara apoplas, maka ion akan berdifusi melalui dinding sel korteks tanpa memasuki protoplasma, sedangkan bila bergerak secara simplas, pada endodermis terjadi pemutusan kesinambungan karena adanya pita-pita suberin yang kedap air, sehingga air dan bahan terlarut tidak bisa melewati dari satu sisi endodermis ke sisi yang lain kecuali difusi melalui protoplas sel endodermis dan melalui plasmodesmata dengan pergerakan plasma. Sel-

sel yang dianggap buruk pada bagian stele mempunyai kemampuan yang rendah untuk menahan ion, sehingga cenderung membocorkannya menuju xylem (pembuluh kayu) (Loveless, 1991). Setelah dari xylem, ion Pb akan diteruskan menuju ke sel daun. Setelah sampai di daun akan melewati plasmalema, sitoplasma, dan vakuola, dimana logam Pb akan terakumulasi dalam vakuola yang tidak akan berhubungan dengan proses fisiologi sel tumbuhan.

Pada lingkungan yang banyak mengandung logam berat tumbuhan membuat protein regulator dan tumbuhan tersebut mengadakan ekspresi gen untuk membentuk senyawa pengikat yang disebut fitokhelatin. Fitokhelatin merupakan peptide yang mengandung 2-8 macam amino system di pusat molekul serta suatu asam glutamate dan sebuah glisin pada ujung yang berlawanan. Fitokhelatin dibentuk di dalam inti yang kemudian melewati endoplasma (RE), Aparatus golgi, Vasikula sekretori untuk sampai permukaan sel. Fitokhelatin ini banyak mengandung gugus SH-, S+, dan RS-. Gugus fungsi ini terdapat dalam asam amino system yang merupakan senyawa pembangun Fitokhelatin. Fitokhelatin akan membentuk ikatan sulfide di ujung belerang pada sistein bila bertemu dengan logam berat dan membentuk senyawa kompleks. Sehingga logam berat akan terbawa menuju jaringan tumbuhan (Salisbury & Ross, 1995).

Penurunan Pb pada media telah memenuhi baku mutu Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 tahun 2002. hal ini dapat dilihat dari kadar akhir media yang sudah di bawah ambang batas 0,5 ppm. Penurunan Pb pada media tanam dalam penelitian ini tinggi, tetapi tidak sebanding dengan penyerapan Pb oleh *Elodea canadensis*. Hal ini disebabkan logam berat yang sudah masuk ke dalam tubuh tumbuhan akan diekskresi dengan cara menggugurkan daunnya yang sudah tua sehingga nantinya dapat mengurangi konsentrasi logam timbal (Priyanto, 2008). Hilangnya logam berat timbal (Pb) juga dapat disebabkan proses penguapan timbal (Pb) ke udara yang berupa Pb(O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>. Timbal (Pb) tidak seluruhnya masuk ke dalam tumbuhan karena terjadi pengendapan timbal (Pb) yang berupa molekul garam dalam air jika pH pada media bersifat basa (Darmono, 1995).

Logam timbal (Pb) belum terbukti penting dalam metabolisme tumbuhan, meskipun terjadi secara alami di semua tumbuhan (Kabata-Pendias & Pendias, 1984 dalam Saygideger *et al.*, 2004). Salah satu efek dari kelebihan logam timbal (Pb)

pada tumbuhan adalah terjadinya penghambatan biosintesis klorofil (Miranda dan Ilangovan, 1996 dalam Saygideger *et al.*, 2004). *Elodea canadensis* menyerap unsur hara dari media tanam untuk bertahan hidup. Namun adanya logam berat dalam hal ini Pb pada media tanam yang berlebihan dapat menyebabkan terbatasnya jumlah unsur hara yang dibutuhkan dalam jaringan tumbuhan yang menyebabkan perkembangan dan pertumbuhan tumbuhan air menurun. Ion-ion hara kation seperti K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, dan Fe<sup>3+</sup>, serta anion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dihambat penyerapannya ke akar tanaman oleh Pb (Mishra dan Dubey, 2005b). Unsur hara dalam hal ini bermanfaat membantu memacu pertumbuhan secara keseluruhan baik pertumbuhan daun maupun akar. Selain itu, unsur hara bermanfaat dalam memperkuat tubuh tumbuhan agar daun dan akar tidak mudah gugur, sebagai sumber kekuatan tumbuhan agar tumbuhan tidak mudah terkena penyakit dan juga membantu penyelenggaraan fotosintesis dan mengaktifkan kerja enzim (Sallisbury dan Ross, 1995).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa terjadi penurunan kadar klorofil total *Elodea canadensis* oleh logam timbal (Pb) yang terdapat pada media (Limbah cair pabrik pulp dan kertas). Penurunan terbesar pada perlakuan B20 yaitu perlakuan *Elodea canadensis* dengan biomassa 20 g dan waktu detensi 20 hari dengan kadar klorofil total setelah perlakuan 5,539 mg/l.

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). Logam berat timbal (Pb) dapat merusak struktur kloroplas. Timbal (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 logam berat Pb akan mengurangi asupan Mg dan Fe sehingga menyebabkan perubahan pada volume dan jumlah kloroplas (Kovacs, 1992 dalam Sembiring & Sulistyawati, 2006). Berkurangnya asupan Mg dan Fe ini disebabkan oleh terganggunya biosintesis klorofil yaitu terjadi penghambatan aktivitas asam aminolevulinic (ALAD) yang mengkatalisis pembentukan porphobilinogen oleh logam berat Pb dengan cara berikatan dengan kelompok enzim SH- (Singh, 1995 dalam

Saygideger *et al.*, 2004). Selain itu juga disebabkan kekurangan elemen penting untuk enzim, misalnya, Zn (Mishra & dubey, 2005).

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian tentang penyerapan logam timbal (pb) dan kadar klorofil *Elodea canadensis* pada limbah cair pabrik pulp dan kertas dapat disimpulkan sebagai berikut. (1) Ada perbedaan penyerapan logam timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas serta kadar klorofil total *Elodea canadensis* akibat pemberian biomassa yang berbeda. Biomassa 30 g merupakan perlakuan terbaik dalam menyerap logam Pb. (2) Ada perbedaan penyerapan logam timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas serta kadar klorofil total *Elodea canadensis* akibat pemberian waktu detensi yang berbeda. Kadar klorofil total menurun mengikuti waktu detensi dan perlakuan 20 hari merupakan waktu detensi terbaik untuk penyerapan logam Pb. (3) Ada perbedaan penyerapan logam timbal (Pb) pada limbah cair pabrik pulp dan kertas serta kadar klorofil total *Elodea canadensis* akibat interaksi biomassa dan waktu detensi. Perlakuan biomassa 30 g dan waktu detensi 20 hari merupakan kombinasi perlakuan terbaik untuk menyerap logam Pb.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidien, Z. 2005. *Empat Perusahaan Kertas Cemari Kali di Surabaya*. Diakses dalam <http://www.tempointeraktif.com/hg/nusa/2005/06/07/brk,20050607-62165.id.html>. Pada tanggal 28 Januari 2011.
- Connel, D.W. dan Miller, G.J. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Jakarta: UI.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam)*. Bogor: UI.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Bogor: UI.
- Fitter, A.H. dan Hay, R.K.M. 1992. *Fisiologi Lingkungan Tumbuhan*. Yogyakarta: UGM.
- Kristanto, P. 2002. *Ekologi Industri*. Yogyakarta: ANDI.
- Loveless, A.R. 1991. *Prinsip-Prinsip Biologi Tumbuhan Untuk Daerah Tropik I*. Jakarta: Gramedia.
- Mahida, U.N. 1981. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: C.V. Rajawali.
- Mishra, S dan Dubey, R.S. 2005a. *Heavy Metal Toxicity Induced Alterations in Photosynthetic Metabolism in Plants*. India : Banaras Hindu University. Diakses dalam <http://www.psi.cz/ftp/ola/Handbook%20of%20Photosynthesis/DK3138ch44.pdf>. Pada tanggal 23 September 2011.

- Mishra, S dan Dubey, R.S. 2005b. Toxic Metal on Plants. India : Banaras Hindu University. Diakses dalam <http://www.scielo.br/./a04v17n1.pdf>. Pada tanggal 15 Januari 2012.
- Osmolovskaya, 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. Jakarta: Rineka Cipta.
- Podrazo, P. 2010. Elodea canadensis (aquatic plant). Diakses dalam <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=290&fr=1&sts=sss>. Pada tanggal 28 Januari 2011.
- Priyanto, B. dan Prayitno, J. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat . diakses dalam <http://lfl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm>. Pada tanggal 26 Januari 2011.
- Prasad, M.N.V. 2008. Aquatic Plants for Phytotechnology. Diakses dalam <http://sumarsih07.files.wordpress.com/2008/09/aquatic-plant.pdf>. Pada tanggal 26 Januari 2011.
- Salisbury, F.B. ; dan Ross, C.W. 1995. Fisiologi Tumbuhan Jilid I. Bandung: ITB.
- Saygideger , S. ; Muhittin D. ; dan Gonca K. 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 2011.
- Sembiring, E. ; dan Endah, S. 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 2011.
- Wardhana, W.A. 1995. Dampak pencemaran Lingkungan. Yogyakarta: ANDI.