

FITOREMEDIASI TIMBAL (PB) DALAM AIR TERCEMAR OLEH TUMBUHAN AIR *GREAT DUCKWEED (SPIRODELA POLYRHIZA)*

Syamsul Bahri

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air
Jl. Ir. H. Juanda 193 Bandung 40135
e-mail : sy_albahri@yahoo.co.id atau syamsul.bahri@pusair-pu.go.id

Diterima: 6 Juli 2010 ;Disetujui: 24 September 2010

ABSTRAK

Studi pendahuluan tentang potensi makrofita akuatik great duckweed (*Spirodela polyrhiza*) untuk fitoremediasi timbal telah diteliti. Great duckweed ditumbuhkan pada larutan Hoagland yang mengandung empat konsentrasi timbal (1,0; 3,0; 6,0; and 9,0 mg/L) dan tanpa timbal sebagai kontrol (0 mg/L). Dari hasil penelitian ternyata, mulai hari ke-1 hari hingga ke-7, semua tanaman great duckweeds menunjukkan pertumbuhan normal. Pada minggu ke-2 hingga ke-3, warna beberapa helai daun great duckweed berubah menjadi kekuning-kuningan. Akan tetapi tanaman tersebut masih menunjukkan adanya pertumbuhan, seperti peningkatan jumlah anakan sebesar 150% hingga 200%, laju pertumbuhan (μ) meningkat sebesar 34% ($\mu = 0,039$ gram berat basah/hari) hingga 54% ($\mu = 0,045$ gram berat basah/hari) sedangkan pada kontrol $\mu = 0,029$ gram berat basah/hari, dan waktu penggandaan atau generation time (t_{gen}) lebih cepat 6,1 hingga 8,5 hari daripada kontrol (23,9 hari). Fenomena ini diduga bahwa timbal berfungsi sama seperti besi pada proses fotosintesis. Dugaan lainnya berkaitan dengan aktivasi enzim oleh adanya atom-atom logam. Secara umum kemampuan tumbuhan air great duckweed dalam mengabsorpsi timbal pada medium pertumbuhan menunjukkan korelasi yang kuat terhadap konsentrasi awal logam tersebut dalam medium. Dari uji korelasi ternyata kemampuan absorpsi terhadap logam timbal berada pada nilai koefisien korelasi (r absorpsi) sebesar -0,83 hingga -0,90. Perbandingan akumulasi timbal per berat kering biomas antara daun-tangkai dan akar sebesar 1 : 2 hingga 1 : 3. Selama 23 hari masa pertumbuhan, great duckweed mampu menyisihkan timbal sebesar 96,53 % - 99,55 % dan rata-rata 97,64 %. Dengan demikian great duckweed berpotensi untuk digunakan sebagai tumbuhan untuk fitoremediasi timbal.

Kata Kunci: Akumulasi, logam timbal, great duckweed (*Spirodela polyrhiza*), air tercemar, sistem aliran statis

ABSTRACT

A preliminary study on the potential of aquatic macrophyte Great Duckweed (*Spirodela Polyrhiza*) for lead phyto-remediation was carried out. Great Duckweed is planted in Hoagland solution containing four lead concentrations (1.0, 3.0, 6.0, and 9.0 mg/L) and solution without lead concentration (0 mg/L) as control of concentration balance. Study results indicated that from the first day up to the seventh day, Great Duckweed shows a normal growth. Although in the second week to third week, color of leaf change to yellowish, plants still show an increasing of growth, as indicated by the increment of budding 150% - 200%, growth rate 34% ($\mu = 0,039$ gram wet weight/day) until 54% ($\mu = 0,045$ gram wet weight/day), while the control $\mu = 0,029$ gram wet weight/day, and doubling time or generation time (t_{gen}) more quick 6,1 - 8,5 days then control (23,9 days). It is assumed that lead in the phenomena is functioning similarly to iron in the photo-synthetic process. The other assumption was related to metal-activated enzymes. In generally, lead up-take by Great Duckweed correlates strongly to first concentration on medium with correlation coefficient (r) - 0.83 to - 0.90. Accumulation of lead balance per biomass dry weight between leaf-stem and root shows 1:2 - 1:3. During twenty three days of growth, Great Duckweed can remove lead with 96.53% - 99.55%, or average of 97.64%. Great Duckweed shows therefore a great potential as plant lead phyto-remediation.

Keywords: Accumulation, lead, great duckweed (*Spirodela polyrhiza*), polluted water, batch system.

PENDAHULUAN

Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan atau pohon untuk menyisihkan atau menetralkan kontaminan, seperti yang berada dalam tanah atau air yang tercemar (The American Heritage, 2000). Terjadinya kontaminasi tanah dan air oleh logam-logam berat misalnya sebagai akibat dari aktivitas manusia, pertanian dan industri. Di antara logam berat tersebut, logam timbal (Pb) merupakan pencemar potensial yang mudah terakumulasi dalam tanah dan sedimen. Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, menyatakan logam timbal (Pb) adalah salah satu logam berat yang termasuk ke dalam kelompok bahan beracun dan berbahaya (B3). Keberadaan logam timbal di perairan dapat bertambah bila terjadi introduksi dari berbagai sumber yang mengandung logam tersebut. Logam timbal di perairan berada dalam berbagai keadaan, baik berbentuk ion bebas maupun kompleks yang larut atau tersorpsi.

Substansi tersorpsi dapat terjadi pada materi koloid atau padatan tersuspensi atau organisme yang hidup di perairan tersebut. Beberapa senyawa kimia tersebut kemudian masuk ke dalam siklus biogeokimia. Walaupun timbal bukan termasuk elemen pokok untuk tumbuhan, tetapi logam tersebut dapat secara mudah terabsorpsi dan terakumulasi pada bagian-bagian tumbuhan (Sharma and Dubey, 2005). Fakta membuktikan bahwa tumbuhan air mengakumulasi logam-logam dari lingkungannya dan kadarnya bertambah pada rantai trofik dengan pengaruh akumulasinya (Trempe and Kohler, 1995 dalam Miretzky, Saralegui, and Cirelli, 2004). Kadar logam terakhir dalam tumbuhan biasanya cukup signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan kadar di dalam kolom air. Fakta ini juga membuat para peneliti lebih tertarik dalam mempelajari toksisitas logam-logam dalam tumbuhan serta toleransi tumbuhan itu sendiri (Ernst *et al*, 1992 dalam Miretzky, Saralegui, and Cirelli, 2004).

Di antara tumbuhan air yang hidupnya mengapung (*floating*) adalah *great duckweed* (Anonymous, 2008). Tumbuhan ini merupakan salah satu gulma air, karena pertumbuhannya sangat cepat. Tumbuhan ini juga mempunyai kemampuan yang besar dalam mengurangi pencemaran air, menyerap kelebihan nutrisi dalam air, seperti fosfor, nitrogen (Rook, 2002). Pada penelitian ini akan menguji kemampuan tumbuhan air *great duckweed* dalam menyisihkan

atau mengakumulasi logam timbal dari air yang tercemar. Bagaimana pula pengaruh logam timbal terhadap pertumbuhannya.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kemampuan tumbuhan air *great duckweed* dalam mengakumulasi logam berat timbal dan pengaruh logam tersebut terhadap parameter pertumbuhannya dalam kondisi sistem aliran air statis (*Batch system*).

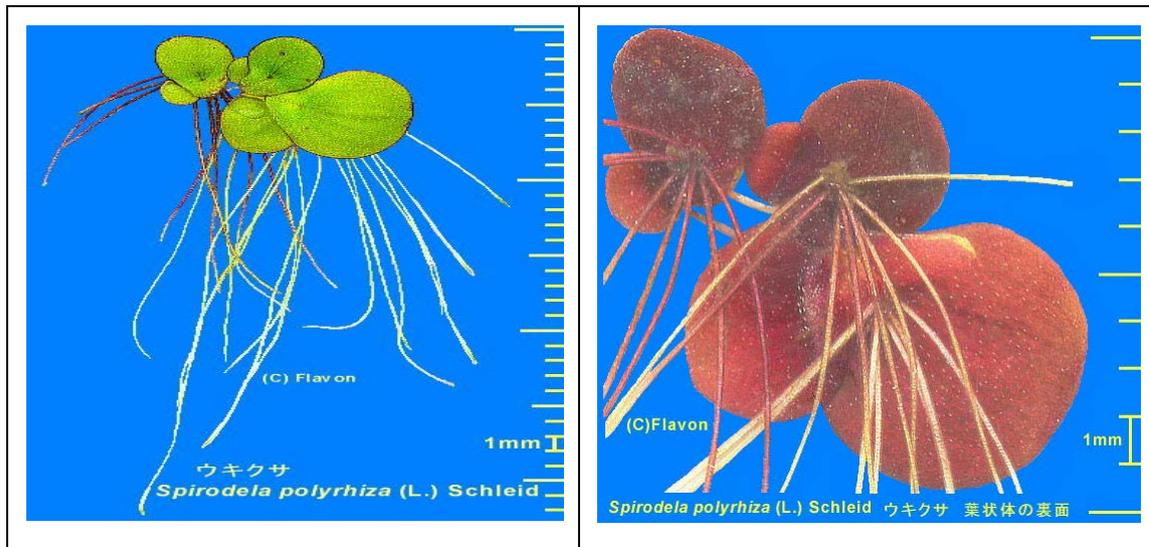
TINJAUAN PUSTAKA

1 Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan atau pohon untuk menyisihkan atau menetralkan kontaminan, seperti yang berada dalam tanah atau air yang tercemar (The American Heritage, 2000). Istilah fitoremediasi sendiri merupakan pengembangan dari konsep bioremediasi secara umum. Dalam istilah bioremediasi, senyawa kontaminan yang disisihkan atau dinetralkan dapat berupa senyawa berbahaya. Senyawa berbahaya tersebut merupakan senyawa target, yang mungkin atau tidak mungkin dapat menjadi bagian substrat tumbuhan. Keberhasilan bioremediasi dikendalikan oleh adanya sumber energi yang sesuai, sistem donor-akseptor elektron, dan nutrisi (Cookson Jr., 1995).

2 Tumbuhan *great duckweed*

Tumbuhan *great duckweed* (Gambar 1) merupakan salah satu gulma air, karena pertumbuhannya sangat cepat. Tumbuhan ini hidup pada kolam, sungai atau rawa. Tumbuhan ini mudah terbawa oleh pergerakan angin dan pertumbuhannya sangat cepat dalam air sungai dan mudah ditemukan di antara tumbuhan air terapung lainnya. *Great duckweed* berkembang biak secara vegetatif dan generatif. Perkembangbiakan secara vegetatif dengan cara tunas menunjukkan perkembangan lebih cepat dibandingkan dengan tumbuhan air yang sejenis. Tumbuhan ini berkembangbiak sangat cepat hingga dapat menutupi permukaan air sungai. *Great duckweed* berbeda dengan *lesser duckweed* (*Lemna minor*) dalam hal ukuran daun yang lebih besar, warna permukaan daun kemerah-merahan hingga ungu dan akarnya berlipat-lipat jumlahnya. *Great duckweed* memiliki ukuran lebar daun (*frond*) $\frac{1}{4}$ inci atau lebih, sedangkan *lesser duckweed* memiliki diameter jarang hingga $\frac{1}{8}$ inci (Rook, 2002).



Gambar 1 Tumbuhan air *great duckweed* (*Spirodela polyrhiza*) (sumber : www.alpine-plants-jp.com, 2000)

3 Logam timbal

Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, menyatakan logam timbal (Pb) adalah salah satu logam berat yang termasuk ke dalam daftar kelompok bahan beracun dan berbahaya (B3). Pada umumnya logam ini banyak dimanfaatkan dalam industri pembuatan baterai, cat, bahan pewarna, bahan peledak dan elektroplating. Limbah cair industri yang mengandung persenyawaan logam berat bersifat toksik terhadap tumbuhan, hewan dan manusia, seperti halnya logam timbal. Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 82 tahun 2001 kadar maksimum Pb di perairan adalah 0,03 mg/L.

Timbal merupakan salah satu logam berat non-esensial yang sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (toksisitas) pada makhluk hidup. Racun ini bersifat akumulatif, artinya sifat racunnya akan timbul apabila terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar dalam tubuh makhluk hidup. Timbal terdapat dalam air dapat terjadi karena adanya kontak antara air dengan tanah atau udara tercemar timbal, air yang tercemar oleh limbah industri atau akibat korosi pipa (Ulfin, 1995 dalam Purnomo dan Muchyiddin, 2007).

METODOLOGI

1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Kondisi lingkungan penelitian dikondisikan sehingga gangguan faktor luar dapat diminimalisasi dengan ditempatkan pada

rumah kaca. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juni hingga Juli 2004. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Balai Lingkungan Keairan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya air, Bandung.

2 Desain Percobaan

Penelitian laboratorium ini menggunakan desain percobaan acak sempurna model tetap. Faktor perlakuan adalah variasi konsentrasi timbal, yaitu 1,0 mg/L; 3,0 mg/L; 6,0 mg/L dan 9,0 mg/L dan volume medium pertumbuhan larutan Hoagland masing-masing sebanyak 7 liter. Pengulangan percobaan dilakukan sebanyak dua kali (duplo). Tumbuhan air *great duckweed* yang digunakan untuk tiap perlakuan masing-masing sebanyak satu individu. Kondisi sistem aliran air yang digunakan adalah statis (*batch system*).

3 Bahan dan Alat

1) Bahan

Bahan penelitian yang digunakan meliputi tumbuhan air *great duckweed*, logam timbal, medium pertumbuhan. Tumbuhan air *great duckweed* yang digunakan diperoleh di persawahan sekitar daerah Bojongsong, Kabupaten Bandung. Tumbuhan ini diperbanyak pada kolam terbuka yang diberi pupuk kandang. Tumbuhan *great duckweed* yang digunakan untuk penelitian ini adalah anakan ke satu yang berusia 7 hari dari beberapa generasi dengan ciri memiliki 3 sampai 4 helai daun berwarna hijau

tua, panjang akar 15,7 cm hingga 21,9 cm, dan keadaan keseluruhan tumbuhan tersebut sehat dan tidak ada cacat. Logam timbal (Pb) yang digunakan berasal dari senyawa timbal nitrat ($Pb(NO_3)_2$) yang dilarutkan dalam akuades. Medium pertumbuhan *great duckweed* yang digunakan adalah larutan Hoagland, dengan volume sebanyak tujuh liter tiap kontainer percobaan.

2) Alat

Penelitian ini dilakukan pada rumah kaca. Kontainer berupa ember plastik berwarna hitam sebagai tempat percobaan pertumbuhan *great duckweed*.

4 Parameter Yang Diamati

Penelitian ini dilakukan selama tiga minggu. Parameter yang dikaji meliputi kondisi secara visual tumbuhan *great duckweed* sebelum dan setelah perlakuan, pendekatan matematis berkaitan parameter pertumbuhan eksponensial tumbuhan *great duckweed*, dan kuantitas timbal yang terakumulasi dalam tumbuhan percobaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

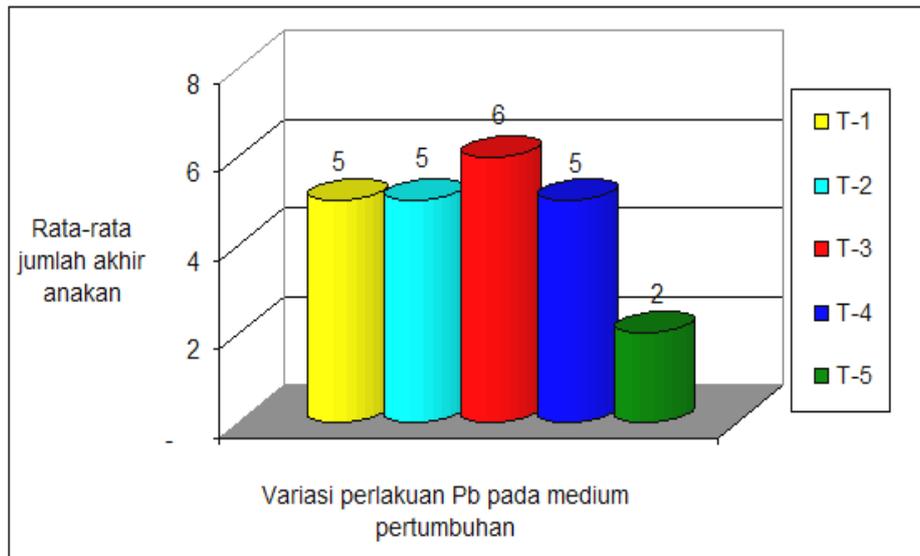
Greatduck weed merupakan tumbuhan air kategori makrofita (tumbuhan yang terlihat secara kasat mata). Tumbuhan ini hidup mengapung di air (floating plant), baik pada air yang diam ataupun bergerak pelan, seperti kolam, danau, sungai, rawa drainase. Tumbuhan ini berkembangbiak secara vegetatif melalui proses pembentukan tunas (budding) di mana anakan tersebut tumbuh di bagian pinggir tumbuhan induknya (Landolt, 1986 dalam Anonymous, 2006). Anakan tersebut tumbuh menempel ke induknya selama periode tertentu atau melakukan pertunasan kembali sebelum pada akhirnya memisahkan diri dengan induknya (Traver et al, 1986 dalam Anonymous, 2006). Tanaman ini memiliki laju ekspansi sebesar 0,15 m² per hari yang ditumbuhkan dalam kolam air buangan domestik (Anonymous, 2004). Kehomogenan populasi tumbuhan ini sangat ditentukan oleh faktor-faktor yang mendukung kehidupannya dan senyawa-senyawa kimia yang ada pada ekosistem air tawar (Charpentier and Garnier, 1985 dalam Saadi, Guerbet, and Garnier, 2002).

1 Respon tumbuhan air *great duckweed* terhadap logam timbal

Tahap awal percobaan, individu tumbuhan *great duckweed* yang digunakan, terlebih dahulu ditanam pada larutan Hoagland selama satu minggu. Tujuan perlakuan ini adalah untuk menentukan respon tumbuhan ini terhadap media pertumbuhan larutan Hoagland dan memberi kesempatan untuk menyesuaikan pada media pertumbuhan yang baru. Berdasarkan hasil pengamatan, secara umum individu tumbuhan *great duckweed* di semua kontainer percobaan menunjukkan respon positif terhadap pertumbuhannya. Secara visual daun *great duckweed* berwarna hijau tua dan mengkilap, segar, dan tidak ada kelayuan (sehat) serta warna akarnya coklat muda. Dengan demikian larutan Hoagland sebagai media pertumbuhan *great duckweed* tersebut mampu mendukung segala kebutuhan tumbuhan ini untuk tumbuh secara optimal. Komposisi dalam larutan Hoagland mengandung semua unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan, seperti unsur makro (N, P) dan mikro (Mg, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo) telah lengkap.

Setelah satu minggu dilakukan aklimatisasi pada media Hoagland, selanjutnya semua kontainer ditambahkan larutan yang mengandung logam timbal, kecuali kontainer kontrol. Pemberian larutan timbal pada kontainer dihitung volumenya, sehingga kadar logam dalam 7 liter larutan Hoagland tiap kontainer bervariasi ± 7,0 mg; 21,0 mg; 42,0 mg dan 63,0 mg. Setelah selama satu minggu dari penambahan logam timbal ke dalam media, kondisi tumbuhan *great duckweed* pada semua perlakuan percobaan tidak banyak mengalami perubahan yang berarti dibandingkan dengan kontrol. Pada minggu pertama tersebut juga muncul anakan baru masing-masing satu buah, baik di semua perlakuan percobaan maupun kontrolnya. Memasuki minggu kedua, kondisi visual tumbuhan *great duckweed* di semua kontainer dengan perlakuan logam mulai mengalami perubahan. Perubahan tersebut terjadi pada warna daun yang menjadi agak menguning terjadi pada 1 hingga 2 helai daun saja, sebaliknya pada kontainer kontrol kondisinya tetap, tidak mengalami gangguan.

Adanya gangguan seperti perubahan warna daun, dari hijau menjadi agak kekuningan atau klorosis adalah salah satu tanda efek dari logam Pb (Burton et al, 1984 dalam Sharma and Dubey, 2005). Ketika logam Pb masuk ke dalam sel tumbuhan, meskipun dalam jumlah kecil tetapi dapat memberi efek bermacam-macam



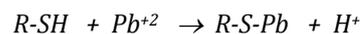
Keterangan :
 T-1 = *great duckweed* dalam Pb 1 mg/L
 T-2 = *great duckweed* dalam Pb 3 mg/L
 T-3 = *great duckweed* dalam Pb 6 mg/L
 T-4 = *great duckweed* dalam Pb 9 mg/L
 T-5 = *great duckweed* tanpa logam Pb (kontrol)

Gambar 2 Persentase jumlah anakan di akhir percobaan pada berbagai variasi konsentrasi Pb dalam medium pertumbuhan

terhadap proses fisiologis tanaman atau fitotoksitas. Fitotoksitas adalah fenomena yang terkait dengan suatu bahan yang merugikan dan terakumulasi di dalam jaringan tanaman sampai pada tingkat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan optimal (Davis *et al*, 1977 dalam Chadikun, 2007). Efek tersebut meliputi penurunan potensial air, perubahan permeabilitas membran sel, penurunan dalam status hormonal dan transpor elektron, sebaliknya aktivitas enzim dapat meningkat atau terhambat (Sharma and Dubey, 2005). Logam berat yang berada di lingkungan ekstraseluler dapat terabsorpsi ke dalam sel, walaupun harus berhadapan dengan respon pertahanan spesifik dari sel itu sendiri. Proses absorpsi tersebut dapat terjadi karena ion logam dapat mengikat secara kompetitif atau ketidaksengajaan terhadap berbagai ligan pada permukaan membran sel, *ion channel*, atau tempat-tempat aktif dari kompleks enzim-protein.

Pada konsentrasi Pb yang tinggi, logam Pb yang terabsorpsi dapat menyebabkan kematian sel tumbuhan (Seregin and Ivanov, 2001 dalam Sharma and Dubey, 2005). Di dalam sel, ion Pb dapat menghambat aktivitas enzim yang mengandung kelompok sulfidril (-SH) yang

diperlukan untuk aktivitas sel (Van Assche and Clijsters, 1990 dalam Sharma and Dubey, 2005). Reaksi antara enzim kelompok sulfidril dengan ion logam Pb adalah pembentukan merkaptida (R-S-Pb), yaitu :



Pada minggu ketiga (akhir percobaan), kondisi tumbuhan *great duckweed* di semua kontainer dengan perlakuan logam Pb masih memperlihatkan adanya pertumbuhan. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan parameter pertumbuhan, yaitu jumlah anakan yang tumbuh dari induknya. Pada akhir percobaan, di semua kontainer medium pertumbuhan *great duckweed*, baik yang diberi perlakuan logam timbal maupun kontrol, ternyata menunjukkan adanya penambahan jumlah anakan (Gambar 2).

Jumlah anakan *great duckweed* di semua kontainer yang diberi perlakuan logam timbal (T-1, T-2, T-3, T-4) menunjukkan jumlah lebih tinggi dibandingkan dengan kontrolnya (T-5). Kenaikan jumlah anakan pada kontainer dengan perlakuan timbal mencapai 150 % hingga 200 % dibanding kontrolnya (Gambar 2). Dengan demikian medium pertumbuhan Hoagland yang

ditambahkan logam Pb cukup mendukung untuk berkembangbiak *great duckweed*. Bahkan, dengan adanya perlakuan logam timbal pada medium pertumbuhan hingga konsentrasi 9 mg/L dapat meningkatkan pertumbuhan *great duckweed*. Penelitian lain menemukan bahwa penambahan timbal 5 hingga 50 mg/L pada medium pertumbuhan menyebabkan penurunan laju pertumbuhan, akan tetapi tumbuhan ini mampu mengakumulasi logam tersebut (Leblebici and Aksoy, 2011).

2 Pengaruh logam timbal terhadap parameter laju pertumbuhan (μ)

Seperti telah diuraikan sebelumnya, ternyata logam timbal secara visual terlihat pengaruhnya terhadap penambahan anakan *great duckweed*. Hal demikian tentunya berpengaruh pula terhadap parameter pertumbuhan eksponensial dari tumbuhan tersebut, yaitu laju pertumbuhan (μ), waktu penggandaan atau *generation time* (t_{gen}). Seperti telah diketahui, untuk menyatakan adanya hubungan kuantitatif berkaitan dengan suatu pertumbuhan, dapat digunakan persamaan diferensial berikut (Brock and Madigan, 1995):

$$dX/dt = \mu X \quad \dots (1)$$

di mana:

X , adalah berat basah tumbuhan (gram)

μ , adalah laju pertumbuhan

t , adalah waktu pertumbuhan

Jika persamaan (1) diintegrasikan, maka diperoleh persamaan di bawah ini, yaitu :

$$\ln X_t = \ln X_o + \mu (t) \quad \dots (2)$$

di mana:

X_o , adalah berat basah (gram) awal pada $t = 0$

X_t , adalah berat basah pada waktu t

t , adalah waktu yang digunakan selama pertumbuhan yang diukur (hari)

Persamaan (2) tersebut dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas populasi tumbuhan pada fase eksponensial dalam kultur *batch*, seperti parameter laju pertumbuhan (μ). Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai laju pertumbuhan (μ) *great duckweed* yang diberi perlakuan logam timbal mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan kontrol. Laju pertumbuhan *great duckweed* meningkat dengan bertambahnya konsentarsi logam timbal hingga

konsentrasi 9 mg/L (Gambar 3). Tercatat laju pertumbuhan *great duckweed* (μ) tanpa perlakuan logam timbal sebesar 0,029 gram berat basah (bb) per hari, sedangkan dengan adanya perlakuan konsentrasi logam timbal antara 1 hingga 9 mg/L mengalami kenaikan laju pertumbuhan sebesar 34 % ($\mu = 0,037$) hingga 54 % ($\mu = 0,043$) (Gambar 3).

Jika persamaan (2) diberikan antilogaritmanya terhadap masing-masing sisi, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$X_t = X_o e^{\mu t} \quad \dots (3)$$

Persamaan (3) ini berguna untuk memprediksi kepadatan populasi atau parameter lain yang berkaitan dengan kepadatan populasi pada suatu waktu yang akan datang, setelah diketahuinya nilai parameter tersebut saat sekarang dan nilai laju pertumbuhannya (μ). Dengan demikian, jika nilai laju pertumbuhan (μ) yang diperoleh dari hasil percobaan, seperti pada Gambar 3, dimasukkan ke dalam persamaan (3), maka diperoleh nilai berat basah per satuan waktu (X_t) pada waktu tertentu sebagai hasil simulasi (Gambar 4).

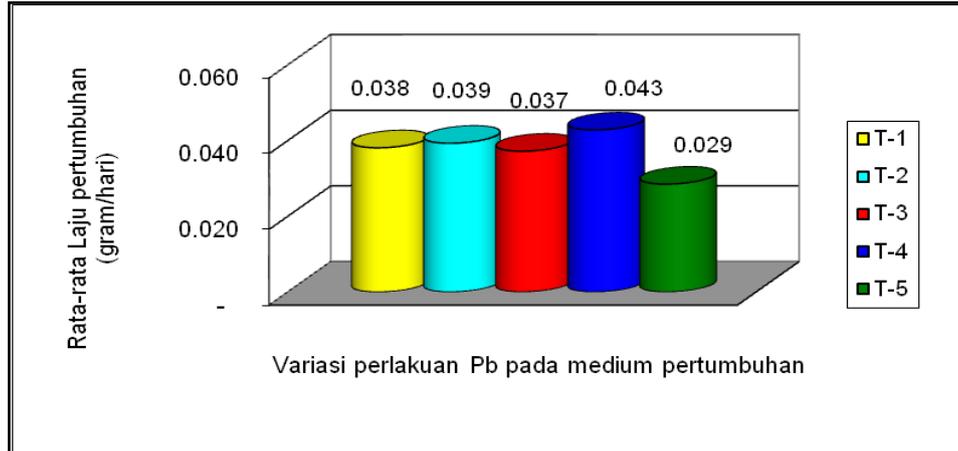
Untuk mengetahui kecocokan data hasil simulasi terhadap hasil percobaan, selanjutnya dilakukan uji korelasi Pearson. Berdasarkan uji korelasi tersebut, nilai laju pertumbuhan (μ) sebesar 0,038 per hari memperlihatkan nilai korelasi terbaik ($r = 0,98$) antara data simulasi dan data hasil percobaan (Gambar 4.a). Adapun nilai korelasi untuk nilai laju pertumbuhan (μ) 0,038; 0,037 dan 0,043 per hari, secara berturut-turut adalah $r = 0,93$; $r = 0,83$ dan $r = 0,74$ (Gambar 4 b,c,d).

Dengan memperhatikan nilai-nilai korelasi (r) di atas dan dikaitkan dengan nilai laju pertumbuhan pada fase eksponensial, ternyata menunjukkan nilai yang berbalikan. Bertambahnya nilai laju pertumbuhan eksponensialnya, menyebabkan nilai korelasi menurun. Hal ini diduga bahwa dengan bertambahnya kadar Pb dalam medium, ternyata meningkatkan laju pertumbuhan dan menyebabkan penyimpangan dari kondisi alami tumbuhan ini. Penyimpangan tersebut semakin besar dengan bertambahnya kadar Pb, seperti ditunjukkan dengan nilai korelasi tersebut.

Dalam kaitannya dengan pengaruh logam Pb terhadap kenaikan laju pertumbuhan tanaman, hasil penelitian sebelumnya

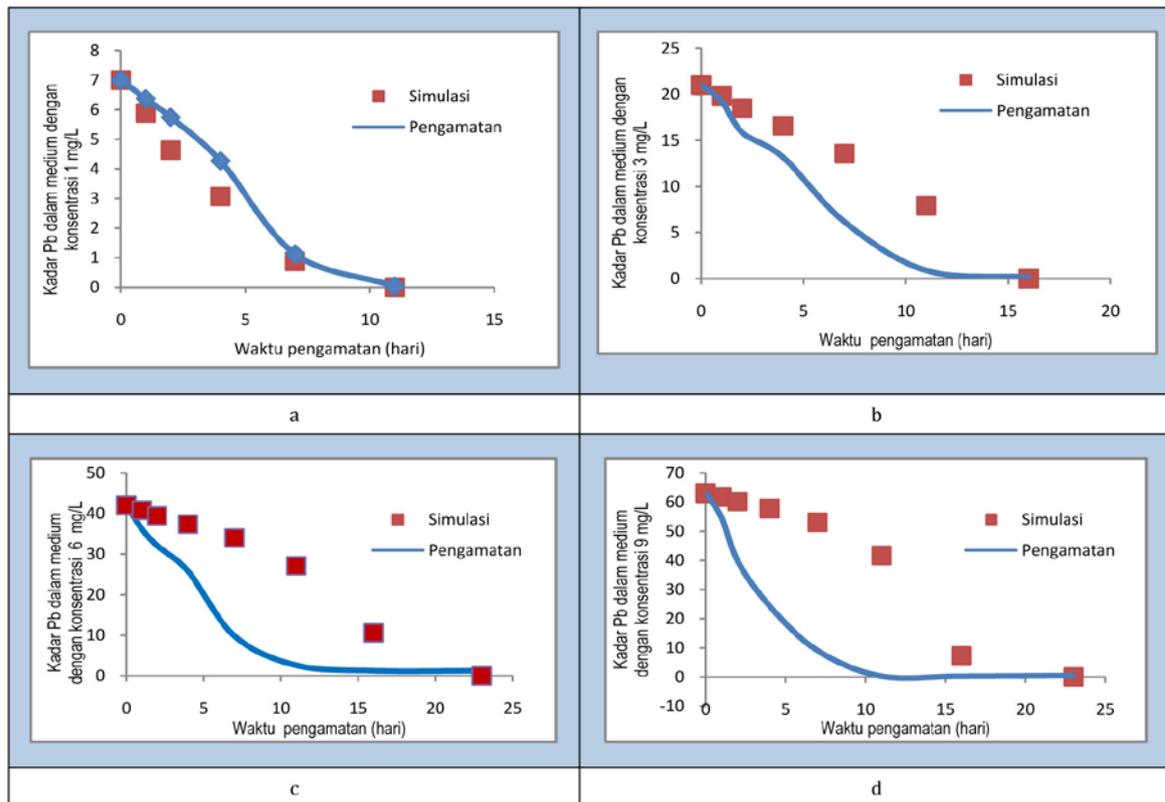
menyatakan, bahwa logam timbal pun mampu meningkatkan biomasa eceng gondok hingga 1.700 % dengan kadar Pb dalam medium sebesar 0,255 mg/L (Muchtart, 1993). Menurut penelitian tersebut, fenomena ini ada kaitannya dengan penggunaan logam Pb dalam proses fotosintesis

yang fungsinya sama seperti logam besi (Fe). Bahkan dengan adanya timbal, pembentukan karbohidrat hasil fotosintesis semakin besar melebihi hasil kalau hanya terdapat logam besi saja. Dugaan lainnya tentang fenomena Pb adalah berkaitan dengan enzim-enzim yang



T-1 = *great duckweed* dalam Pb 1 mg/L, T-2 = *great duckweed* dalam Pb 3 mg/L
 T-3 = *great duckweed* dalam Pb 6 mg/L, T-4 = *great duckweed* dalam Pb 9 mg/L
 T-5 = *great duckweed* tanpa logam Pb (kontrol)

Gambar 3 Nilai laju pertumbuhan (μ) tumbuhan *great duckweed* pada berbagai perlakuan logam timbal



Gambar 4 Data kadar Pb (mg) dalam medium berdasarkan hasil simulasi dan percobaan pada berbagai nilai laju pertumbuhan (μ), a ($\mu=0,038$), b ($\mu=0,039$), c ($\mu=0,037$), d ($\mu=0,043$)

teraktifasi oleh ion-ion logam. Seperti diketahui bahwa lebih dari seperempat dari semua enzim yang diketahui, memerlukan adanya atom-atom logam untuk aktivitas katalitiknya (Palmer, 1991). Logam-logam tersebut di antaranya besi (Fe), natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), tembaga (Cu), seng (Zn), molibdenum (Mo), kobalt (Co) (Palmer, 1991).

Ion logam yang terlibat dalam katalisis enzim dapat terjadi dengan berbagai cara, yaitu ion logam menjadi penerima atau donor elektron untuk mengaktifkan elektrofil atau nukleofil (pada kondisi larutan netral); ion logam itu sendiri sebagai elektrofil atau nukleofil; ion logam sebagai masker nukleofil untuk mencegah reaksi yang tidak diinginkan; ion logam membawa enzim dan substrat bersama-sama membentuk ikatan koordinasi; ion logam menstabilkan suatu konformasi aktif dari enzim (Palmer, 1991).

Selanjutnya, untuk menentukan seberapa besar hubungan variabel konsentrasi timbal terhadap nilai laju pertumbuhan Great duckweed, peramalan dilakukan dengan analisis korelasi Pearson. Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh koefisien korelasi (r) sebesar 0,74. Tanda positif dari koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan konsentrasi timbal menyebabkan kenaikan parameter laju pertumbuhan great duckweed. Demikian pula jika memperhatikan nilai korelasi tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa kekuatan pengaruh perlakuan konsentrasi timbal terhadap laju pertumbuhan great duckweed memiliki arti korelasi yang kuat. Dengan analisis tersebut, sekitar 55 % perlakuan konsentrasi logam timbal tersebut diduga kuat telah mempengaruhi parameter laju pertumbuhan great duckweed.

1 Pengaruh logam timbal terhadap parameter waktu penggandaan atau generation time (t_{gen})

Selanjutnya parameter penting lainnya selama pertumbuhan eksponensial adalah waktu penggandaan atau waktu generasi (t_{gen}). Parameter waktu penggandaan populasi dapat terjadi saat $X/X_0 = 2$. Dengan menyusun kembali dan menambahkan nilai $X/X_0 = 2$ ke dalam persamaan (3), maka akan memberikan persamaan sebagai berikut :

$$2 = e^{\mu(t_{gen})} \quad \dots (4)$$

Kemudian dengan memberikan logaritma natural di masing-masing sisi dari persamaan (4), maka setelah disusun kembali akan memberikan persamaan berikut :

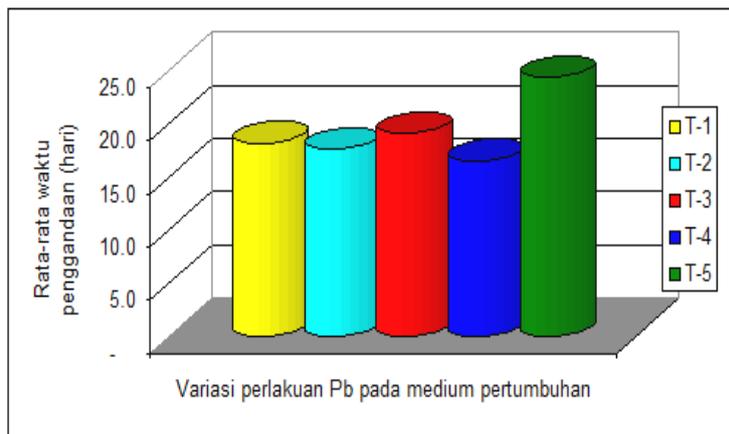
$$\mu = \ln 2/t_{gen} = 0,693/t_{gen} \quad \dots (5)$$

Berdasarkan hasil pengamatan ternyata, kenaikan laju pertumbuhan great duckweed diakibatkan pengaruh perlakuan logam timbal, membawa konsekuensi terhadap variabel waktu penggandaan tumbuhan lebih cepat dibandingkan tanpa perlakuan logam timbal. Waktu penggandaan great duckweed tanpa perlakuan menunjukkan nilai $t_{gen} = 23,9$ hari, sedangkan dengan perlakuan mencapai $t_{gen} = 15,4$ hingga $t_{gen} = 17,8$ hari. Dengan demikian terjadi percepatan waktu penggandaan berkisar antara 6,1 hingga 8,5 hari dibandingkan dengan tanpa perlakuan logam timbal (Gambar 5).

Selanjutnya untuk menentukan seberapa besar hubungan variabel konsentrasi timbal terhadap adalah waktu penggandaan atau waktu generasi (t_{gen}) great duckweed, peramalan dilakukan dengan analisis korelasi Pearson. Berdasarkan uji korelasi tersebut diperoleh koefisien korelasi (r) sebesar -0,66. Tanda negatif pada koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan konsentrasi timbal menyebabkan penurunan parameter waktu penggandaan great duckweed. Jika memperhatikan nilai korelasi tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa kekuatan pengaruh perlakuan konsentrasi timbal terhadap parameter waktu penggandaan great duckweed memiliki arti korelasi yang sedang. Dengan analisis tersebut, sekitar 44 % perlakuan konsentrasi logam timbal tersebut diduga kuat telah mempengaruhi parameter waktu penggandaan tumbuhan great duckweed.

2 Akumulasi logam timbal dalam tumbuhan great duckweed (*Spirodela polyrhiza*)

Senyawa-senyawa kimia, seperti ion logam berat yang berada di lingkungan ekstra selular dapat juga terabsorpsi ke dalam sel, walaupun harus berhadapan dengan respon pertahanan dari sel itu sendiri. Menurut Nye dan Tinker (1977) dalam Fitter dan Hay (1991) salah satu cara pergerakan ion ke arah akar tanaman yang lebih cepat adalah melalui aliran massa dalam air, yang bergerak menuju akar ke gradien potensial yang disebabkan oleh transpirasi. Proses lainnya adalah difusi, di mana gradien



Keterangan :
 T-1 = *great duckweed* dalam Pb 1 mg/L
 T-2 = *great duckweed* dalam Pb 3 mg/L
 T-3 = *great duckweed* dalam Pb 6 mg/L
 T-4 = *great duckweed* dalam Pb 9 mg/L
 T-5 = *great duckweed* tanpa logam Pb (kontrol)

Gambar 5 Waktu penggandaan (t_{gen}) tumbuhan *great duckweed* pada berbagai perlakuan logam timbal

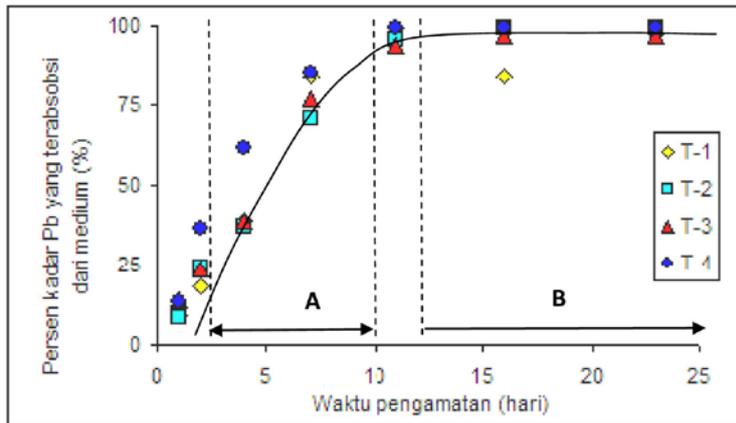
konsentrasi dihasilkan oleh pengabsorbsian pada permukaan akar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan pemberian logam timbal antara 7,0 mg hingga 63,0 mg dalam 7 liter media pertumbuhan larutan Hoagland, kemampuan tumbuhan *great duckweed* dalam mengakumulasi logam timbal hampir sama polanya untuk tiap variasi perlakuan (Gambar 6).

Dari gambar tersebut dapat disimpulkan secara umum, pola penyerapan logam timbal oleh tumbuhan ini mengilustrasikan suatu kurva hipotetik dari pola pertumbuhan pada umumnya. Dari gambaran tersebut terlihat pola penyerapan logam timbal mengikuti pola penyerapan ion oleh tumbuhan pada umumnya, yaitu adanya fase eksponensial (huruf A) dan dilanjutkan fase stasioner (huruf B). Fenomena ini sesuai dengan uraian sebelumnya, bahwa adanya logam timbal dalam medium pertumbuhan meningkatkan laju pertumbuhan dan waktu penggandaan *great duckweed*. Fase eksponensial diperkirakan terjadi mulai hari pertama hingga hari kesembilan dan fase stasioner dimulai pada hari ke-11 dan 12 (Gambar 6).

Dari gambar di atas, pada fase eksponensial diperkirakan berat rata-rata absorpsi timbal oleh *great duckweed* sekitar 8,81 % per hari, sedangkan pada fase stasioner sekitar 1,59 % per hari. Secara umum kemampuan tumbuhan air *great duckweed* dalam mengabsorpsi timbal dalam medium pertumbuhan menunjukkan korelasi yang kuat terhadap waktu tumbuhnya. Berdasarkan uji korelasi Pearson, ternyata kemampuan absorpsi terhadap logam timbal berada pada nilai koefisien korelasi (r absorpsi) sebesar -0,83 hingga -0,90. Menurut Fitter dan Hay (1991) ion

timbal termasuk ion toksik non-esensial terhadap tanaman, diakumulasi terutama dalam akar. Akumulasi ion toksik oleh akar merupakan fenomena yang umum terjadi. Dari penelitian ini perbandingan akumulasi kadar logam timbal per berat kering biomassa antara bagian daun-tangkai dan akar tumbuhan *great duckweed* mencapai rasio 1 : 2 hingga 1 : 3 (Gambar 7). Dari gambar tersebut, terlihat bahwa akumulasi logam timbal, baik di bagian daun-tangkai dan akar, kecenderungannya adalah naik mengikuti peningkatan kadar dalam medium pertumbuhan. Kadar logam timbal yang terakumulasi tertinggi di bagian akar sebesar 475,12 mg/gram berat kering diperoleh dari variasi pemberian logam timbal terbesar. Kadar logam timbal yang terakumulasi terkecil di bagian akar sebesar 32,29 mg/gram berat kering diperoleh dari variasi pemberian logam timbal terkecil. Demikian juga kadar akumulasi logam timbal di bagian daun-tangkai *great duckweed* mengikuti pola yang sama (Gambar 7).

Dari empat variasi berat logam timbal dalam medium pertumbuhan, setelah penanaman selama 23 hari, tumbuhan *great duckweed* menyisihkan logam timbal antara 96,53 % hingga 99,55 % dengan rata-rata 97,64 % (Gambar 8). Sisa logam timbal sebesar 0,31 % berada dalam media pertumbuhan *great duckweed* dan 2,05 % pada sedimen yang terbentuk dalam medium tersebut (Gambar 8). Sebenarnya, kemampuan tumbuhan *great duckweed* dalam menyisihkan logam Pb telah terlihat pada fase eksponensial hingga hari ke-11 (Gambar 6 pertumbuhan relatif *great duckweed*). Kemampuan tumbuhan *great duckweed* dalam menyisihkan logam timbal pada fase tersebut mencapai nilai rata-rata 97,18 %,



Keterangan :
 T-1 = great duckweed dalam Pb 1 mg/L
 T-2 = great duckweed dalam Pb 3 mg/L
 T-3 = great duckweed dalam Pb 6 mg/L
 T-4 = great duckweed dalam Pb 9 mg/L

Gambar 6 Persentase kadar logam Pb dalam medium pertumbuhan yang terabsorpsi oleh tumbuhan *great duckweed* pada berbagai variasi perlakuan konsentrasi Pb yang mengilustrasikan suatu kurva hipotetik penyerapan ion oleh tumbuhan pada umumnya

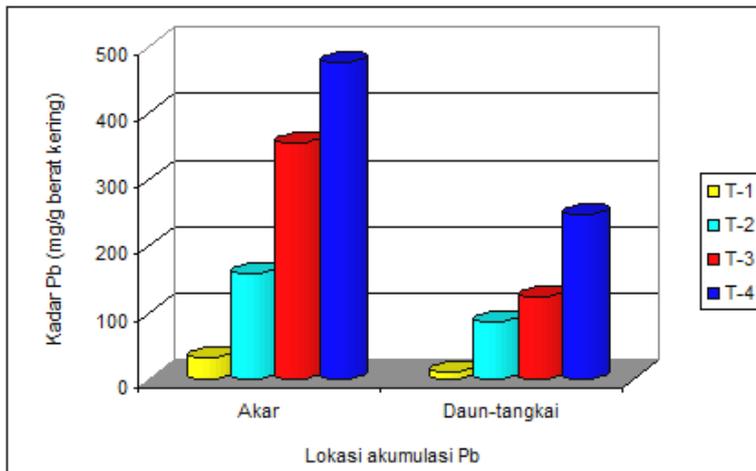
tidak jauh berbeda dengan hasil penyisihan hingga hari ke-23. Dengan demikian, tumbuhan air *great duckweed* mengindikasikan sebagai salah satu tumbuhan yang dapat dimanfaatkan dalam fitoremediasi logam timbal pada air yang tercemar. Penelitian lainnya menggunakan tumbuhan *Lemna minor* dengan kadar Pb dalam medium sebesar 1,50 mg/L memberikan hasil bahwa tumbuhan tersebut mampu menurunkan logam tersebut hingga 85 % setelah penanaman selama tujuh hari (Brahmana dan Moelyo, 2003).

KESIMPULAN

- 1 Dengan kadar logam timbal dalam medium mencapai 9 mg/L, kondisi tumbuhan *great duckweed* hingga minggu ketiga masih dapat bertahan untuk tumbuh dan berkembangbiak.
- 2 Di antara indikator pertumbuhan dan perkembangbiakan tumbuhan *great duckweed* adalah ditandai penambahan jumlah anakan. Bahkan, dengan adanya perlakuan logam timbal dalam medium, kenaikan jumlah anakan meningkat 150 % hingga 200 %.
- 3 Parameter Laju pertumbuhan *great duckweed* mengalami kenaikan sebesar 34 % ($\mu = 0,039$) hingga 54 % ($\mu = 0,045$) dibandingkan dengan laju pertumbuhan pada kontrol ($\mu = 0,029$). Berdasarkan analisis korelasi Pearson, ternyata pengaruh variabel konsentrasi timbal terhadap laju pertumbuhan *great duckweed* adalah sebesar

$r = 0,74$ yang berarti memiliki korelasi yang kuat.

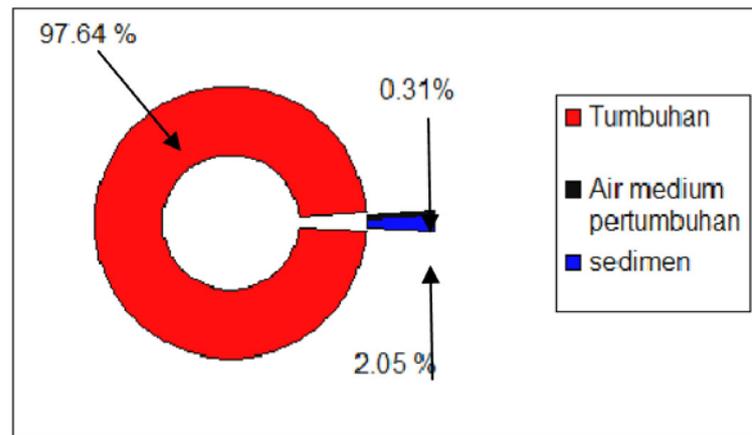
- 4 Demikian juga terjadi peningkatan pada parameter waktu penggandaan atau waktu generasi (t_{gen}) berkisar antara 15,4 hingga 17,8 hari dibanding kontrol 23,9 hari. Dari analisis korelasi Pearson, pengaruh variabel konsentrasi timbal terhadap laju pertumbuhan *great duckweed* hanya sebesar $r = -0,66$ yang berarti memiliki korelasi yang sedang.
- 5 Fenomena kenaikan parameter nilai laju pertumbuhan (μ) dan waktu penggandaan atau waktu generasi (t_{gen}) ini diduga berkaitan dengan penggunaan logam Pb dalam proses fotosintesis yang fungsinya sama seperti logam besi (Fe).
- 6 Kemampuan tumbuhan air *great duckweed* dalam mengabsorpsi timbal menunjukkan korelasi yang kuat terhadap konsentrasi awal logam tersebut dalam mediumnya dengan koefisien korelasi (r absorpsi) sebesar -0,83 hingga -0,90.
- 7 Akumulasi kadar logam timbal per berat kering biomassa antara bagian daun-tangkai dan akar tumbuhan *great duckweed* mencapai rasio 1 : 2 hingga 1 : 3. Akumulasi logam timbal, cenderung naik mengikuti peningkatan kadar dalam medium pertumbuhan.
- 8 Dari empat variasi berat logam timbal dalam medium pertumbuhan, setelah penanaman selama 23 hari, tumbuhan *great duckweed* menyisihkan logam timbal antara 96,53 % hingga 99,55 % dengan rata-rata 97,64 %.



Keterangan :

T-1 = *great duckweed* dalam Pb 1 mg/L
 T-2 = *great duckweed* dalam Pb 3 mg/L
 T-3 = *great duckweed* dalam Pb 6 mg/L
 T-4 = *great duckweed* dalam Pb 9 mg/L
 T-5 = *great duckweed* tanpa logam Pb (kontrol)

Gambar 7 Berat rata-rata logam timbal yang teradsorpsi dan terakumulasi pada akar dan gabungan daun-tangkai selama 23 hari



Gambar 8 Persen rata-rata logam timbal yang teradsorpsi dan terakumulasi pada tumbuhan, air medium pertumbuhan dan sedimen selama 23 hari

9 Dengan demikian, tumbuhan air *great duckweed* mengindikasikan sebagai salah satu tumbuhan yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan fitoremediasi logam timbal pada air yang tercemar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Bapak Drs. Rusvirman Muchtar, M.Si Dosen pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI) atas dukungannya, dan saudara Agus Rahmat Gumilar, S.Si atas bantuan data dan literturnya, sehingga tulisan ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 2004, *Penelitian Dan Pengembangan Ekoteknologi Untuk Pelestarian Sumber-Sumber Air*, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Balitbang Dep. Pekerjaan Umum, Bandung.
- Anonymous, 2006, *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid. (Giant Duckweed), Family Lemnaceae, http://el.erdc.usace.army.mil/aqua/apis/mergedProjects/Plant/html/spirodela_polyrhiza_l_schleid_giant_duckweed_.htm, akses tgl. 23 Juni 2009.

- Anonymous, 2008, *Aquatic, Wetland and Invasive Plants Line, Drawings*, copyright 2000 University of Florida available on <http://plants.ifas.ufl.edu/>, Akses internet tanggal 23 Juni 2009.
- Brahmana, S.S. dan Moelyo, M., 2003, *Penelitian Bioremediasi Sumber Air Tercemar Bahan Berbahaya dan Beracun*, Jurnal Pengairan Volume 17 Nomor 52 Tahun 2003, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan
- Chadikun, P., 2007, *Isolasi Protein Spesifik Akibat Induksi Logam Berat Tembaga, Timbal, dan Kadmium pada Tanaman Crotalaria sp.*, Bionatura, Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik, Vol. 9, No. 2, Juli 2007, ISSN 1411-0903, Lembaga Penelitian Unpad, Bandung.
- Cookson Jr., J.T., 1995, *Bioremediation Engineering Design and Application*, McGraw Hill, Inc., New York - San Francisco - Washington D.C. - Auckland - Bogota - Caracas - Lisbon - London - Madrid - Mexico City - Milan - Montreal - New Delhi - San Juan - Singapore - Sydney - Tokyo - Toronto
- Fitter, A.H. dan Hay, R.K., 1991, *Fisiologi Lingkungan Tanaman*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Leblebici, Z. And Aksoy, A., 2011, Growth and Lead Accumulation Capacity of Lemna minor and Spirodela polyrhiza (Lemnaceae): Interactions with Nutrient Enrichment, Journal Water Air Soil Pollution, Vol. 214, No. 1-4, P. 175-184, available on www.springerlink.com
- Miretzky, P., Saralegui, A., and Cireli, A.F., 2004, *Aquatic Macrophytes Potential for the Simultaneous Removal of Heavy Metals (Buenos Aires, Argentina)*, Journal Chemosphere 57, p. 997-1005, Elsevier Ltd.
- Muchtar, R., 1993, *Pengaruh Timbal dan Cadmium pada Pertumbuhan Eceng Gondok*, Disertasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Palmer, T., 1991, *Understanding Enzymes*, Third edition, Ellis Horwood, New York-London-Toronto-Sydney-Tokyo-Singapore.
- Purnomo, T. dan Muchyiddin, 2007, *Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (Chanos chanos Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik*, Neptunus, Vol. 14, No. 1, Juli 2007: 68 – 77.
- Rook, E. J. S., 2002, *Spirodela polyrhiza, Greater Duckweed*, available on www.rook.org/earl/bwca/nature/aquatics/spirodela.html, access on 14 April 2009.
- Saadi, A., Guerbet, M., and Garnier, J., 2002, *Influence of Diethyldithio-carbamate on Cadmium and Copper Toxicity to Freshwater Macrophyte Spirodela polyrhiza*, Water SA Vol. 28 No. 1, January 2002, ISSN 0378-4738.
- Sharma, P. and Dubey, R.S., 2005, *Lead Toxicity in Plant*, Brazilian Journal of Plant Physiology Vol. 17 No. 1 Londrina Jan/Mar. 2005, ISSN 1677-0420.
- The American Heritage® *Dictionary of the English Language*, Fourth Edition copyright ©2000 by Houghton Mifflin Company. Updated in 2003. Published by Houghton Mifflin Company. All rights reserved. Available on www.thefreedictionary.com/phytoremediation.
- University of Florida, Centre for Aquatic and Invasive Plant, 2000, Copyright 2000, available on www.aquat1.ifas.ufl.edu/, access on 14 April 2009.