

# KAJIAN FITOREMEDIASI SEBAGAI SALAH SATU PENDUKUNG KEGIATAN PENGELOLAAN LAHAN PASKA PENAMBANGAN BATUBARA

**Antun Puspanti**

Balai Penelitian Teknologi Konservasi Sumber Daya alam  
Jl. Soekarno Hatta Km. 38 PO. BOX 578 Balikpapan 76112 Telp. (0542) 7217663 Fax. (0542) 7217665  
email : puspantia@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Sebagai salah satu konsekuensi dari sistem open pit mining yang dilakukan oleh kebanyakan pelaku pertambangan di Indonesia, kawasan hutan dan kawasan bervegetasi lainnya harus mengalami perubahan fungsi ekologis dan berdampak pada menurunnya kualitas tanah dan kualitas air. Kegiatan pemulihan lahan bekas pertambangan batubara mutlak diperlukan untuk mengembalikan fungsi kawasan sesuai rona awal dan juga untuk mengembalikan fungsi ekologis kawasan hutan seperti sebelum terjadi aktivitas pertambangan melalui kegiatan reklamasi. Pertambangan terbuka juga mengakibatkan permasalahan lingkungan yang serius yaitu terbentuknya air asam tambang (AAT), dan mengakibatkan kegiatan revegetasi mengalami banyak kendala. Beberapa teknologi dapat diaplikasikan untuk mengatasi fenomena air asam tambang yang terakumulasi di tanah maupun di air. Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi yang cukup menjanjikan untuk mengelola air asam tambang karena merupakan salah satu alternatif teknologi untuk membersihkan lingkungan dari polutan, terutama untuk tanah dan air, karena dinilai efektif, efisien, lebih ekonomis dan bersifat berkelanjutan. Fitoremediasi untuk memperbaiki kualitas tanah dan air pada lahan bekas tambang sangat perlu dilakukan sebagai pendukung kegiatan reklamasi, agar kegiatan reklamasi tidak hanya mampu mengembalikan rona awal kawasan sebelum penambangan, akan tetapi juga secara keseluruhan mampu mengembalikan fungsi ekologis kawasan hutan.*

**Kata kunci** : reklamasi lahan tambang; air asam tambang; fitoremediasi

## **I. PENDAHULUAN**

Aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan pangan, sandang, papan dan energi terkadang menimbulkan permasalahan lain yang berdampak pada lingkungan hidup. Hutan sebagai salah satu komponen penting bagi kehidupan juga terganggu dan beralih fungsi akibat adanya pembukaan kawasan hutan untuk berbagai kegiatan, termasuk kegiatan pertambangan batubara. Pertambangan batubara menghasilkan dua dampak penting terhadap kerusakan hutan, yaitu mengurangi jumlah luasan hutan dan limbah pertambangan yang mencemari lingkungan. Hal ini merupakan konsekuensi dari sistem pertambangan terbuka (*open pit mining*) yang banyak diterapkan untuk mengekstraksi batubara pada pertambangan batubara di Indonesia. Sistem ini dinilai merupakan sistem yang paling aman dan ekonomis diterapkan, karena di Indonesia batubara umumnya terletak pada lapisan tanah atas yang dekat dengan permukaan tanah. Akan tetapi, dampak yang ditimbulkan adalah hilangnya fungsi dari hutan yang berada di atas deposit batubara.

Kegiatan pemulihan pada lahan bekas pertambangan batubara mutlak diperlukan untuk mengembalikan fungsi kawasan sesuai rona awal dan juga untuk mengembalikan fungsi ekologis kawasan hutan seperti sebelum terjadi aktivitas pertambangan. Reklamasi lahan bekas tambang merupakan suatu kegiatan yang harus dilakukan oleh pemegang ijin konsesi pertambangan batubara di kawasan hutan.

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai peranan teknologi fitoremediasi untuk mendukung kegiatan reklamasi dalam pengelolaan lahan paska pertambangan batubara.

## II. PERMASALAHAN YANG TIMBUL PADA LAHAN BEKAS PERTAMBANGAN BATUBARA

Sebagai salah satu konsekuensi dari sistem *open pit mining* yang dilakukan oleh kebanyakan pelaku pertambangan di Indonesia, kawasan hutan dan kawasan bervegetasi lainnya harus mengalami perubahan fungsi ekologis. Penurunan luasan kawasan hutan juga berdampak pada menurunnya kualitas tanah dan kualitas air. Pertambangan terbuka dengan metode gali-isi kembali (*back filling methods*) menyebabkan terbentuknya lahan-lahan kritis karena hilangnya vegetasi penutup tanah, adanya tekanan berat dari pukulan air hujan, erosi, sentuhan langsung cahaya matahari dan terjadinya pemadatan tanah akibat aktifitas alat berat (Iriansyah dan Susilo, 2009).

Metode pengelupasan dan penggalian tanah juga menyisakan permasalahan pada terbentuknya lubang-lubang bekas galian pertambangan. Dampak lingkungan ini bisa dirasakan di lokasi pertambangan dan juga di lokasi yang jauh dari pertambangan. Contohnya adalah dari terbentuknya air asam tambang (AAT) yang bisa mencemari sungai dan perairan. Air asam tambang mengakibatkan air yang terdapat di sekitar lokasi pertambangan tidak bisa dikonsumsi dan mendukung kehidupan masyarakat di sekitar lokasi pertambangan. Bahkan AAT bisa menimbulkan dampak serius bagi ekosistem sungai dan perairan apabila tidak ditangani secara serius.

## III. FITOREMEDIASI UNTUK LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA

### A. Pengertian fitoremediasi

Fitoremediasi adalah sebuah proses yang melibatkan tumbuhan berklorofil untuk mengurangi kandungan polutan yang terdapat pada tanah, udara dan air (Chaney *et al.*, 1997). Fitoremediasi adalah sebuah teknik yang menggunakan tumbuhan untuk mengurangi atau menurunkan kadar polutan dalam lingkungan sehingga menjadi tidak berbahaya lagi (Salt, *et al.*, 1998).

Ada beberapa kategori dalam fitoremediasi yaitu *phytoextraction*, *phytofiltration*, *phytostabilization*, *phytovolatilization* dan *phytodegradation* tergantung dari mekanisme remediasinya (Lone *et al.*, 2008). *Phytoextraction* melibatkan kegunaan tumbuhan untuk menghilangkan kontaminan di dalam tanah. *Pytofiltration* merupakan proses penghilangan logam dari air yang tercemar oleh akar atau anakan tumbuhan. Sedangkan *phytostabilization* melibatkan akar untuk menyerap polutan dari dalam tanah dan menyimpannya di dalam rizosfir, dan mengurangi penyebaran polutan. *Phytovolatilization* melibatkan kegunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan melalui proses penguapan pada foliage daun, seperti pada polutan Se dan Hg. *Pyhtodegradation* merupakan kegunaan tumbuhan untuk berasosiasi dengan mikroorganisme dalam mengurangi kadar polutan (Garbisu dan Alkorta, 2001).

Fitoremediasi mulai mendapatkan perhatian karena merupakan salah satu alternatif teknologi untuk membersihkan lingkungan dari polutan, terutama untuk tanah dan air, karena dinilai efektif, efisien, lebih ekonomis dan bersifat berkelanjutan.

### B. Air Asam Tambang

Air asam tambang (AAT) merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan pertambangan terbuka. AAT merupakan hasil dari oksidasi batuan yang mengandung pirit ( $\text{FeS}_2$ ) dan mineral sulfida dari sisa batuan yang terpapar oleh oksigen yang berada dalam air (Johnson dan Halberg, 2005). AAT mempunyai pH yang rendah dan mengandung logam-logam berat yang berbahaya seperti Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, As dan biasanya juga mengandung sulfat yang tinggi, sehingga merupakan sumber kontaminasi lingkungan (Achterberg *et al.*, 2003; Elisa *et al.*, 2006; Blodau, 2006; Dowling *et al.*, 2004; Sengupta, 1993). Keasaman dan kandungan logam

ini yang menyebabkan terganggunya kesuburan tanah dan keseimbangan ekosistem di sungai dan perairan yang terpengaruh oleh buangan AAT secara langsung maupun tidak langsung.

### C. Fitoremediasi untuk mengurangi kandungan air asam tambang

Cara yang utama bagi tumbuhan air untuk menyerap logam yang terdapat di dalam air asam tambang (AAT) adalah melalui akar. Mekanisme tanaman yang dapat tumbuh pada media yang tercemar logam dibedakan menjadi adaptif atau toleran (Marchner, 1995), tergantung apakah tumbuhan tersebut menahan supaya logam tidak terserap atau bahkan aktif mengumpulkan konsentrasi logam di dalam jaringan (Ross dan Kaye, 1994). Tanaman dikategorikan toleran apabila mampu tumbuh pada media yang mempunyai kandungan logam tinggi tanpa terganggu pertumbuhannya, sedangkan tanaman yang adaptif adalah yang mampu beradaptasi dengan media yang mempunyai kandungan logam tinggi. Laju pengurangan logam oleh tumbuhan sangat bervariasi tergantung pada laju pertumbuhan tanaman dan konsentrasi logam berat yang terdapat dalam jaringan tumbuhan tersebut.

Henny *et al.*, (2010) menyatakan bahwa system rawa buatan dengan tanaman air *Eichornia* sp. dan *Lepironia* sp. (*constructed wetlands*) secara aerobik dan anaerobik yang dikombinasikan dengan system kapur anoksik (ALD; *anoxic limestone drains*) mampu menaikkan pH AAT dari 2,8 menjadi 7, menurunkan turbiditas dan konduktivitas, penyisihan sulfat mencapai 67-90%, sedangkan penyisihan logam Fe mencapai 100% dan penyisihan Al 93-97%. Kharathanasis dan Thompson (1995) mengungkapkan hasil bahwa Al dan Fe tertahan terutama pada akar tanaman sedangkan Mn lebih bebas terakumulasi di seluruh bagian tanaman pada pengolahan AAT dengan system rawa buatan dengan jenis tanaman *Typha latifolia*, *Scirpus validus* dan *Bidens aristosa*. Menurut hasil penelitian Dos Santos dan Lenzi (2000), enceng gondok (*Eichornia crassipes*) mampu mengurangi konsentrasi logam berat pada AAT tanpa banyak menunjukkan gejala keracunan. Enceng gondok ini mempunyai sistem perakaran serabut dan mempunyai kecepatan pertumbuhan yang tinggi sehingga akumulasi biomasnya juga semakin besar. Meskipun sering dianggap sebagai gulma, enceng gondok dinilai berhasil untuk pengelolaan limbah air dengan menurunkan kandungan bahan organik dan inorganik. Enceng gondok ini juga mampu mengakumulasi unsur-unsur seperti Ag, Pb, Cd serta efisien untuk fitoremediasi air yang terkontaminasi oleh Cd, Cr, Cu dan Se (Zhu *et al.*, 1999). Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa pengolahan AAT dengan sistem *wetlands* mampu bertahan dalam jangka waktu yang lama (Hedin *et al.*, 1994; Sheoran and Sheoran, 2006).

### D. Fitoremediasi untuk memperbaiki kesuburan tanah

Tanah pada lahan bekas tambang batubara umumnya mempunyai tingkat kesuburan dan pH yang rendah yang mengakibatkan unsur hara makro menjadi tidak tersedia karena terikat oleh unsur-unsur logam berat (Widyati, 2009). Selain itu juga bersifat padat karena aktifitas alat berat. Tumbuhan yang mampu hidup di lahan bekas tambang batubara ini di tahap awal adalah tumbuhan pionir. Fitoremediasi berperan untuk meningkatkan kualitas tanah dengan meningkatkan kesuburan pada lahan-lahan kritis seperti pada lahan bekas tambang batubara. Berbagai jenis fungi mikoriza arbuskula (FMA) mampu bersimbiosis dan berperan dalam stabilisasi serta penyerapan logam berat pada lahan kritis. Tumbuhan Brassicaceae dan Carryophyllaceae yang dikenal sebagai tumbuhan hiperakumulator logam berat serta kelompok Leguminosae yang bersimbiosis dengan bakteri penambat nitrogen banyak dimanfaatkan sebagai jenis tanaman dalam revegetasi dan reklamasi lahan bekas tambang (Suharno dan Sancayaningsih, 2013).

Menurut Chen *et al.* (2007), penggunaan potensi tanaman lokal yang dikombinasikan dengan mikoriza arbuskula dalam proses restorasi ekologi pada lahan bekas tambang dinilai lebih baik.

Isolasi fungi dari lahan bekas tambang dapat dijadikan sumber inokulum untuk kegiatan revegetasi lahan. Dengan melihat potensinya, mikoriza arbuskula yang berasosiasi dengan tanaman merupakan salah satu alternatif teknologi fitoremediasi terhadap tanah yang mengandung logam berat pada lahan bekas tambang.

#### IV. TEKNIK FITOREMEDIASI UNTUK Mendukung KEGIATAN REKLAMASI LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA

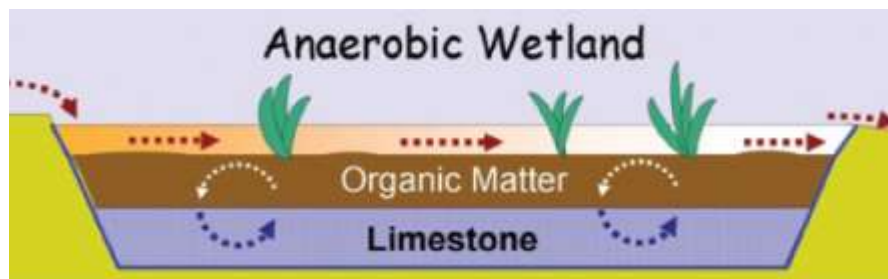
Kegiatan reklamasi lahan bekas tambang batubara merupakan kegiatan paska penambangan untuk mengelola lahan-lahan terbuka akibat dari aktivitas penambangan agar dapat kembali seperti rona awal. Kegiatan ini diawali dengan penataan lahan dengan menutup kembali lubang-lubang galian tambang. Pengendalian erosi dan sedimentasi merupakan langkah lanjutan dengan menutup tanah terbuka dengan *cover crop* untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mencegah erosi. Kegiatan revegetasi kemudian dilakukan dengan penanaman tanaman di areal bekas tambang dengan tumbuhan pionir, tumbuhan lokal di daerah tersebut ataupun tumbuhan buah.

Ada beberapa sistem yang banyak digunakan untuk pengelolaan AAT antara lain sistem *permeable reactive barrier* (PRB), *open limestone channels* (OLCs), *anoxic limestone drains* (ALDs) dan rawa buatan (CW; *constructed wetland*) (Benner, 1997; Gilbert et al., 2003; Zipper dan Jage, 2002; Zimkiewicz et al., 2003). Fitoremediasi mengambil peran dalam sistem *constructed wetland* (CW) dengan mempergunakan tumbuhan sebagai pengakumulasi logam yang terdapat di dalam air maupun tanah. Sistem *passive treatment* yang sangat efektif dalam menurunkan asiditas AAT adalah kombinasi dari sistem OLCs dan ALDs yang digabung dengan sistem CW, yang telah dikembangkan secara komersial di Kanada dan Amerika Serikat (Henny, et al., 2010). Menurut Henny et al. (2010), system limestone dan wetland yang terpisah akan lebih efektif dan lebih terkontrol dibandingkan dengan system yang disatukan dalam CW. Menurut Brodie et al., (1993), system ALDs harus diikuti oleh CW anaerobik ataupun aerobik untuk mendapatkan kualitas air efluen yang memenuhi standar mutu air bersih, karena untuk AAT yang mengandung  $Fe > 80$  mg/L biasanya tidak bisa meningkatkan pH jika hanya dengan sistem CW saja. Sistem CW aerobik adalah system *passive treatment* yang paling sederhana, akan tetapi mempunyai keterbatasan dalam mengolah AAT secara efektif. Sistem CW aerobik digunakan untuk mengelola AAT dengan tingkat asiditas menengah, yang memungkinkan AAT mengalir melalui vegetasi, memungkinkan Fe terlarut agar teroksidasi dan untuk memperlambat air agar oksida Fe dapat mengendap (Zipper, et al., 2011). Sistem ini biasanya memiliki tingkat kedalaman yang rendah (Gambar 1).



Gambar 1. Contoh pengelolaan AAT dengan sistem CW aerobik (Sumber : Zipper, *et al.*, 2011)

Sedangkan CW anaerobik adalah modifikasi dari sistem CW aerobik yang memungkinkan system untuk menambah alkalinitas dan mengolah AAT dengan lebih efektif (Zipper, *et al.*, 2011). Sistem ini mencakup penambahan batu kapur diantara atau pun dicampur dengan bahan organik yang akan memproduksi alkalinitas seperti bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ). Contoh system CW anaerobik dapat dicermati pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh pengelolaan AAT dengan sistem CW anaerobik (Sumber : Zipper, *et al.*, 2011)

Fitoremediasi dapat mengambil peranan dalam kegiatan reklamasi melalui perbaikan kualitas air dan perbaikan kualitas tanah. Penggunaan tumbuhan yang mampu berasosiasi dengan bakteri atau mikoriza akan sangat membantu dalam proses pemulihan kesuburan tanah. Dengan desain yang tepat, sistem *passive treatment* bisa mempunyai umur (*lifespan*) lebih dari 20 tahun (Zimkiewicz *et al.*, 2003) yang berguna untuk menurunkan kandungan air asam tambang juga sangat penting untuk mendukung kegiatan rehabilitasi dan reklamasi lahan bekas tambang batubara.

## V. PENUTUP

Kegiatan pertambangan batubara menghasilkan beberapa permasalahan lingkungan yang harus diatasi. Sejauh ini, kegiatan reklamasi lahan bekas tambang batubara masih terfokus pada kegiatan revegetasi untuk mempercepat penutupan lahan kritis yang dihasilkan dari pembukaan kawasan hutan untuk tambang. Akibat dari pertambangan terbuka, air asam tambang merupakan permasalahan penting yang mengakibatkan kegiatan revegetasi mengalami banyak kendala. Beberapa teknologi dapat diaplikasikan untuk mengatasi fenomena air asam tambang yang terakumulasi di tanah maupun di air. Akan tetapi fitoremediasi merupakan teknologi alternative yang mampu memberikan hasil optimal dengan biaya yang lebih ekonomis dan bersifat berkelanjutan. Fitoremediasi untuk memperbaiki kualitas tanah dan air pada lahan bekas tambang

sangat perlu dilakukan sebagai pendukung kegiatan reklamasi, agar kegiatan reklamasi tidak hanya mampu mengembalikan rona awal kawasan sebelum penambangan, akan tetapi juga secara keseluruhan mampu mengembalikan fungsi ekologis kawasan hutan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Achterberg, E.P., Herzl, V.M.C., Braungardt, C.B., Millward, G.E., 2003. Metal behaviour in an estuary polluted by acid mine drainage: the role of particulate matter. *Environ. Poll.* 121, 283–292.
- Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D., Smith, J.C.A., 2000. Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: Terry, N., Banuelos, G. (Eds.), *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Lewis Publishers, Boca Raton, p.85-108
- Benner, S.G., D.W. Blowes, C.J. Ptacek. 1997. A full scale porous reactive wall for prevention of acid mine drainage. *GWMP*. Vol 17. No.4. 99-107
- Blodau, C. 2006. A review of acidity generation and consumption in acidic coal mine lakes and their watersheds. *Science of the Total Environment* 369:307–332
- Brodie, G.A., C.R. Britt, T.M. Tomaszewski, H.N. Taylor. 1993. Anoxic limestone drains to enhance performance of aerobic acid drainage treatment wetlands: Experiences of the Tennessee Valley Authority. In: G.A. Moshiri. *Constructed Wetlands for water quality improvement*. Lewis Publisher. Boca Raton. 129-138.
- Brooks, R.R., 1998. Plants that hyperaccumulate heavy metals. *CAN International*. Wallington, p.379
- Chaney, R.L., Malik, M., Li, Y.M., Brown, S.L., Brewer, E.P., Scott Angle, J., Baker, A.J.M., 1997. Phytoremediation of soil metals. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 8(3):279-284.
- Chen B, Zhu Y, Duan J, Xiao X, Smith S. 2007. Effects of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on growth and metal uptake by four plant species in copper mine tailings. *Environ Pollut* 147: 374-380.
- Dos Santos, M.C., Lenzi, E., 2000. The use of aquatic macrophytes (*Eichhornia crassipes*) as a biological filter in the treatment of lead contaminated effluents. *Environ. Technol.*, 1(6):615-622.
- Dowling Jeremy ,Steve Atkin, Geoff Beale, dan Glenn Alexdaner. 2004. Development of the Sleeper Pit Lake. *Mine Water dan the Environment* 23:2–11.
- Elisa, M., P. Gomes, and J.C. Favas, 2006. Mineralogical controls on mine drainage of the abandoned Ervedosa tin mine in north-eastern Portugal. *Applied Geochemistry*. 21:1322–1334
- Garbisu, C., Alkorta, I., 2001. Phytoextraction: A cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Biores. Technol.*, 77(3):229-236.
- Gilbert, O., de Pablo, J., Cortina, J.L., Ayora, C. 2003. Evaluation of municipal compost/limestone/iron mixtures as filling material for permeable reactive barriers for in situ acid mine drainage treatment. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 78, 489-496.

- Henny, C., Ajie, G.S., dan Susanti, E. 2010. Pengolahan air asam tambang menggunakan system ‘Passive Treatment’. Prosiding Seminar Nasional Limnologi V. 331-334
- Iriansyah, M. dan Susilo, A., 2009. Kesesuaian Jenis Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang Batubara di PT. Kitadin, Embalut, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kaltim. Prosiding Workshop IPTEK Penyelamatan Hutan Melalui Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang Batubara. Balai Besar Penelitian Dipterokarpa. Samarinda.
- Johnson, D.B., Hallberg, K.B., 2005. Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of The Total Environment*. 338: 3-14
- Karathanasis, A.D., Thompson, Y.L., 1995. Mineralogy of Iron Precipitates in a Constructed Acid Mine Drainage Wetland. *American Journal of Soil Science* 59, 1773–1781.
- Lone, M.I., He, Z., Stoffella, P.J., Yang, X., 2008., Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils and Water: Progress and Perspective., *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 9(3):210-220
- Marchner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press. London.
- Ross, S.M. and K.J. Kaye. 1994. The Meaning of Metal Toxicity in Soil-Plant System. Toxicity in Soil-Plant System. S.M. Ross (ed). John Willey and Son. New York. pp: 27 – 62
- Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, L., 1998. Phytoremediation. *Ann. Rev. Plant Phys. Plant Mol. Biol.*, 49(1):643-668.
- Sengupta M. 1993. *Environmental Impacts of Mining: Monitoring, Restoration dan Control*. CRC Press LLC. Florida.
- Sheoran, A.S. and Sheoran, V. 2006. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: A critical review. *Minerals Engineering*. 19, 105-116.
- Suharno. Sancayaningsih, R.P., 2013. Fungi mikoriza arbuskula: Potensi teknologi mikorizoremediasi logam berat dalam rehabilitasi lahanbekas tambang. *Bioteknologi* 10 (1):31-42
- Widyati, E. 2009. Kajian fitoremediasi sebagai salah satu upaya menurunkan akumulasi logam akibat air asam tambang pada lahan bekas tambang batubara. *Tekno Hutan Tanaman*. Vol.2 No. 2. 67-75
- Zhu, Y.L., Zayed, A.M., Qian, J.H., De Souza, M., Terry, N., 1999. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth. *J. Environ. Qual.*, 28(1): 339-344.
- Zimkiewics, P.F., J.G. Skousen, J. Simmons. 2003. Long term performance of passive acid-mine drainage treatment systems. *Mine water and the environment*. 22: 118-129.
- Zipper, C. and C. Jage. 2002. Passive treatment of acid mine drainage with vertical flow systems. *Reclamation Guidelines*. Powel River Project.

