

Prospek Zeolit sebagai Bahan Penjerap dalam Remediasi Lahan Bekas Tambang

Suwardi dan Budi Mulyanto

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan
Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor
Email: suwardi_bogor@yahoo.com

ABSTRAK

Sampai saat ini, pertambangan dan energi masih merupakan sektor penting untuk menopang ekonomi negara. Namun pada umumnya kegiatan penambangan menimbulkan masalah lingkungan karena sebagian besar pertambangan menerapkan teknik penambangan terbuka yang menyebabkan perubahan bentang alam, yang meliputi topografi, vegetasi penutup, pola hidrologi, dan kerusakan tubuh tanah. Sebagai akibatnya, ekosistem tempat penambangan dan sekitarnya terganggu. Gangguan ini akan semakin nyata jika batuan limbah (overburden) mengandung mineral-mineral yang tidak stabil dalam kondisi oksidatif (seperti mineral pirit dan chalkopirit), sehingga menghasilkan air masam tambang (acid mine drained) yang mengganggu pertumbuhan biota. Zeolit merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang mempunyai struktur yang khas, nilai kapasitas tukar kation (KTK) tinggi, porous, dapat menyerap ion amonium dan air. Sehubungan dengan sifat-sifat tersebut bahan ini dapat digunakan sebagai: (a) penjerap unsur atau senyawa yang tidak diinginkan seperti logam-logam berat, (b) pembawa unsur hara seperti ion amonium, dan (c) meningkatkan kapasitas penyangga tanah. Paper ini akan menjelaskan prospek zeolit sebagai bahan untuk remediasi lahan bekas tambang.

Kata kunci: Reklamasi lahan bekas tambang, revegetasi, zeolit, bahan penjerap

ABSTRACT

PROSPECT OF ZEOLITE AS ABSORBENT MATERIALS FOR REMEDIATION OF ABANDONED MINE LAND. Nowadays, mining and energy are still as important sectors for contributing state economics. However, mining activities usually make environmental problems because most of mining use open pit mining technique that causing the change for the landscape comprising topography, cover vegetation, hydrology pattern, and destruction of soils. In the consequence, the ecosystem of mining area and its surrounding will disturb. The disturbances will more clear if the overburden containing unstable minerals in oxidize condition (such as pyrite and chalcopyrite) release acid mine drained that disturbing biota growth. Zeolite is aluminosilicate mineral group having unique structure, high cation exchange capacity, porous, and adsorb of ammonium ion and water. With those properties, zeolite can be used as (a) adsorb of undesirable elements or compounds such as heavy metals, (b) carrier of nutrients such as ammonium ions, and (c) increasing buffer capacity of soils. This paper will discuss the prospect of zeolite as material for remediation of abandoned mine land.

Keywords: Reclamation of abandoned land, revegetation, zeolite, adsorption material.

PENDAHULUAN

Sektor pertambangan merupakan sektor yang sangat penting bagi Indonesia karena cadangan bahan tambang cukup besar dan kegiatan pertambangan cukup intensif. Sektor ini pada triwulan III tahun 2005 menyumbang 10.45% dari Pendapatan Domestik Bruto (PDB) Nasional atau setara 74 trilyun rupiah (BPS, 2005) [1]. Indonesia mempunyai Indeks Potensi Mineral pada peringkat 16 dari 47 negara yang dinilai mempunyai potensi bahan tambang cukup besar di dunia. Sehubungan dengan itu maka banyak investor yang berusaha untuk dapat melakukan kegiatan usaha pertambangan di Indonesia. Saat ini terdapat 186 perusahaan aktif dalam bentuk 146 Kuasa Pertambangan (KP), 25 Perjanjian Karya Perusahaan Pertambangan Batubara (PKP2B) dan 15 Kontrak Karya (KK).

Kegiatan pertambangan sebagian besar merupakan pertambangan di darat yang menerapkan teknik penambangan terbuka (*open pit mining*), sehingga menyebabkan perubahan bentang alam, yang meliputi topografi, vegetasi penutup, pola hidrologi, dan kerusakan tubuh tanah. Sebagai akibatnya adalah ekosistem tempat penambangan dan sekitarnya akan terganggu dan bahkan berubah. Gangguan ini akan semakin nyata jika batuan limbah (*overburden*) mengandung mineral-mineral yang tidak stabil dalam kondisi oksidatif (seperti mineral-mineral yang tergolong dalam mineral sulfidik), sehingga menghasilkan air asam tambang yang mengganggu pertumbuhan biota. Gangguan terhadap ekosistem dapat terjadi juga pada lahan di luar tempat penambangan oleh karena adanya pengendapan tailing sebagai limbah proses pengolahan bahan galian tersebut. Lahan yang telah mengalami kerusakan akibat kegiatan penambangan perlu direklamasi untuk mengembalikan fungsi ekologisnya dan kalau mungkin dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya.

Menurut UU No 11, 1967 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Pertam-

ban dalam Pasal 30 yang menyatakan bahwa "Apabila selesai melakukan penambangan bahan galian pada suatu tempat pekerjaan, pemegang KP diwajibkan mengembalikan tanah sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan bahaya bagi masyarakat sekitarnya". Selanjutnya menurut KepMen Pertambangan dan Energi No. 1211.K/008/M.PE/1995, tentang Pencegahan dan Penanggulangan Perusakan dan Pencemaran Lingkungan pada Kegiatan Pertambangan Umum menyatakan bahwa (a) Reklamasi areal bekas tambang harus dilakukan secepatnya sesuai dengan rencana dan persyaratan yang telah ditetapkan, dan (b) Reklamasi dinyatakan selesai setelah disetujui oleh Dirjen (Pasal 12). Selanjutnya KepMen tersebut menyatakan bahwa Kepala Teknik Tambang wajib menanami kembali daerah bekas tambang, termasuk daerah sekitar *project area* sesuai studi AMDAL yang bersangkutan (Pasal 13, ayat1).

Untuk mengembalikan lahan bekas tambang agar tidak bermasalah bagi lingkungan, maka diperlukan usaha-usaha untuk memperbaiki lahan dan menanami kembali lahan tersebut agar berfungsi kembali sebagai hutan. Kebijakan reklamasi ini ditujukan agar pembukaan lahan untuk pertambangan dilakukan seoptimal mungkin dan setelah ditambang segera dipulihkan fungsi lahannya. Disamping itu reklamasi harus dilaksanakan secepatnya sesuai dengan kemajuan tambang yang merupakan bagian dari skenario pemanfaatan lahan pasca tambang.

Zeolit merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang mempunyai struktur yang khas, nilai kapasitas tukar kation (KTK) tinggi, porous, dapat menjerap ion amonium dan air. Sehubungan dengan sifat-sifat tersebut zeolit dapat digunakan sebagai: (a) penjerap unsur atau senyawa yang tidak diinginkan seperti logam-logam berat, (b) pembawa unsur hara seperti ion amonium, dan (c) meningkatkan kapasitas penyangga tanah. Paper ini akan

membahas peranan zeolit usaha merehabilitasi lahan bekas tambang melalui revegerasi lahan.

LAHAN BEKAS TAMBANG

Sebagian besar pertambangan di Indonesia dilakukan dengan teknik penambangan terbuka (*open pit mining*). Dengan sistem itu menyebabkan perubahan bentang alam, yang meliputi topografi, vegetasi penutup, pola hidrologi, dan kerusakan tubuh tanah. Topografi berubah karena bahan tambang diambil dari bagian tertentu dari tubuh alam dan menyisakan bahan tanah dan batuan yang tidak dimanfaatkan. Pada banyak kasus terjadi kubangan-kubangan yang sangat besar berbentuk kolam-kolam. Jika hujan turun maka sering terjadi erosi yang membawa bahan tanah yang tertinggal dari proses penggalian tambang. Akibatnya terjadi gangguan keseimbangan alam. Gangguan ini akan semakin nyata jika batuan limbah (*overburden*) yang mengandung mineral-mineral yang tidak stabil dalam kondisi oksidatif (seperti mineral pirit dan chalkopirit), sehingga menghasilkan air masam tambang (*acid mine drained*) yang mengganggu pertumbuhan biota. Untuk mengurangi dampak negatif dari kegiatan pertambangan maka diperlukan berbagai usaha yang bersifat komprehensif.

Penambangan terbuka selalu mengganggu vegetasi penutup tanah karena pada proses penambangan selalu mengupas tanah sebelum mengambil bahan tambangnya. Oleh karena itu untuk mengembalikan kondisi daerah tambang seperti sebelumnya atau membuat lebih baik dari kondisi sebelumnya maka perlu dilakukan revegetasi. Kendala yang sering dihadapi dalam revegetasi adalah sifat-sifat tanah bekas tambang sudah berubah dari tanah sebelumnya karena *topsoil* telah terkupas sehingga perlu dilakukan perbaikan *topsoil* sebelum dilakukan revegetasi.

Gangguan terhadap ekosistem dapat terjadi bukan hanya pada daerah

penambangan tetapi juga pada lahan di luar tempat penambangan akibat adanya pengendapan tailing sebagai hasil proses pengolahan bahan galian tersebut. Lahan yang telah mengalami kerusakan akibat kegiatan penambangan perlu direklamasi untuk mengembalikan fungsi ekologisnya dan kalau mungkin dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya. Oleh karena itu sebagian besar wilayah pertambangan terletak di daerah pedesaan, maka usaha reklamasi yang dapat dilakukan adalah revegetasi. Namun untuk melakukan revegetasi menghadapi persoalan antara lain: lapisan tanahnya tipis sehingga ruang perakaran sempit, kandungan unsur hara rendah, daya memahan air rendah, masam, dan kandungan logam-logam berat tinggi. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengatasi masalah-masalah tersebut agar revegetasi dapat dilakukan lebih baik.

REVEGETASI LAHAN BEKAS TAMBANG

Kegiatan revegetasi pada lahan bekas tambang dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari kegiatan penambangan. Beberapa syarat yang perlu dilakukan agar revegetasi dapat berjalan dengan baik adalah sebagai berikut. (1) Penataan bentang lahan agar kembali ke bentuk semula atau didesain bentuk baru yang lebih baik. (2) Perbaikan *topsoil* dengan penambahan bahan-bahan yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman. (3) Memilih jenis tanaman sesuai dengan tujuan revegetasi dengan mempertimbangkan kondisi lahan dan iklim setempat.

Kerusakan lahan bekas tambang sangat bervariasi tergantung dari jenis tambangnya. Pada umumnya lahan bekas tambang menyisakan lubang besar bekas penggalian bahan tambang. Penataan bentang alam yang berbentuk kolam besar dapat dijadikan danau buatan dengan mengatur aliran air jika terjadi *overflow*. Lahan terbuka di sekitar kolam dapat dilakukan penanaman vegetasi sesuai dengan vegetasi alami yang tumbuh di daerah itu atau dengan vegetasi yang mudah tumbuh. Lahan bekas tambang tempat pembuangan batuan limbah

(*overburden*) perlu ditanami dengan vegetasi yang mudah tumbuh pada kondisi sifat-sifat batuan limbah dan kandungan unsur-unsur yang ada di dalamnya. Oleh karena itu sangat diperlukan analisis tanah pada setiap lokasi lahan bekas tambang dan tempat pembuangan batuan limbah.

Pada umumnya lahan bekas tambang, bagian *topsoil* sudah terkupas sehingga bagian atas tanah perlu diperbaiki terlebih dahulu sebelum dilakukan revegetasi. Pada umumnya tanah yang telah dikupas *top soil* nya mengandung bahan organik yang sangat rendah. Dengan kondisi itu tanah bekas tambang harus ditambah bahan organik agar tanaman dapat tumbuh khususnya pada tanah yang akan ditanami tanaman jenis penutup tanah. Untuk tanaman hutan atau tanaman tahunan maka bahan organik dapat diberikan di lubang-lubang tanam. Selain bahan organik bahan mineral zeolit dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah khususnya kapasitas tukar kation, daya jerap terhadap ion amonium, dan daya pegang air. Penggunaan zeolit dapat dicampurkan dengan tanah di permukaan tanah atau di lubang tanam, dicampurkan dengan pupuk, sebagai media tumbuh pembibitan, dan dicampurkan dengan kompos. Uraian detail akan dibahas kemudian dalam sub bab tersendiri.

Untuk melakukan revegetasi diperlukan pemilihan tanaman sesuai dengan jenis penutupannya. Tanaman dapat berupa tanaman penutup tanah dan tanaman pohon. Pada umumnya tanaman yang dipilih memiliki daya tumbuh yang baik sehingga mudah tumbuh dalam kondisi tanah kurang subur sekali pun. Beberapa jenis tanaman penutup misalnya *Calopogonium mucunoides*, *Centrocema pubescens*; sedangkan tanaman pohon adalah *Gliricidia sepium*, *Acacia mangium*, Sengon (*Parasiantes falcataria*). Tanaman penutup tanah banyak ditanam pada lahan yang miring untuk mengurangi erosi sedangkan lahan yang lebih datar ditanami pohon.

ZEOLIT MERUPAKAN BAHAN PENJERAP DALAM REMEDIASI LAHAN BEKAS TAMBANG

Zeolit merupakan mineral yang mempunyai kegunaan yang sangat luas di berbagai bidang pertanian, industri, energi, lingkungan dan kesehatan. Agar pemanfaatan zeolit dapat optimal, maka pemahaman sifat-sifat zeolit menjadi sangat penting. Pemanfaatan zeolit pada dasarnya adalah pemanfaatan sifat-sifat zeolit itu sendiri. Dengan mengetahui sifat-sifat zeolit secara mendalam, terbuka peluang yang lebih besar untuk memanfaatkan sifat-sifat tersebut untuk berbagai penggunaannya.

Sifat-sifat kimia zeolit menyangkut susunan kimia, dominasi kation yang dapat dipertukarkan, kandungan air kristal, kapasitas tukar kation (KTK), pH, daya hantar listrik, dan sifat-sifat lainnya. Penetapan sifat-sifat kimia lebih mudah dilakukan dibandingkan sifat-sifat mineralogi karena menggunakan alat-alat yang lebih sederhana yang umum banyak tersedia di laboratorium. Yang paling penting untuk analisis kimia adalah metode yang digunakan. Penggunaan metode yang berbeda dapat menyebabkan hasil yang berbeda pula. Oleh karena itu setiap hasil analisis harus disertai metode yang digunakan untuk menetapkan sifat-sifat kimia tersebut.

Berbagai usaha untuk memperbaiki lahan bekas tambang dilakukan antara lain dengan penambahan kompos, pupuk kandang, kapur, zeolit dan bahan-bahan lain dalam jumlah yang cukup besar. Kalau penambahan pupuk sekitar 100-300 kg/ha, maka penambahan bahan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah tersebut bisa mencapai 10-20 ton/ha. Fungsi utama zeolit sebagai bahan pembenah tanah adalah meningkatkan nilai kapasitas tukar kation (KTK) tanah sehingga pemberian zeolit pada tanah-tanah yang mempunyai KTK rendah diharapkan dapat meningkatkan KTK-nya. Penggunaan zeolit sebagai bahan pembenah tanah bekas tambang telah banyak dilakukan di Jepang,

Amerika Serikat, dan negara-negara Eropa.

Penggunaan zeolit sebagai bahan pembenah tanah bekas tambang berdasarkan tingginya nilai KTK dan daya serap air. Disamping itu, selektivitas adsorpsi terhadap ion amonium yang tinggi dapat dimanfaatkan untuk mengefisiensikan penggunaan pupuk nitrogen dan penjerap logam berat. Mekanisme efisiensi dapat dijelaskan sebagai berikut. Mula-mula pupuk nitrogen yang diberikan ke dalam tanah akan terurai menjadi ion-ion amonium dan nitrat. Kemampuan zeolit menjerap ion amonium menyebabkan perubahan ion amonium menjadi ion nitrat atau menguap sebagai gas amonik akan terhambat. Dengan mekanisme itu, kehilangan nitrogen dalam bentuk ion nitrat yang biasanya tercuci bersama air perkolasi atau menguap dalam bentuk gas amoniak dapat ditekan sehingga kehilangan nitrogen dapat dikurangi. Jika kadar nitrogen dalam larutan tanah berkurang karena diserap oleh tanaman, amonium yang diadsorpsi oleh zeolit akan dilepas secara perlahan ke dalam larutan tanah.

Berdasarkan kemampuan pertukaran terhadap kation yang tinggi, zeolit dapat mengikat dan menyimpan unsur pupuk sementara dan melepas kembali ke tanah saat tanaman memerlukan. Dengan proses kerja seperti itu, zeolit sering disebut sebagai bahan penyedia lambat (*slow release agent*). Perlu ditekankan bahwa zeolit hanya berfungsi sebagai karier dalam mengatur pelepasan hara untuk tanaman. Hal ini perlu digarisbawahi karena banyak yang beranggapan bahwa zeolit sering dianggap sebagai bahan pupuk. Sehingga zeolit bukan sebagai slow release fertilizer tetapi hanya sebagai slow release agent. Penambahan zeolit tanpa dibarengi dengan penambahan pupuk dan bahan-bahan lain yang diperlukan tanaman, justru akan merugikan tanaman karena sebagian dari haranya akan dijerap oleh zeolit.

BEBERAPA HASIL PENELITIAN PENGGUNAAN ZEOLIT

Pengaruh pemberian zeolit terhadap sifat-sifat tanah antara lain untuk: (a) Meningkatkan KTK Tanah. Peningkatan KTK tanah ditentukan oleh KTK zeolit, dosis zeolit, dan jenis muatan dari tanah. Semakin tinggi KTK zeolit dan semakin besar dosis zeolit semakin besar pula kenaikan KTK tanah. Berkaitan dengan muatan tanah, zeolit yang diberikan pada tanah yang mempunyai mineral liat alofan ternyata tidak dapat meningkatkan KTK tanah. (b). Meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen. Kandungan kalium yang tinggi dalam zeolit klinoptilolit (K_2O sekitar 3%) menyebabkan pemberian zeolit meningkatkan kalium dalam tanah. Pemberian 10 ton/ha, misalnya akan menambah K_2O setara 300 kg/ha jika semua kalium tersedia. Namun demikian, karena tidak semua kalium yang berada dalam zeolit dapat digunakan dengan segera oleh tanaman, penambahan pupuk kalium masih sangat diperlukan dalam dosis yang lebih kecil. (c) Meningkatkan ketersediaan P. Dari percobaan lapang yang dilakukan di Kebun Percobaan IPB, Darmaga menunjukkan bahwa zeolit meningkatkan P_2O_5 tersedia dari 5,28 mg/kg menjadi 20,1 mg/kg pada Podsolik tetapi tidak meningkatkan fosfor pada tanah Mediteran (Suwardi, 1997) [2]. Ini berarti zeolit mampu meningkatkan fosfor pada tanah ber pH rendah yang fosfornya terikat dalam bentuk Fe-P dan Al-P. Mekanisme peningkatan fosfor diduga karena Ca dalam zeolit mengikat fosfor dalam tanah yang semula diikat oleh Fe dan Al. Karena Ca dalam zeolit mudah dilepaskan dalam bentuk dapat dipertukarkan, maka fosfor yang diikat Ca menjadi tersedia. Sifat fisik berongga dari zeolit menyebabkan penambahan zeolit pada tanah bertekstur liat dapat memperbaiki struktur tanah sehingga meningkatkan pori-pori udara tanah. Pada Regosol, zeolit dapat meningkatkan daya pegang tanah terhadap air. Zeolit dapat bertahan lama di dalam tanah karena struktur zeolit relatif stabil.

Zeolit dikenal sebagai bahan karier pupuk P dan Cu. Besarnya jerapan maksimum zeolit terhadap unsur P, K dan Cu menunjukkan bahwa kandungan unsur P, K dan Cu zeolit meningkat setelah diperkaya dengan larutan yang mengandung unsur-unsur tersebut. Tingkat pemberian larutan masing-masing sebesar 500 ppm terjadi peningkatan sebesar 85, 10 dan 276% dibandingkan sebelum diperkaya (Tabel 1). Perlu pendugaan jumlah P, K dan Cu yang harus ditambahkan dengan mempertimbangkan jumlah unsur tersebut yang terdapat di dalam larutan tanah agar dapat mencukupi kebutuhan tanaman. Hasil di atas juga menunjukkan bahwa zeolit dapat dipakai sebagai carrier untuk unsur Cu dan P tetapi tidak untuk K.

Zeolit tidak banyak mengandung unsur hara kecuali kalium dan sedikit unsur mikro. Oleh karena itu, agar memberikan pengaruh lebih besar, zeolit perlu diberikan dalam bentuk campuran dengan bahan lain. Dari percobaan lapang menunjukkan

bahwa campuran zeolit dengan kotoran ayam meningkatkan produksi kedelai 24%, lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit dan kotoran ayam jika digunakan secara terpisah. Demikian juga campuran zeolit, kompos, dan terak baja dapat meningkatkan produksi gandum pada musim tanam kedua sampai 106% dan nilainya lebih baik jika digunakan secara terpisah-pisah.

Sifat fisik berongga dari zeolit menyebabkan penambahan zeolit pada tanah bertekstur liat dapat memperbaiki struktur tanah sehingga meningkatkan pori-pori udara tanah. Pada tanah berpasir, zeolit dapat meningkatkan daya pegang tanah terhadap air. Zeolit dapat bertahan lama di dalam tanah karena struktur zeolit relatif stabil. Penelitian yang dilakukan untuk rehabilitasi beberapa sifat fisik tanah bekas tambang pasir di Bogor dengan penambahan zeolit dan bahan organik menunjukkan bahwa perlakuan zeolit nyata menurunkan bobot isi tanah (Tabel 2).

Tabel 1. Kandungan P, K dan Cu zeolit sebelum dan sesudah diperkaya.

Unsur	Sebelum Diperkaya (ppm)	Sesudah Diperkaya (ppm)	Peningkatan (%)
P	800	1,480	85
K	17,500	19,300	10
Cu	260	720	276

Tabel 2. Pengaruh zeolit dan bahan organik terhadap bobot isi tanah.

Zeolit (ton/ha)	Bahan Organik (ton/ha)				Rata-rata*
	0	15	30	45	
	----- (g/cm ³) -----				
0	1,39	1,32	1,21	1,11	1,25 a
5	1,34	1,24	1,21	1,08	1,20 a
10	1,25	1,22	1,09	1,03	1,14 b
Rata-rata*	1,32 a	1,26 b	1,17 c	1,07 d	

* Angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata dengan uji Tukey (P < 0,05)

Penurunan bobot isi tanah akibat perlakuan zeolit berkaitan dengan kemampuan zeolit dalam meningkatkan ketersediaan kation-kation tanah, khususnya ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang tersedia dapat merangsang proses agregasi dalam tanah melalui pengikatan secara kimia muatan negatif partikel liat dengan muatan mineral zeolit melalui perantaraan kation. Selain itu Fe_2O_3 yang dilepaskan mineral zeolit dapat memantapkan agregat yang telah terbentuk.

Adanya pengaruh air saat terjadi penguapan maka butir-butir liat dapat tertarik satu sama lain, sehingga terbentuk agregat-agregat tanah yang lebih stabil, yang akhirnya menurunkan bobot isi tanah. Tabel 3 menunjukkan pengaruh perlakuan zeolit dan bahan organik terhadap permeabilitas tanah. Perlakuan zeolit nyata meningkatkan permeabilitas tanah. Interaksi antara zeolit dan bahan organik tidak nyata namun terdapat kecenderungan meningkatnya permeabilitas tanah dengan semakin meningkatnya takaran zeolit yang digunakan.

Peningkatan permeabilitas akibat perlakuan zeolit berkaitan dengan fungsi zeolit yang dapat merangsang proses agregasi tanah. Proses ini dapat menciptakan kondisi tanah yang lebih sarang, sehingga kecepatan

bergeraknya air di dalam tanah meningkat. Peningkatan permeabilitas akibat perlakuan bahan organik berkaitan dengan fungsi bahan organik yang dapat menurunkan bobot isi tanah. Penurunan nilai bobot isi dapat mengakibatkan peningkatan kecepatan bergerak air di dalam tanah. Tabel 4 menunjukkan pengaruh perlakuan zeolit dan bahan organik terhadap amonium dalam tanah. Perlakuan bahan organik nyata meningkatkan amonium tanah dan interaksi antara zeolit dan bahan organik tidak nyata namun terdapat kecenderungan peningkatan amonium tanah dengan semakin meningkatnya takaran zeolit dan bahan organik yang diberikan. Peningkatan amonium tanah akibat perlakuan zeolit berkaitan dengan peningkatan jumlah NH_4^+ yang dapat ditahan jauh lebih tinggi. Selektifitas jerapan kation zeolit $\text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$.

Hasil penelitian kandungan logam berat pada *sludge* menunjukkan kandungan logam-logam berat Cr 11 ppm, Cd 9,5 pm, Pb 22 ppm, Cu 27 ppm, dan Zn 24 ppm. Dengan penambahan zeolit pada *sludge* memberikan hasil yang menunjukkan bahwa zeolit dapat dipergunakan sebagai penjerap logam-logam berat untuk mengurangi polusi di dalam tanah.

Tabel 3. Pengaruh zeolit dan bahan organik terhadap permeabilitas tanah.

Zeolit (ton/ha)	Bahan organik (ton/ha)				Rata-rata*
	0	15	30	45	
	----- (g/cm ³) -----				
0	1,84	2,62	3,15	3,37	2,74 b
5	3,15	3,54	3,86	3,83	3,59 a
10	3,22	3,75	4,53	4,69	4,04 a
Rata-rata*	2,73 b	3,30 ab	3,84 a	3,96 a	

* Angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata dengan uji Tukey (P < 0,05)

Tabel 4. Pengaruh zeolit dan bahan organik terhadap NH_4^+ dalam tanah.

Zeolit (ton/ha)	Bahan organik (ton/ha)				Rata-rata*
	0	15	30	45	
	----- (g/cm ³) -----				
0	40,16	67,06	101,52	156,33	91,26 b
5	45,69	85,47	123,05	150,46	101,16 ab
10	56,94	96,90	114,71	174,74	110,82 a
Rata-rata*	47,59 d	83,14 c	113,09 b	160,05 a	

* Angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata dengan uji Tukey ($P < 0,05$).

Tabel 5. Kandungan logam dalam tanah (Rata-rata dan maksimum yang diperkenankan) dan dalam tanaman yang tidak tercemar.

Logam	Konsentrasi dalam Tanah (DTPA-ekstraktan)		Konsentrasi Dalam Tanaman
	Rata-rata	Maksimum yang Diperkenankan	
	----- ppm) -----		
Cr	1,40	11,20	0,2 - 1,0
Cd	0,28	0,57	0,2 - 0,8
Pb	1,82	65,00	0,1 - 10
Cu	9,00	36,00	4,0 - 15
Zn	14,31	57,24	8,0 - 100

Sumber : Allaway, W.H. 1968 [3]

Seperti yang diperkirakan, kandungan logam berat Pb, Cd, Cr, Cu, dan Zn pada limbah lumpur adalah relatif tinggi. Tingginya kandungan logam berat ini terutama disebabkan karena banyaknya kegiatan industri dan pemukiman di daerah antara perkotaan yang berada pada hulunya. Evaluasi kandungan logam berat dalam media dilakukan dengan membandingkan hasil analisis dengan kriteria yang dipersyaratkan untuk lahan pertanian yang berlaku di Kanada yang dikonversikan ke DTPA-ekstraksi (larutan ekstraksi DTPA) [4]. Sedangkan untuk tanaman dibandingkan dengan kandungan logam pada tanaman yang tidak tercemar, keduanya disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan kriteria tersebut maka konsentrasi seluruh parameter logam berat dalam limbah lumpur lebih tinggi dari rata-rata, sedangkan yang melebihi konsentrasi maksimum yang diperkenankan adalah Cr dan Cd.

Dari informasi di atas dapat disimpulkan bahwa zeolit dapat digunakan sebagai bahan untuk remediasi lahan bekas

tambang dengan cara dicampur dengan tanah di permukaan tanah, dicampur dengan pupuk kandang atau pupuk urea. Zeolit juga dapat digunakan sebagai bahan campuran media tumbuh tanaman.

KESIMPULAN

1. Permasalahan lahan tambang pada umumnya lapisan tanah tipis atau bahkan tidak ada tanahnya sehingga ruang perakaran sempit, kandungan unsur hara rendah, daya menahan air rendah, masam, dan kandungan logam-logam berat tinggi, sehingga menyulitkan proses revegetasi.
2. Zeolit merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang mempunyai struktur berongga yang khas, luas permukaan dan KTK tinggi, mengandung kation-kation seperti: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , penjerap logam berat Pb, Cd, Cr, Cu, dan Zn serta penjerap air.

3. Zeolit dapat membantu dalam reklamasi tambang dengan cara aplikasi ditebarkan di permukaan tanah, dicampur dengan tanah dalam lubang tanam, dicampur dengan kompos, dicampur dengan pupuk urea sebelum digunakan untuk pemupukan, atau sebagai media tumbuh tanaman pembibitan.

DAFTAR PUSTAKA

1. BPS. 2005. Laporan Tahunan Badan Pusat Statistik, Jakarta.
2. Suwardi, L.T Indriyati, and I. Goto. 1997. Effect of Zeolite Addition to Chicken Manure on Nitrogen Mineralization in the Soil. Development in Plant and Soil

Sciences. *Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium*. Tokyo, Japan, September 13-19, 1997.

3. Allaway, W. H. 1968. Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. *Advances in Agronomy* 20, 235-274.
4. Giordano P.M and D.A. Mays. 1975. Remediation of metals-contaminated sites using plants. *Remediation Journal* 6 (3):1-18.