

PENCEGAHAN *Acid Mine Drainage* MELALUI PENGENDALIAN POPULASI *Thiobacillus* spp DENGAN BAHAN ORGANIK TANAH

Acid Mine Drainage Restriction by Controlling Population of Thiobacillus spp with Soil Organic Enrichment

Enny Widyati*[#] dan/and Fahrizal Hazra **

*Peneliti pada Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam, Bogor
#alamat korespondensi: enny_widyati@yahoo.com

**Staf Pengajar pada Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan IPB, Bogor

Naskah masuk : ; Naskah diterima :

ABSTRACT

Acid mine drainage is the biggest problem in ex-mining sites. It caused by oxidation of sulphidic minerals releasing sulphate to the environment. In consequence, it increases heavy metals solubility, both in soil and water, due to acidity generating. The phenomenon is aggravated by inhabiting sulphur-oxidizing bacteria (BOS), such as Thiobacillus spp. These microbes will fold AMD 500.000 - 1.000.000 times faster than geochemically reaction. They are lithotrophs organisms that will be inhibited with soil organic matter (SOM). This research is aimed to observe the influence of SOM on BOS population. Thiobacillus ferrooxidans was cultured in selected Starkey Medium enriched with sludge and top soil as SOM sources. Growth of bacteria indicated with medium color alteration to reddish. Soil pH, CEC and sulphate concentration also assessed to examine the soil improvement by SOM application. The result shown that, SOM was effective to limit the growth of BOS. SOM can improve soil pH and CEC, significantly after 10 days application. It is recommended that to deal with AMD in ex-mining sites can be ameliorated organic matter to the soil.

Keywords : *acid mine drainage, soil organic matter, sulphur-oxidizing bacteria.*

ABSTRAK

Air asam tambang (AAT) merupakan masalah paling krusial pada lahan-lahan bekas tambang. Penyebabnya adalah adanya oksidasi mineral sulfidik sehingga sulfat terlepas. Akibatnya pH lingkungan menurun secara drastis. Keadaan ini akan diperparah dengan kehadiran bakteri pengoksidasi sulfur (BOS), misalnya *Thiobacillus* spp. Hadirnya BOS akan memacu AAT 500 ribu - 1 juta kali lipat dibandingkan dengan reaksi geokimia. BOS bersifat ototrof sehingga dapat dihambat dengan bahan organik. Percobaan dilakukan di laboratorium menggunakan biakan *T. ferrooxidans* yang dibiakkan pada medium Starkey. Bahan organik yang digunakan adalah ekstrak sludge industri kertas dan top soil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada medium yang ditambah ekstrak sludge atau ekstrak top soil BOS tidak dapat tumbuh. Dengan demikian, salah satu usaha untuk mencegah terjadinya air asam tambang adalah dengan meningkatkan kandungan bahan organik tanah.

Kata kunci : *air asam tambang, bakteri pengoksidasi sulfur, bahan organik*

I. PENDAHULUAN

Acid mine drainag (AMD), yang diindonesiakan menjadi air asam tambang, merupakan masalah besar yang dihadapi oleh industri pertambangan di seluruh dunia. AMD merupakan oksidasi dari sisa mineral sulfidik, baik pada lahan di atas tanah maupun hasil aktivitas dalam bumi (*underground*). AMD bisa terjadi pada tanah bekas tambang terbuka, tempat penimbunan *tailing*, tempat penimbunan batubara maupun pada kolam-kolam.

AMD didefinisikan sebagai air *drainage* yang terjadi akibat dari oksidasi mineral-mineral sulfidik dalam batuan yang berreaksi dengan air dan atau udara (Durkin and Herrmann, 1994; Groudev *et al.*, 2001). Pada batuan *iron sulfide* seperti pirit reaksi terjadinya AMD dapat diringkas menjadi:



Terbentuknya Fe(OH)₃ akan memberi warna air menjadi merah jingga sehingga di dunia pertambangan senyawa tersebut diberi nama "yellowboy" yang menjadi tanda terjadinya AMD pada lingkungan pertambangan. Terlepasnya hidrogen pada reaksi oksidasi tersebut mengakibatkan pH air yang melalui batuan turun secara drastis. Setiap mol pirit akan menghasilkan empat mol penyebab kemasaman (Groudev *et al.*, 2001). Turunnya pH akibat AMD meningkatkan kelarutan logam-logam berat (Hards and Higgins, 2004) yang terkandung dalam batuan. Sehingga yang paling berbahaya akibat AMD adalah tingginya akumulasi logam-logam berat dalam lingkungan perairan.

Namun demikian, lingkungan yang demikian masam pada AMD bahkan menguntungkan bagi populasi bakteri pengoksidasi sulfur (BOS), seperti *Thiobacillus* spp dan *Leptospirillum* spp. BOS merupakan biokatalisator AMD yang sangat potensial namun merugikan bagi lingkungan. Ketika AMD dipacu oleh BOS maka kecepatan pengasaman lahan dipercepat 500.000 - 1.000.000 kali lipat dibandingkan dengan reaksi secara geokimia (Mills, 2004).

Sifat-sifat BOS antara lain hidup pada pH masam (acidophilic), menggunakan sumber karbon non organik (lithotroph) dan memerlukan oksigen sebagai aseptor elektron (aerobic) (Alexander, 1977). Kondisi lingkungan yang berlawanan dengan yang dibutuhkan akan dapat membunuh mikroba tersebut. Sehingga untuk mengendalikan pertumbuhan BOS dapat dilakukan dengan peningkatan pH, penggenangan atau penambahan bahan organik ke dalam tanah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan organik tanah terhadap aktifitas biokatalisasi AMD oleh bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan pengaruhnya terhadap perbaikan sifat-sifat kimia tanah.

II. BAHAN DAN METODE

1. Peranan BOS dalam Memacu AMD

Untuk mengetahui apakah AMD pada tanah bekas tambang yang diuji dikatalis oleh BOS atau tidak maka dilakukan sterilisasi tanah bekas tambang kemudian diukur kandungan sulfatnya pada hari ke-0, 5 dan 10. Sebagai pembandingan dilakukan pengamatan yang sama pada tanah yang tidak disterilkan. Untuk meyakinkan bahwa BOS berperan penting pada AMD dilakukan isolasi *T. ferrooxidans* pada Media Starkey.

2. Pengaruh Bahan Organik Terhadap Pertumbuhan BOS

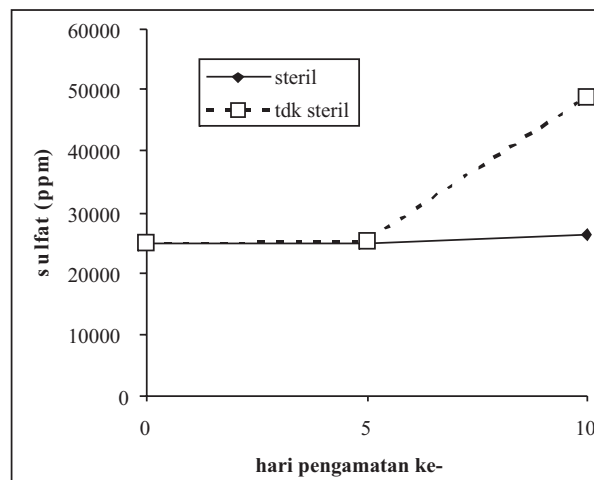
Isolat *T. ferrooxidans* yang diisolasi dari AAT Galian Pit Timur PT. Bukit Asam dibiakkan pada Medium Starkey. Ke dalam medium ditambahkan bahan organik berupa 10% ekstrak *top soil*, 10% ekstrak *sludge* industri kertas dan medium tanpa perlakuan sebagai kontrol. Selanjutnya dimasukkan 1 ml biakan *T. ferrooxidans* ke dalam masing-masing perlakuan kemudian diinkubasi pada suhu kamar di atas inkubator shaker. Pertumbuhan bakteri ditandai dengan berubahnya warna medium menjadi merah jingga.

Disamping itu dilakukan juga pengukuran variabel pH, KTK dan akumulasi sulfat akibat penambahan 25% bahan organik pada tanah bekas tambang batubara. Untuk mengetahui apakah mikroba yang terdapat dalam bahan organik membantu proses penghambatan AMD maka dilakukan aplikasi bahan organik steril dan tidak steril. Sedangkan untuk mengetahui apakah mikroba dalam tanah mengganggu atau bersinergi dengan mikroba dalam bahan organik maka dilakukan sterilisasi tanah.

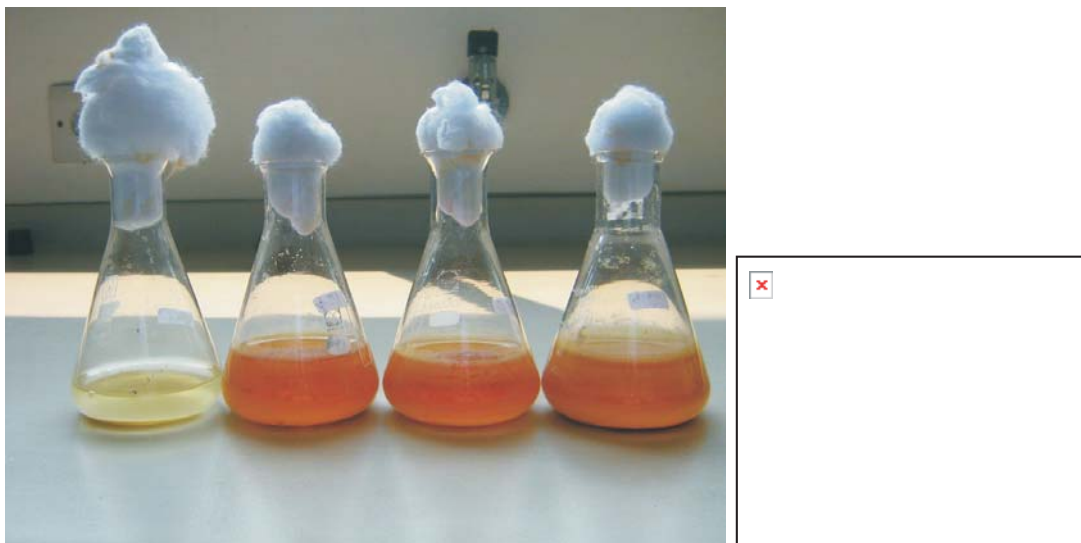
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sulfat (Gambar 1) menunjukkan bahwa pada tanah yang disterilkan terjadinya penambahan sulfat jauh lebih lambat apabila dibandingkan dengan tanah yang tidak disterilkan. Gambar 1 makin memperkuat teori yang sudah ada bahwa reaksi AMD yang dikatalis oleh BOS jauh lebih cepat

daripada reaksi secara geokimia yang terjadi ketika populasi mereka dimatikan melalui sterilisasi tanah bekas tambang batubara.



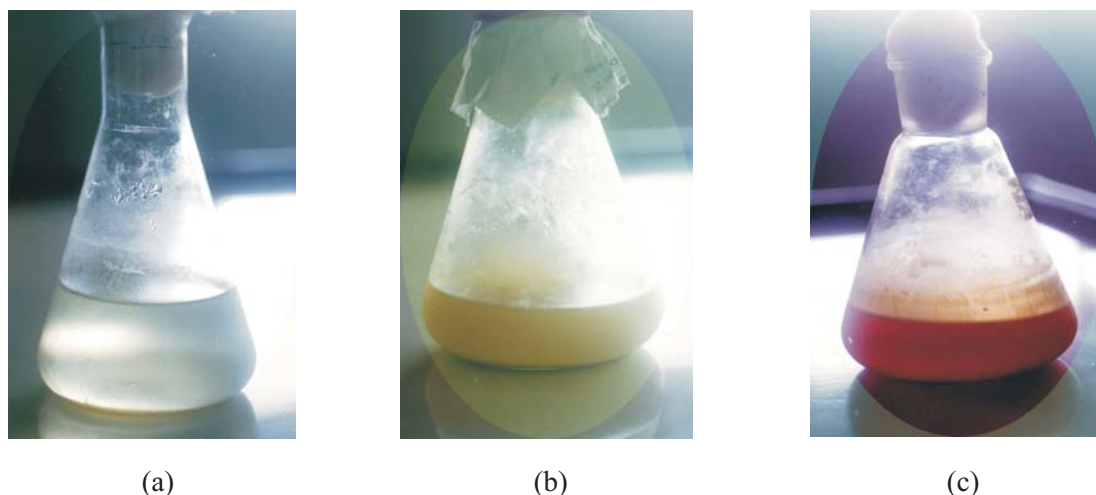
Gambar (Figure) 1. Kandungan sulfat (ppm) pada tanah bekas tambang batubara (*Sulphate availability in ex-coal mining soil (ppm)*)



Gambar (Figure) 2. Isolat *T. ferrooxidans* yang diisolasi dari tanah bekas tambang dan air asam tambang PT. Bukit Asam. Pertumbuhan ditandai dengan berubahnya warna media menjadi merah jingga (kiri), koloni BOS pada media padat (kanan). (*T. ferrooxidans isolated from soil and acid mine drainage. Thier growth is characterized by yellow-reddish alteration of medium color (left), colony performance on agar medium (right).*)

Hasil isolasi (Gambar 2) menunjukkan bahwa dari ketiga lokasi yang diambil contoh di PT. Bukit Asam (tanah dari Bangko 1, air asam tambang Galian Pit Timur dan Galian Pit Barat) dapat ditemukan BOS dari jenis *T. ferrooxidans*.

Selain sterilisasi, BOS juga dapat dikendalikan melalui penambahan bahan organik ke dalam lingkungan. Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan ekstrak *sludge* (a) dapat membunuh populasi BOS. Penambahan ekstrak *top soil* juga dapat membunuh kelompok mikroba ini (Gambar 3 b). Penambahan bahan organik dapat membunuh BOS karena mereka tidak dapat menggunakan sumber C dari bahan organik untuk menyusun sel tubuhnya.

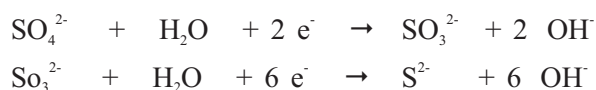


Gambar (Figure) 3. *Thiobacillus ferrooxidans* tumbuh baik pada Medium Starkey Broth (c), tetapi tidak tumbuh ketika pada medium diperkaya dengan 10% ekstrak *sludge* (a) atau 10% ekstrak *topsoil* (b) (*T. ferrooxidans* grew well on medium Starkey (c), while their could not grow on the medium enriched both with 10% of top soil extract (b) and *sludge* (a))

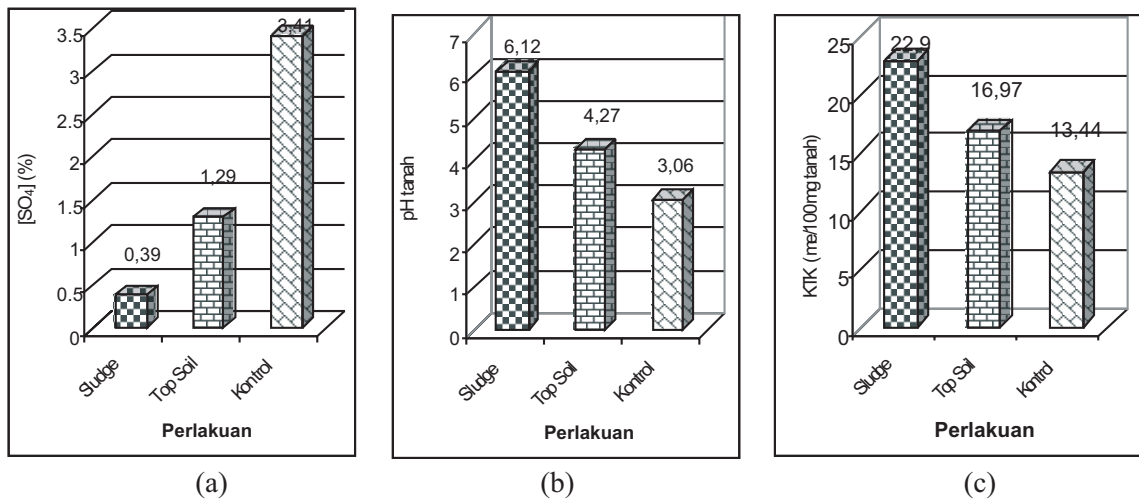
Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada media yang diberi ekstrak *top soil* menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri tetapi bukan *T. ferrooxidans* karena tidak mengoksidasi besi dalam media sehingga warna medium tidak berubah menjadi merah jingga. Hal ini terjadi karena dalam *top soil* terdapat banyak populasi mikroba yang mungkin bisa tumbuh pada Medium Starkey yang masam. Karena pada penelitian ini tidak dilakukan sterilisasi bahan organik. Kemungkinan lain, *T. Ferrooxidans* yang tumbuh sangat lambat gagal bersaing dengan mikroba pada *top soil* sehingga mereka tidak dapat tumbuh. Sedangkan pada medium tanpa perlakuan bahan organik, *T. Ferrooxidans* tumbuh dengan baik (Gambar 3 c).

Selain mengendalikan populasi BOS, bahan organik juga dapat memperbaiki sifat-sifat kimia tanah bekas tambang batubara. Gambar 4 menunjukkan bahwa aplikasi *top soil* dan *sludge* dapat meningkatkan pH, menurunkan akumulasi sulfat dan meningkatkan KTK tanah yang sangat penting pada kegiatan revegetasi.

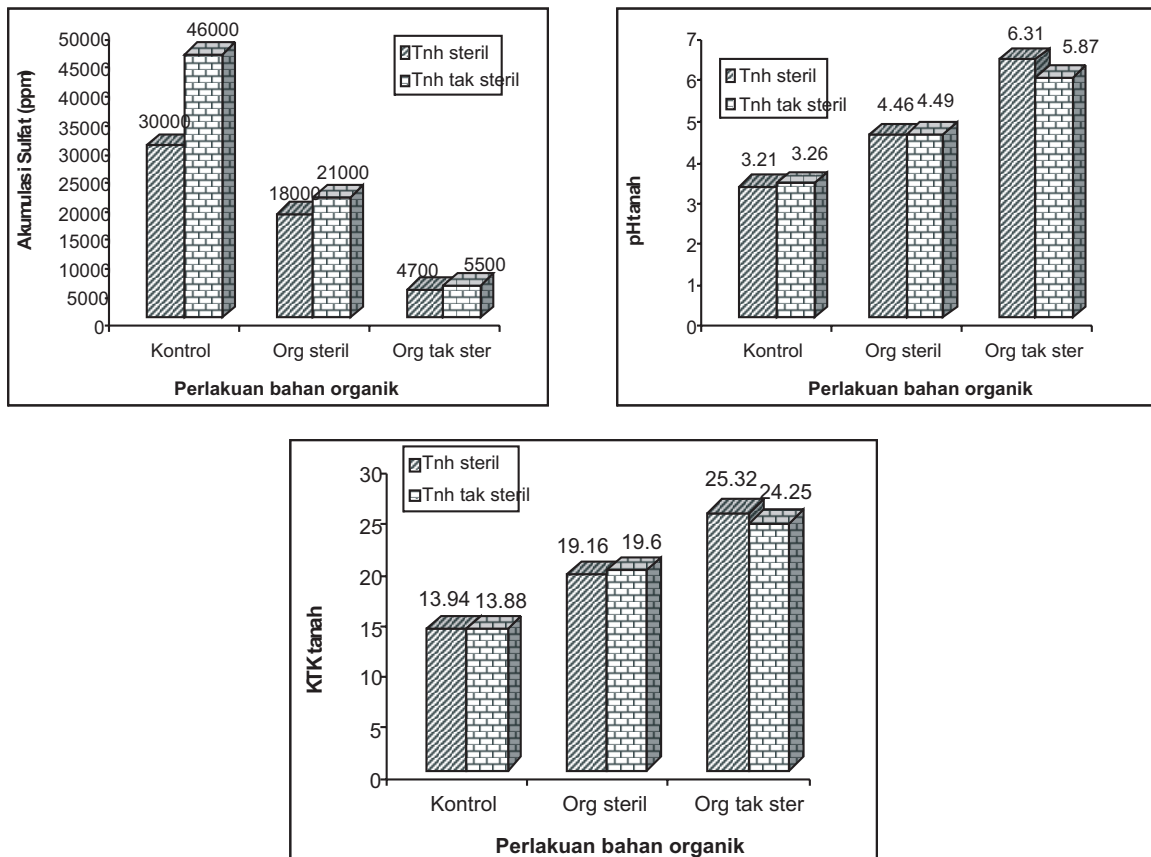
Menurunnya kandungan sulfat karena penambahan bahan organik terjadi karena sulfat tereduksi menjadi sulfida. Pada kondisi anaerob maka bahan organik dapat berperan sebagai donor elektron (Groudev *et al.*, 2001). Ketika sulfat menerima elektron dari bahan organik maka akan mengalami reduksi membentuk senyawa sulfida seperti yang digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut (Foth, 1990):



Apabila dibandingkan dengan standar sifat kimia tanah untuk tanah pertanian yang dibakukan oleh Pusat Penelitian Tanah (1983) perlakuan sterilisasi *sludge* memberikan hasil yang berbeda nyata, sedangkan perlakuan sterilisasi tanah tidak memberikan hasil yang berbeda nyata (Gambar 5). Menurut pembakuan tersebut, pH tanah dibedakan menjadi 5 kelompok yaitu sangat masam (pH < 4,5), masam (4,5 - 5,5), agak masam (5,6 - 6,5), netral (6,6 - 7,5) dan alkalin (pH > 7,6). Sedangkan untuk KTK tanah digolongkan menjadi 5 kelompok, yaitu sangat rendah (KTK < 5 me/100 g tanah), rendah (5 - 16) me/100 g tanah, sedang (17 - 24) me/100 g tanah, tinggi (24 - 40) me/100 g tanah dan sangat tinggi (KTK > 40 me/100 g tanah). Hal ini menunjukkan bahwa dalam proses ameliorasi tanah bekas tambang batubara tidak dipengaruhi oleh populasi mikroba tempatan dalam tanah bekas tambang batubara, sehingga aplikasi di lapangan tidak memerlukan sterilisasi.



Gambar (Figure) 4. Pengaruh penambahan bahan organik terhadap kandungan sulfat (a), pH (b) dan KTK tanah 10 hari setelah inkubasi (*Impact of organic matter enrichment on sulphate availability (a), pH (b) and cation exchange capacity (c) of the soil 10 days after application*)



Gambar (Figure) 5. Pengaruh sterilisasi tanah dan penambahan bahan organik terhadap kandungan sulfat (a), pH (b) dan KTK tanah 10 hari setelah inkubasi (*Impact of soil sterilization and organic matter enrichment on sulphate availability (a), pH (b) and cation exchange capacity (c) of the soil 10 days after application*)

Variabel pH dan KTK merupakan sifat tanah yang penting untuk melakukan revegetasi. pH dan KTK menentukan ketersediaan dan keseimbangan unsur hara yang sangat penting untuk pertumbuhan bibit di lapangan. Sehingga perbaikan kedua variabel ini akan membantu meningkatkan keberhasilan revegetasi pada lahan tersebut.

IV. KESIMPULAN

Bahan organik dapat digunakan untuk mengendalikan populasi BOS sehingga dapat menghambat laju terjadinya AMD pada lahan bekas tambang. Penambahan bahan organik juga dapat memperbaiki sifat-sifat kimia tanah, yaitu dapat menurunkan akumulasi sulfat, meningkatkan pH dan KTK tanah bekas tambang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada **PT. SINAR MAS** terutama **PT. Indah Kiat Pulp and Paper** atas ijin yang diberikan untuk menggunakan *sludge* pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd ed. John Willey & Son. New York.
- Bohn, H.L, B.L. McNeal dan G.A. O'Connor. 1985. Soil Chemistry. 2nd ed. John Willey&son. New York.
- Durkin, T.V. and J.G. Herrmann. 1994. Focusing On The Problem Of Mining Wastes: An Introduction to Acid Mine Drainage. EPA Seminar Publication no. EPA/625/R-95/007 "Managing Environmental Problems at Inactive and Abandoned Metals Mine Sites". EPA. USA
- Foth, H.D. 1990. Fundamentals of Soil Science. 8th ed. John Willey&son. New York.
- Groudev, S.N., K. Komnitsas, I.I. Spasova and I. Paspaliaris. 2001. Treatment of AMD by a natural wetland. Minerals Engineering 12: 261-270.
- Hards, B.C. and J.P. Higgins. 2004. Bioremediation of Acid Rock Drainage Using SRB. Jacques Whit Environment Limited. Ontario.
- Mills, C. 2004. The role of microorganisms in acid rock drainage. www.technology.infomine.com/environment/ard/Microorganism/ro. Dikunjungi: 24 Mei 2008
- Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction. John Willey&son. New York.
- Tan, K.H. 1993. Principles of Soil Chemistry. Marcel and Dekker. New York.