

Pemanfaatan Phytoremediasi untuk Reduksi Beberapa Komponen Logam yang Terkandung dalam Air Limbah Suatu *Mud Pit* pada Skala Laboratorium

Oleh: M. Udiharto

Profesor Riset pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Teregistrasi I Tanggal 2 Februari 2009; Diterima setelah perbaikan tanggal 24 Februari 2009

Disetujui terbit tanggal: 12 Mei 2009

S A R I

Suatu penelitian phytoremediasi berskala laboratorium, telah dilakukan untuk mereduksi kandungan logam dalam air limbah dari suatu mud pit. Dalam penelitian ini tanaman air dari spesies *Azolla microphylla* dan *Salvina molesta* digunakan sebagai absorbernya. Kedua tanaman tersebut dapat menurunkan kandungan logam dengan cukup baik. Selama 12 hari proses phytoremediasi, tanaman air ini dapat mengabsorpsi kandungan logam tertinggi sebagai berikut Fe, Pb, Cr, Cu, Cd, Co, Ni, Mn, dan Zn sebesar 85,78%, 79,49%, 78,43%, 66,67%, 53,66%, 44,94%, 36,99%, 20,45%, 17,76%.

Kata kunci: Phytoremediasi

ABSTRACT

A laboratory scale research of phytoremediation for metals reduction was conducted in metal contaminated waste water of a mud pit. The aquatic plants of Azolla microphylla and Salvina molesta were used in this study. Both these plants were able to decrease metal concentration significantly. During 12 day incubation process remediation, the highest absorption of several metals such as Fe, Pb, Cr, Cu, Cd, Co, Ni, Mn and Zn by these plants are 85,78%, 79,49%, 78,43%, 66,67%, 53,66%, 44,94%, 36,99 %, 20,45%, and 17,76% respectively.

Key Words: Phytoremediation

I PENDAHULUAN

Phytoremediasi, merupakan suatu teknologi dengan memanfaatkan tanaman untuk membersihkan atau memulihkan kembali lingkungan tercemar. Pencemar yang ditangani dapat berupa logam berat yang dapat bersifat toksik terhadap organisme di lingkungannya, dan dapat pula bahan lain yang berpotensi mencemari lingkungan. Tanaman yang digunakan dapat berupa tanaman langsung (*in situ* atau *ex situ*) atau tanaman *ex situ* yang telah mengalami rekayasa genetika.

Dalam kaitan dengan kegiatan remediasi, phytoremediasi merupakan teknologi penanggulangan lingkungan tercemar yang sudah lama digunakan. Pada waktu awalnya pemanfaatan teknologi ini

terbatas dan kurang dikembangkan. Namun demikian pada saat ini teknologi tersebut banyak diminati, mengingat biaya operasinya relatif murah, metodologinya cukup sederhana, dan hasilnya cukup baik serta ramah lingkungan.

Suatu kegiatan penelitian phytoremediasi terhadap lingkungan air limbah telah dilakukan pada skala laboratorium. Dalam kegiatan ini dilakukan penurunan atau reduksi kandungan logam dalam air limbah yang berasal dari suatu *mud pit*. Banyak jenis tanaman berpotensi digunakan dalam proses phytoremediasi. Untuk mendukung kegiatan remediasi tersebut di atas, digunakan beberapa jenis tanaman air yang mudah tumbuh dan banyak ditemukan di sawah-sawah.

II TINJAUAN PUSTAKA

Phytoremediasi merupakan teknologi pembersihan atau pemulihan lingkungan tercemar dengan memanfaatkan tanaman *in situ* (tanaman alami setempat), atau *ex situ* yaitu tanaman alami atau hasil rekayasa genetika dari tempat lain. Teknologi tersebut berperan dalam pembersihan atau degradasi kontaminan dalam bentuk bahan organik dan anorganik serta logam di lingkungan tanah atau perairan.^(1,2,3) Pengembangan teknologi phytoremediasi mendapat perhatian khusus, hal ini disebabkan penerapan teknologi tersebut berpotensi dapat dilaksanakan dengan biaya rendah, teknik menyenangkan secara estetika, kontaminan tmelecit dapat diminimisasi, dan dapat untuk stabilisasi tanah.^(1,4) Ditinjau dari Istilah phytotremediasi, kegiatan ini merupakan penelitian dan pengembangan yang relatif baru, namun pada kenyataannya teknologi tersebut telah lama diaplikasikan.⁽⁵⁾

Di dalam aplikasinya, kegiatan phytoremediasi dapat dikelompokkan menjadi empat macam teknologi. Masing-masing mempunyai perbedaan mekanisme dalam meremediasi pencemar dalam tanah, sedimen, atau air. Keempat teknologi remediasi tersebut meliputi rhizofiltrasi, phytostabilisasi, phytovolatilisasi, dan phytoekstraksi.^(6, 7, 8)

Rhizofiltrasi, teknologi remediasi ini diperuntukkan menangani kontaminan berupa logam (bahan anorganik) dari lingkungan akuatik. Proses remediasi melibatkan tanaman yang ditumbuhkan secara hidroponik, selanjutnya tanaman tersebut dipindahkan ke air terkontaminasi logam. Logam yang terkandung dalam perairan tersebut selanjutnya diabsorpsi dan dihimpun di akar dan tunas/kecambah.^(3,9,10,11) Akar mengeluarkan dan terjadi perubahan pH rhizofere, hal ini menyebabkan logam mengendap dipermukaan akar. Setelah jenuh dengan kontaminan logam, akar atau seluruh tanaman dipanen untuk dibuang ditempat tertentu.^(3,11)

Rhizofiltrasi merupakan teknologi dengan biaya kompetitif untuk penanganan kandungan logam seperti Cr, Pb, Zn rendah tetapi konsentrasi signifikan di air permukaan atau air tanah.^(4,12)

Phytostabilisasi, dalam kegiatan ini digunakan spesies tanaman tertentu untuk membuat kontaminan tidak bergerak di dalam tanah dan air tanah, yaitu melalui adsorpsi dan akumulasi oleh akar, adsorpsi kedalam akar, atau pengendapan disekitar akar dan

stabilisasi fisik tanah. Phytostabilisasi juga dikenal sebagai phytorestorasi, yaitu teknik remediasi berbasis aktivitas tanaman yang menstabilkan limbah dan menjaga kerusakan siklusnya dari angin dan erosi air, memberikan kontrol hidrolis, menekan terjadinya migrasi kontaminan secara vertikal kedalam air tanah, dan membuat kontaminan secara kimia dan fisika menjadi tidak bergerak melalui adsorpsi akar dan fiksasi kimiawi dengan berbagai macam tanah.^(1,3, 6, 10, 13, 14) Smith dan Bradshaw (1992) telah mengembangkan dua varietas *Agrostis tenuis* Sibth dan satu *Festuca rubra* L secara komersial digunakan untuk phytostabilisasi kontaminan Pb, Zn, dan Cu dalam tanah.

Phytovolatilisasi, dalam teknologi ini memanfaatkan tanaman alami atau setelah mengalami modifikasi secara genetika sehingga mampu mengabsorpsi logam dari tanah, elemen tersebut kemudian diubah secara biologi menjadi gas dalam tanaman, dan selanjutnya gas tersebut dikeluarkan ke atmosfer. Beberapa kontaminan berupa logam seperti As, Hg, dan Se dapat berada dalam bentuk gas di lingkungan.⁽¹⁵⁾ Phytovolatilisasi terjadi selama pohon dan tanaman lain tumbuh mengambil air dan kontaminan dalam bentuk senyawa organik dan anorganik. Phytovolatilisasi terutama diaplikasikan untuk kontaminan dari air tanah.^(1,16)

Phytoekstraksi, dalam kegiatan ini memanfaatkan tanaman untuk mengeluarkan kontaminan berupa logam dari tanah. (17). Dalam pelaksanaannya, tanaman dengan timbunan logam di dalamnya dimasukkan kedalam tanah terkontaminasi logam, dan selanjutnya ditanami tanaman yang telah ditentukan. Akar tanaman tersebut akan mengabsorpsi elemen logam dari tanah dan membawanya ke tunas di atas tanah untuk dikumpulkan. Bila tanaman tidak mampu mengambil logam yang tersedia dalam tanah, larutan asam dapat digunakan untuk membebaskan mereka kedalam larutan tanah. Sesudah pertumbuhan tanaman cukup dan logam terkumpul, bagian tanaman di atas tanah dipanen dan dibersihkan. Limbah tanaman tersebut dapat dibersihkan melalui insenerator.^(18, 19,20)

II. METODE PENELITIAN

Kegiatan ini merupakan penelitian phytoremediasi skala laboratorium. Sebagai bahan yang diremediasi ialah air limbah suatu *mud pit* yang berasal dari lapangan minyak di Kalimantan, dalam hal ini

melakukan reduksi kandungan beberapa komponen logam yang terdapat dalam air limbah tersebut dengan memanfaatkan aktivitas tanaman air.

Tanaman yang digunakan sebagai pereduksi kandungan logam, yaitu beberapa tanaman yang tumbuh di permukaan air dan banyak ditemukan di sawah-sawah. Tanaman air tersebut meliputi *Azolla microphylla*, *Salvina molesta*, dan *Spirodela polyrhiza*. *A. microphylla* diambil dari daerah Yogyakarta, sedangkan *S. molesta* dan *S polyrhiza* dari daerah Tangerang.

Ketiga tanaman air tersebut, mula-mula dikembangkan dalam media air ditambah pupuk TSP di suatu akuarium selama kurang lebih tiga bulan. Kegiatan awal ini merupakan tahapan aklimatisasi dari masing-masing mikroalga, di samping itu juga untuk memperbanyak kuantitas tanaman yang diperlukan pada pengujian lebih lanjut.

Kegiatan pengujian aktivitas tanaman air dalam reduksi kandungan logam di air limbah dilakukan dalam dua tahap. Tahap awal sebagai tahapan seleksi, yaitu untuk menyeleksi tanaman potensial yang mana dari ketiga tanaman air tersebut sebagai penurun kandungan logam dalam air limbah. Pengujian dilakukan selama sepuluh hari dalam suatu wadah berisi air dari *mud pit* sebanyak 200 ml dengan tiga ulangan. Pengamatan dilakukan pada awal dan akhir inkubasi dengan parameter analisis kadar logam Mn, Co dan Pb.

Pada kegiatan tahap lanjut digunakan tanaman air potensial, yaitu tanaman air yang terpilih dari hasil pengujian tahap awal. Kegiatan tahap ini dilakukan dengan kapasitas air limbah dan jumlah jenis logam yang di amati lebih banyak. Pengujian dilakukan dalam wadah berisi air limbah dengan volume 2000 ml sebanyak dua ulangan. Pengamatan dilakukan pada hari 1, 3, 6, 9, dan 12 terhadap kandungan logam Co, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr dan Ni.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tahap Awal

Kegiatan penelitian phytoremediasi ini dilakukan untuk mereduksi kandungan logam dalam air limbah dari suatu *mud pit*. Logam yang terkandung dalam air limbah

tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Pada pengujian tahap awal reduksi kandungan logam ini, dilakukan dengan tiga perlakuan yang dibedakan atas tanaman yang digunakan sebagai pengabsorp kandungan logam. Tanaman air yang digunakan terdiri atas *Azolla microphylla*, *Salvina molesta*, dan *Spirodela polyrhiza*. Tahap awal tersebut merupakan tahap seleksi untuk melihat kemampuan menurunkan kandungan logam dari ketiga tanaman air yang dikaji. Tahap awal ini dilakukan dengan inkubasi selama 10 hari. Hasil pengamatan kandungan logam selama inkubasi sepuluh hari dapat dilihat pada Tabel 2,3 dan 4.

Dari hasil pengujian aktivitas terhadap ketiga tanaman ini, menunjukkan bahwa semua tanaman mempunyai kemampuan mereduksi kandungan logam dalam air limbah eks *mud pit*. Tanaman air seperti *Azolla microphylla* maupun *Salvinia molesta* mampu menurunkan kandungan Mn, Co dan Pb

Tabel 1
Hasil analisis kandungan logam dalam air dari suatu *mud pit*

No	Jenis logam	Berat (mg/l)
1	Mangan (Mn)	0,666
2	Kobal (Co)	0,077
3	Timah (Pb)	0,087
4	Zinc (Zn)	0,067
5	Kadmium (Cd)	0,045
6	Tembaga (Cu)	0,008
7	Khromium (Cr)	0,016
8	Nikel (Ni)	0,158
9	Besi (Fe)	0,364

Tabel 2
Kandungan logam Mn, Co dan Pb dalam air limbah ditumbuhi *Azolla microphylla* selama inkubasi 10 hari

No	Kandungan		Awal	Akhir	Penurunan %
	Logam	Satuan			
1	Mn	mg/l	0,67	0,07	89,55
2	Co	mg/l	0,08	0,05	37,5
3	Pb	mg/l	0,09	0,01	88,89

dengan cukup baik. Persentase penurunan kandungan logam tertinggi sampai terendah berkisar antara 89.55% - 12.50%. Penurunan kandungan logam tertinggi terjadi pada perlakuan menggunakan *A. microphylla* terhadap logam Mn, sedangkan untuk terendah terjadi pada perlakuan dengan *Spitrodela polyrhiza* terhadap logam Co.

Perbedaan kemampuan menurunkan kandungan logam dari ketiga tanaman air tersebut dapat dilihat dengan nyata pada Gambar 1. Berdasarkan hasil analisis kandungan logam, *Azolla microphylla* dan *Salvinia molesta* mempunyai potensi sebagai penurun kandungan logam Mn, Co dan Pb lebih baik dari pada *Spirodela polyrhiza*. Reduksi tertinggi untuk kandungan logam Mn dan Pb terjadi pada perlakuan dengan *Azolla microphylla* sebesar 89.55% dan 88,89%, sedangkan untuk logam Co terjadi pada perlakuan dengan menggunakan aktivitas *Salvinia molesta* yaitu sebesar 62.50%. Pada perlakuan dengan menggunakan aktivitas *Spirodela polyrhiza*

menunjukkan kemampuan mereduksi kandungan logam yang paling rendah dan berbeda jauh dari aktivitas kedua tanaman air seperti tersebut di atas.

B. Pengujian Tahap Lanjut

A. microphylla dan *S. molesta*, sebagai tanaman air yang mempunyai kemampuan menurunkan kandungan logam dengan baik digunakan pada pengujian tahap lanjut. Pada kegiatan ini waktu inkubasi dilakukan lebih lama yaitu 12 hari. Selain itu air limbah dari *mud pit* sebagai medianya digunakan dengan kuantitas dan konsentrasi lebih tinggi, serta logam yang akan diuji diperbanyak menjadi sembilan macam yaitu Co, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr dan Ni. Hasil pengujian kemampuan kedua tanaman dalam mereduksi kandungan logam tersebut dapat dilihat pada Gambar 2, 3, 4, dan 5.

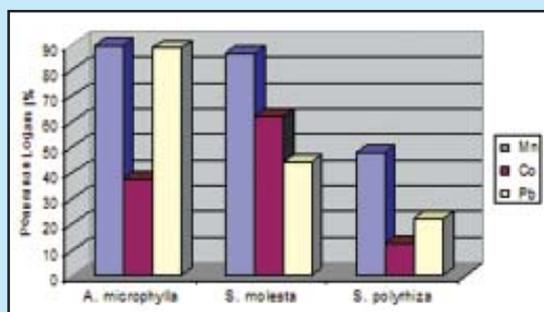
Kemampuan *A. microphylla* dalam penurunan kandungan logam Co, Fe, Mn, Zn dan Cd, Cu, Pb, Cr, dan Ni terlihat pada Gambar 2 dan 3. Dari kurva

Tabel 3
Kandungan logam Mn, Co dan Pb dalam air limbah ditumbuhi *Salvinia molesta* selama inkubasi 10 hari

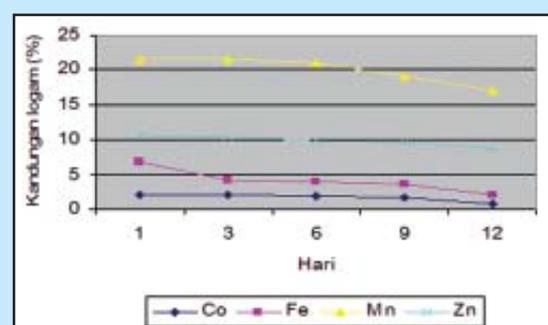
No	Kandungan		Awal	Akhir	Penurunan %
	Logam	Satuan			
1	Mn	mg/l	0,67	0,09	86,57
2	Co	mg/l	0,08	0,03	62,5
3	Pb	mg/l	0,09	0,05	44,44

Tabel 4
Kandungan logam Mn, Co dan Pb dalam air limbah ditumbuhi *Spirodela polyrhiza* selama inkubasi 10 hari

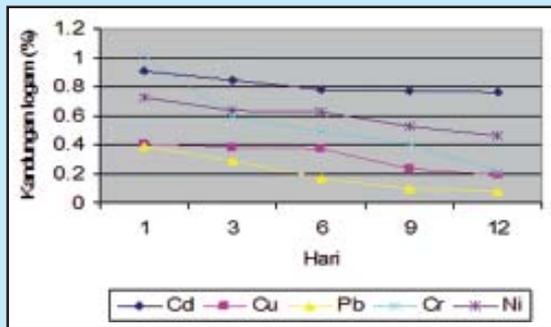
No	Kandungan		Awal	Akhir	Penurunan %
	Logam	Satuan			
1	Mn	mg/l	0,67	0,35	47,76
2	Co	mg/l	0,08	0,07	12,5
3	Pb	mg/l	0,09	0,07	22,22



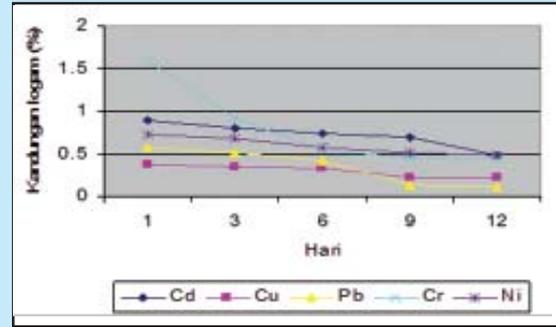
Gambar 1
Persentase penurunan kandungan logam Mn, Co dan Pb dalam air limbah yang ditumbuhi *Azolla microphylla*, *Salvinia molesta* dan *Spirodela polyrhiza*



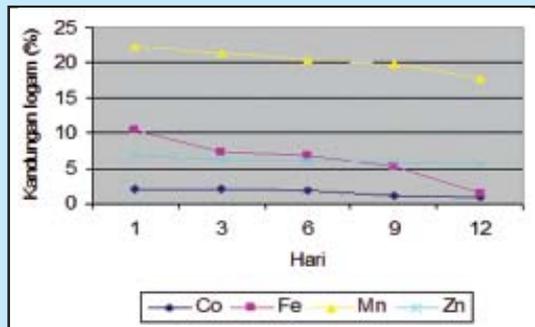
Gambar 2
Kurva penurunan kandungan logam Co, Fe, Mn dan Zn dalam air limbah yang ditumbuhi *A. microphylla*



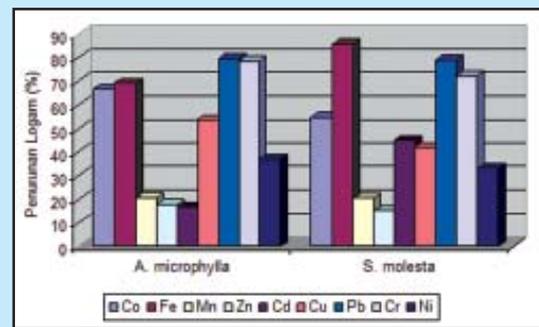
Gambar 3
Kurva penurunan kandungan logam Cd, Cu, Pb, Cr dan Ni dalam air limbah yang ditumbuhi *A. microphylla*



Gambar 5
Kurva penurunan kandungan logam Cd, Cu, Pb, Cr dan Ni dalam air limbah yang ditumbuhi *S. molesta*



Gambar 4
Kurva penurunan kandungan logam Co, Fe, Mn dan Zn dalam air limbah yang ditumbuhi *S. molesta*



Gambar 6
Prosentase penurunan kandungan logam Co, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, dan Ni dalam air limbah ditumbuhi *A. microphylla* dan *S. molesta*

tersebut dapat dilihat bahwa, penurunan kandungan logam telah terjadi sejak awal kegiatan untuk semua logam yang dikaji. Persentase penurunan kandungan logam tertinggi terjadi pada logam Pb yang diikuti dengan Cr, sedangkan yang terendah pada logam Cd (16,48%).

Pada pengujian dengan menggunakan tumbuhan *S. molesta* sebagai penurun kandungan logam, hasil yang diperoleh untuk logam Co, Fe, Mn, Zn serta Cd, Cu, Pb, Cr, dan Ni, dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 4 dan 5. Dalam gambar-gambar tersebut terlihat semua kandungan logam yang diamati, sejak inkubasi awal sudah memperlihatkan penurunan yang cukup nyata. Persentase penurunan kandungan logam tertinggi terjadi pada logam Fe diikuti Pb, dan yang terendah pada logam Zn (15%).

Tabel 5
Kandungan logam Co, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr dan Ni dalam *A. microphylla* dan *S. molesta* selesai proses

No	Kandungan		<i>A. microphylla</i>	<i>S. molesta</i>
	Logam	Satuan		
1	Co	mg/l	0,426	0,05
2	Fe	mg/l	2,276	3,675
3	Mn	mg/l	0,486	0,506
4	Zn	mg/l	0,267	0,296
5	Cd	mg/l	0,048	0,038
6	Cu	mg/l	0,232	0,146
7	Pb	mg/l	0,134	0,294
8	Cr	mg/l	1,133	3,238
9	Ni	mg/l	0,113	0,066

Perbedaan kemampuan menurunkan kandungan logam dari kedua tanaman air tersebut dapat dilihat dengan nyata pada Gambar 6. Berdasarkan hasil analisis kandungan logam, dalam media yang mengandung *A. microphylla* dapat menurunkan kandungan logam Co, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr dan Ni berturut-turut sebesar 66.67%, 20.45%, 17.76%, 53.66%, 79.49%, 78.43%, 36.99%. Bila dilihat dari kuantitas penurunan kandungan logam, absorpsi tertinggi oleh *A. Microphylla* terjadi pada logam Fe sebesar 4,72 mg/l (69,11%) diikuti logam Mn 4,40 mg/l (20,45%). Pada perlakuan dengan *S. Molesta*, persentasi reduksi kandungan logam yang lebih tinggi dari pada perlakuan *A. microphylla* hanya pada logam Fe dan Cd yaitu sebesar 85.78% dan 44.94%. Sedangkan untuk kuantitas reduksi logam tertinggi dalam perlakuan ini adalah logam Fe sebesar 8,87 mg/l (85,78%) diikuti logam Mn 4,54% (20,34%). Dengan demikian secara umum potensi mengabsorpsi kandungan logam *A. microphylla* lebih baik dari pada *S. molesta*.

Proses phytoremediasi dengan memanfaatkan tanaman air *A. microphylla* dan *S. molesta*, setelah berjalan selama 12 hari proses dihentikan. Selanjutnya dilakukan analisis kandungan logam di kedua tanaman, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5. Ternyata di kedua tanaman tersebut terkandung 9 macam elemen logam seperti yang terdapat dalam air limbah yang diremediasi. Kandungan logam tersebut sebagian merupakan akumulasi dari masing-masing logam hasil absorpsi selama proses remediasi berlangsung, dan sebagian lainnya adalah kandungan logam yang sejak awal sudah terdapat dalam sel-sel tanaman tersebut. Sebagian kandungan logam ada yang dimanfaatkan tanaman untuk mendukung aktivitasnya, karena untuk pertumbuhannya tanaman juga memerlukan unsur logam sebagai mikro nutrien. Kandungan logam tertinggi di kedua tanaman tersebut adalah unsur Fe dan Cr. Kandungan tersebut terlihat mempunyai korelasi dengan besarnya kandungan kedua logam yang direduksi selama proses phytoremediasi berlangsung. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2 – 5.

IV KESIMPULAN

Dari kegiatan penelitian phytoremediasi skala laboratorium ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- *A. microphylla* dan *S. molesta* berpotensi digunakan untuk mendukung proses phytore-

mediasi di lingkungan akuatik. Kemampuan menurunkan kandungan logam di lingkungan perairan *A. microphylla* lebih baik dari *S. Molesta*.

- Persentasi penurunan kandungan logam yang cukup tinggi (di atas 60%) terjadi pada logam Co (66.67%), Cr (78.43%), Pb (79.49%) dan Fe (85.78)
- Berdasarkan beratnya, penurunan kandungan logam yang tertinggi terjadi pada logam Fe berkisar antara 4,72 – 8,87 mg/l dan Mn antara 4,40 – 4,54 mg/l.

KEPUSTAKAAN

1. Suthersan, S.S. 2002, *Natural and Enhanced Remediation System*, Lewis Publishers. Boca, Raton, London, New York. p. 239-268.
2. Cunningham, S.D.; Shann, J.R.; Crowley, D.E. and Anderson, T.A. 1997, Phytoremediation of contaminated water and soil. In: Kruger, E.L.; Anderson, T.A. and Coats, J.R. eds. Phytoremediation of soil and water contaminants. ACS symposium series 664. Washington, DC, American Chemical Society, p. 2-19.
3. Flathman, P.E. and Lanza, G.R. 1998, Phytoremediation: current views on an emerging green technology. *Journal of Soil Contamination*, vol. 7, no. 4, p. 415-432.
4. Ensley, S.D. 2000, Rational for use of phytoremediation. In: Raskin, I. and Ensley, B.D. eds. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*. New York, John Wiley & Sons, inc., p. 3-12.
5. Brooks, R.R. 1998a, General Introduction. In: R.R. Brooks ed. *Plants that hyperaccumulate heavy metal: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining*. New York, CBA International, p. 1-14.
6. Cunningham, S.D.; Berti, W.R. and Huang, J.W. 1995, Phytoremediation of contaminated soil. *Trends in Biotechnology*, vol. 13, no. 9, p. 393-397.
7. Carman, E.P.; Crossman, T.L. and Gatliff, E.G. 1998, Phytoremediation of no. 2 fuel oil contaminated soil. *Journal of Soil Contamination*, vol. 7, p. 455-466.

8. Gordon, M.; Choe, N.; Duffy, J.; Ekuan, G.; Heilman, P.; Muiznieks, I.; Newman, L.; Ruszaj, M.; Shurtleff, B.B.; Strand, S. and Wilmoth, J. 1997, Phytoremediation of trichloroethylene with hybrid poplars. In: Kruger, E.L.; Anderson, T.A. and Coats, J.R. eds. *Phytoremediation of soil and water contaminations*. Washington, DC, American Chemical Society, p. 177-185.
9. Dushenkov, V.; Kumar, P.B.A.N.; Motto, H. and Raskin, I. 1995, Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environmental Science and Technology*, vol. 29, p. 1239-1245.
10. Salt, D.E.; Blaylock, M.; Kumar, N.P.B.A.; Dushenkov, V.; Ensley, D.; Chet, I. and Raskin, I. 1995a, Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, vol. 13, p. 468-474.
11. Zhu, Y.L.; Zayed, A.M.; Quian, J.H.; De Souza, M. and Terry, N. 1999b, Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth. *Journal of Environmental Quality*, vol. 28, p. 339-344.
12. Kumar, P.B.A.N.; Motto, H. and Raskin, I. 1995b, Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 5, p. 1239-1245.
13. Berti, W.R. and Cunningham, S.D. 2000, Phytostabilization of metals. In: I. Raskin and B.D. Ensley eds. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*. New York, John Wiley & Sons, Inc., p. 71-88.
14. Schnoor, J.L. 2000, Phytostabilization of metals using hybrid poplar trees. In: Raskin, I. and Ensley, B.D., eds. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*. New York, John Wiley & Sons, Inc., p. 133-150.
15. Prasad, M.N.V. and Freitas, H.M.O. 2003, Metal hyperaccumulation in plants-Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Molecular Biology and Genetics*, vol. 6, no. 3.
16. USEPA. 2000, *Introduction to Phytoremediation*, EPA/600/R-99/107, Washington D.C., Februari.
17. Kumar, P.B.A.N.; Dushenkov, V.; Motto, H. and Raskin, I. 1995a, Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soil. *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 5, p. 1232-1245.
18. Huang, J.W. and Cunningham, S.D. 1996, Lead phytoextraction: Species variation in lead uptake and translocation. *New Phytologists*, vol. 134, p. 75-84.
19. Huang, J.W.; Chen, J.; Berti, W.R. and Cunningham, S.D. 1997a, Phytoremediation of lead contaminated soil: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science and Technology*, vol. 31, no. 3, p. 800-805.
20. Lasat, M.M.; Fuhrmann, M.; Ebbs, S.D.; Cornish, J.E. and Kochian, L.V. 1998, Phytoremediation of a radiocesium contaminated soil: evaluation of cesium-137 bioaccumulation in the shoots of three plant species. *Journal Environmental Quality*, vol. 27, no. 1, p. 165-168.
21. Smith, R.A.H. and Bradshaw, A.D. 1992, Stabilization of toxic mine wastes by the use of tolerant plant populations. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, vol. 81, A230-A237.