PEMANFAATAN *SLUDGE* INDUSTRI KERTAS SEBAGAI AGEN PEMBENAH TANAH PADA LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA

(The Use of Pulp and Paper Sludge as a Soil Amendment Agent on Ex-Coal Mining Site)

Oleh/*By* :

Enny Widyati, Irdika Mansur, Cecep Kusmana, Iswandi Anas, dan/*and* Erdy Santoso

ABSTRACT

Planting seedlings on ex-coal mining site will face many constraints because the site is characterised by low soil pH, soil organic mater, cation exchange capacity (CEC); poor nutrient and a heavy metal accumulation. This study was carried out to utilise sludge as a soil amelioration to improve soil condition to be more favourable for growing seedlings. Ex-coal mining soils samples (each 2 kg) are put in polibags and homogenically mixed with sludge and composted sludge in 0 %, 25 %, and 50 % (v/v). Watering was given in every three days to mimic the field condition. After two weeks, each treatment is assessed to investigate the content of soil pH, CEC, nutrients, SO_4 and S total. The result showed that sludge 50 % give the best response. In this treatment soil pH increased 103 %, CEC 167 %; S total and SO4 was removed up to 87.05 %. The results suggested that sludge of pulp and paper mills is prospective to be further developed as soils amelioration agent.

Key words : Sludge of pulp and paper, soil amelioration agent, ex-coal mining site, rehabilitation

ABSTRAK

Menumbuhkan bibit pada lahan bekas tambang batubara dihadapkan pada berbagai macam kendala akibat kondisi lahan bekas tambang ini yang kurang mendukung karena pH lahan rendah, kandungan bahan organik tanah (BOT) rendah, kapasitas tukar kation (KTK) rendah, kurang seimbangnya unsur hara dan terjadi akumulasi logam berat. Penelitian ini ditujukan untuk memanfaatkan limbah industri kertas (*sludge*) sebagai agen pembenah tanah untuk memperbaiki kondisi lahan bekas tambang batubara sehingga menjadi lebih optimum untuk menumbuhkan bibit. Diambil 2 kg tanah dari lahan bekas tambang batubara dan ditempatkan pada polibag kemudian dicampur secara homogen dengan masing-masing 0 %, 25 %, dan 50 % dengan *sludge* dan *sludge* yang sudah dikomposkan (v/v). Diberi penyiraman setiap 3 hari sekali untuk menirukan kondisi di lapangan. Setelah 2 minggu dilakukan pengukuran pH, KTK, S total, dan kandungan sulfat tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *sludge* 50 % memberikan hasil yang paling baik, meningkatkan pH 103 %, KTK 167 %, S total dan SO_4 diturunkan sebanyak 87,05 % dibanding kontrol. Penelitian ini menunjukkan bahwa *sludge* industri kertas mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan sebagai agen pembenah tanah.

Kata kunci : *Sludge* industri kertas, agen pembenah tanah, lahan bekas tambang batubara

I. PENDAHULUAN

Sektor industri dan pertambangan Indonesia merupakan sumber pendapatan nasional tertinggi dalam beberapa tahun terakhir dan diharapkan masih berperan dalam menunjang pembangunan ke depan. Industri *pulp* dan kertas mengalami perkembangan pesat selama dekade 1990-an. Produksi tahun 1999 mencapai 5.295.000 ton/tahun, diperkirakan pada tahun 2005 kapasitas produksi akan mencapai 12.745.600 ton/tahun (Simarmata *et al*, 2004). Peningkatan produksi juga akan diikuti dengan meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan, baik padat maupun cair. Dengan demikian, tidak terbantahkan apabila hal ini akan meningkatkan resiko lingkungan yang akan diderita.

Sektor pertambangan, selain banyak menghasilkan devisa negara, juga menyumbangkan kerusakan lingkungan yang cukup memprihatinkan. Salah satu aktivitas pertambangan yang dilakukan pada luasan yang cukup besar di Indonesia adalah penambangan batubara. Penambangan batubara dilakukan dengan metode tambang terbuka yang mengupas seluruh lapisan kulit bumi yang ada di atas lokasi deposit batubara. Hal ini akan menyebabkan hilangnya lapisan tanah yang mengandung bahan organik dan tersingkapnya lapisan mineral yang tersusun atas senyawa pirit. Senyawa pirit yang tersingkap akan mengakibatkan merosotnya pH tanah akibat adanya fenomena *acid mine drainage/acid rock drainage* di mana pirit teroksidasi menjadi $FeOH_3$ dan asam sulfat. Hilangnya bahan organik tanah dan terjadinya *acid rock drainage* merupakan kendala terbesar yang dihadapi dalam kegiatan rehabilitasi lahan bekas tambang batubara. Oleh karena itu sangat diperlukan upaya-upaya perbaikan lahan (meningkatkan pH, KTK, dan menurunkan polutan sulfat) sebelum dilakukan aktivitas revegetasi pada lahan tersebut.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan bahan organik misalnya dapat menggunakan *sludge* yaitu limbah industri kertas yang diambil dari instalasi pengolahan air limbah (IPAL). *Sludge* ini merupakan lumpur aktif yang dikoloni oleh berbagai macam mikroba. Penelitian pemanfaatan kompos *sludge* untuk meningkatkan produksi pertanian sudah banyak dilakukan terutama di Eropa dan Amerika. Aplikasi *sludge pulp and paper* terhadap lahan pertanian dan kehutanan menunjukkan hasil yang menggembirakan. *Sludge* dapat meningkatkan pertumbuhan, *redudancy* nutrisi tanaman, dan kondisi fisik tanah. *Sludge* primer umumnya mengandung C/N yang tinggi, melalui pengomposan dapat memperbaiki C/N tersebut (Brockway & Urie, 1983; McDonald *et al*, 1993; Bellomy *et al*, 1995; Sherman, 1995). Kompos *sludge* dapat membantu tanah dalam melepaskan mineral secara perlahan-lahan, sebagai sumber kation alkali dan sebagai sumber C bagi mikroba tanah. Peningkatan kandungan C akan merangsang aktivitas mikroba tanah yang pada akhirnya akan meningkatkan kandungan humus, meningkatkan kemampuan tanah mengikat air/*water holding capacity* (WHC), kapasitas tukar kation (KTK) dan penyerapan mineral, serta agregasi tanah (Brockway & Urie, 1983; McDonald *et al*, 1993; Bellomy *et al*, 1995; Sherman, 1995).

Aplikasi 2-24 ton/ha kompos *sludge* meningkatkan produksi tanaman pertanian secara signifikan dibandingkan dengan menggunakan pupuk sintetis (Brockway & Urie, 1983). Sebuah perusahaan hutan tanaman industri (HTI) di Riau mengaplikasikan kompos *sludge* 10 kg per lubang dengan ukuran 40 cm x 40 cm x 30 cm telah meningkatkan pertumbuhan tanaman *Acacia* spp. secara signifikan. Hasil penelitian Henry *et al* (1993) *dalam* Simarmata *et al* (2004) menunjukkan bahwa limbah pabrik *pulp and paper* dengan dosis 142 ton/ha diaplikasikan pada tegakan Douglas fir tua (55 tahun) di Washington, USA ternyata menunjukkan peningkatan pertumbuhan yang signifikan yaitu sebesar 48 % dibanding kontrol selama 12 tahun penelitian. Hasil penelitian Yudisianto (1996) *dalam* Simarmata *et al* (2004) *sludge* dosis 50 g/kg meningkatkan diameter dan indeks mutu bibit jati (*Tectona grandis*) di persemaian. Tallaut (1998) *dalam* Simarmata *et al* (2004) melaporkan bahwa aplikasi *sludge* pada tanah Ultisol meningkatkan pertumbuhan (tinggi, diameter, dan biomass) dan kualitas bibit (rasio pucuk akar, kekokohan, dan indeks kualitas mutu bibit) *Gmelina arborea*.

Dengan demikian, mengingat di Indonesia lahan bekas tambang batubara cukup luas dan produksi *sludge* juga cukup banyak, misalnya satu perusahaan dalam setahun rata-rata menghasilkan 49.500 ton *sludge* (Direktorat Bina Produksi Kehutanan, 2003) dan belum dimanfaatkan secara optimal, maka diperlukan penelitian tentang pemanfaatan *sludge* sebagai agen pembenah tanah yang dapat mempercepat proses rehabilitasi lahan bekas tambang batubara dan untuk memperbaiki lahan sebelum ditanami.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan teknik pemanfaatan

sludge industri kertas untuk rehabilitasi lahan bekas tambang batubara, mendapatkan teknologi remediasi lahan bekas tambang batubara yang aplikatif dan murah serta mendapatkan dosis *sludge* yang optimum.

II. METODOLOGI

A. Lokasi dan Waktu

Sampel tanah diambil dari lahan bekas tambang batubara yang sudah siap ditanami di Sumatera Selatan dan sampel *sludge* diambil dari salah satu industri kertas di Kabupaten Serang, Banten. Penelitian dilakukan di rumah kaca Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian IPB antara bulan Juli-Oktober 2003. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, IPB.

B. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi tanah sampel yang diambil dari lahan bekas tambang batubara, *sludge* dari industri kertas, *sludge* dari industri kertas yang sudah dikomposkan. Sedangkan alat-alat yang digunakan meliputi martil besar untuk menghaluskan tanah, saringan tanah ukuran 25 mesh (0,5 cm x 0,5 cm), polibag, sekop kecil untuk menghomogenkan perlakuan, dan alat penyiram.

C. Metode

Sampel tanah setelah dihaluskan sampai ukuran 25 mesh kemudian diambil seberat 2 kg berat kering udara (BKU) dan dimasukkan ke dalam polibag kemudian diberi perlakuan dengan rancangan faktorial dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan 3 kali ulangan dan masing-masing ulangan satuan perlakuan terdiri atas 5 satuan percobaan; berupa kontrol, *sludge* dengan 2 dosis (25 % dan 50 % v/v) serta sludge yang sudah dikomposkan 1 bulan 2 dosis (25 % dan 50 % v/v). Dilakukan penyiraman setiap 3 hari sekali selama 2 minggu untuk meniru kondisi di lapangan. Pengamatan dilakukan pada awal dan akhir perlakuan. Variabel yang diamati adalah pH, S total, sulfat, KTK dan beberapa komponen ion seperti K, Na, Ca, dan Mg. Efisiensi penurunan (remediasi) S dihitung melalui persamaan:

$$\frac{[\text{S kontrol} - \text{S perlakuan}]}{[\text{S kontrol}]} \times 100\ \%$$

D. Analisis Data

Data dianalisis secara statistik menggunakan analisis varian dan apabila berbeda nyata akan dilakukan uji wilayah berganda dari Duncan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan *sludge* industri kertas, baik yang dikomposkan maupun yang diaplikasikan secara langsung telah meningkatkan pH, KTK dan beberapa kation yang diukur. Di samping itu, aplikasi bahan ini juga mampu menurunkan kandungan S, baik S total maupun dalam bentuk ion sulfat yang merupakan pencemar pada lahan bekas tambang batubara.

Tabel 1 menunjukkan bahwa penambahan *sludge* ke dalam tanah pada lahan bekas tambang batubara dapat meningkatkan ketersediaan hara. Hal ini karena *sludge* industri kertas yang berasal dari kayu dapat dijadikan sumber bahan organik sehingga meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Salah satu peranan bahan organik tanah adalah sebagai sumber hara dalam tanah (Stevenson, 1994). Bahan organik akan mengalami mineralisasi menjadi unsur-unsur penyusunnya yang merupakan nutrien bagi tanaman dan mikroba dalam tanah.

Peranan bahan organik tanah dalam menentukan sifat tanah adalah sangat besar (Anas, 1997). Stevenson (1994) menjelaskan bahwa bahan organik dalam tanah berperan dalam pengikatan air, stabilisasi agregat tanah, mengkelat logam berat, merupakan sistem penyangga (*buffer*) tanah sehingga dapat mengatur pH, meningkatkan KTK, dan sebagai sumber hara dalam tanah. Pengaruh peningkatan bahan organik akibat penggunaan *sludge* dapat meningkatkan KTK dan pH tanah seperti terlihat pada Gambar 1, meningkatnya KTK akan meningkatkan ketersediaan hara (Tabel 1) karena KTK yang tinggi dapat menahan hilangnya hara akibat proses pencucian (*leaching*). Aplikasi *sludge* secara langsung dengan dosis 50 % tanpa pengomposan meningkatkan KTK

Tabel (*Table*) 1. Hasil analisis kimia tanah setelah 2 minggu aplikasi *sludge* (*The soil chemistry analysis after 2 weeks sludge application*)

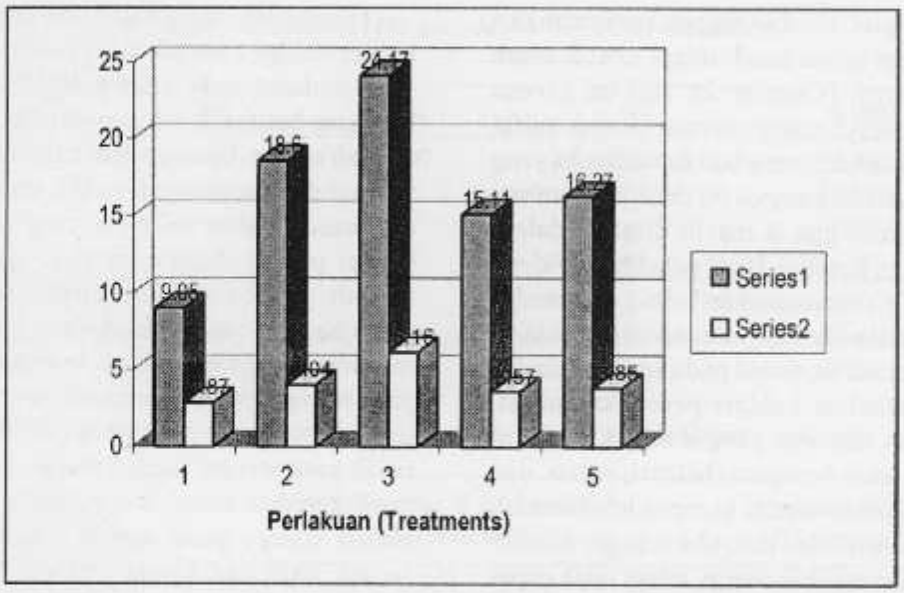
Perlakuan (*Soil treatments*)	K	Na	Ca	Mg
	me/100g			
Kontrol (*control*)	0,14 *a*	0,10 *a*	2,96 a	0,92 *a*
25 % *sludge*	0,19 *b*	0,15 *b*	4,01 c	2,17 *c*
50 % *sludge*	0,23 *c*	0,15 *b*	4,58 c	2,41 *cd*
25 % *sludge* dikomposkan (*composted sludge*)	0,15 *a*	0,15 *b*	3,14 ab	1,27 *ab*
50 % *sludge* dikomposkan (*composted sludge*)	0,16 *ab*	0,15 *b*	3,64 b	1,56 *bc*

Keterangan (*remarks*) : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata (*The values followed by the same letters in the same columns are not significant*)

secara signifikan (24 me/100 g) jika dibanding kontrol (9 me/100 g). Aplikasi *sludge* 25 %, kompos *sludge* 25 % dan 50 % juga meningkatkan peningkatan KTK tetapi hasil ketiganya tidak berbeda nyata, yaitu masing-masing (18 me/100 g, 15 me/100 g, dan 16 me/100 g). Stevenson (1994) menjelaskan bahwa dalam tanah, partikel liat dan bahan organik bersama-sama mempengaruhi KTK, yang merupakan total dari kation-kation yang dapat ditukar sehingga tanah atau material lain dapat diserap pada pH yang spesifik. Adanya partikel liat, kation-kation yang merupakan ion bermuatan positif akan dijerap oleh permukaan liat yang bermuatan negatif. Sedangkan dengan bahan organik, muatan positif akan meningkat karena adanya ionisasi gugus karboksilat pada bahan tersebut, gugus ini akan kehilangan ikatan dengan atom H dan akan berikatan dengan kation-kation, sehingga makin tinggi kandungan bahan organik KTK juga akan makin tinggi.

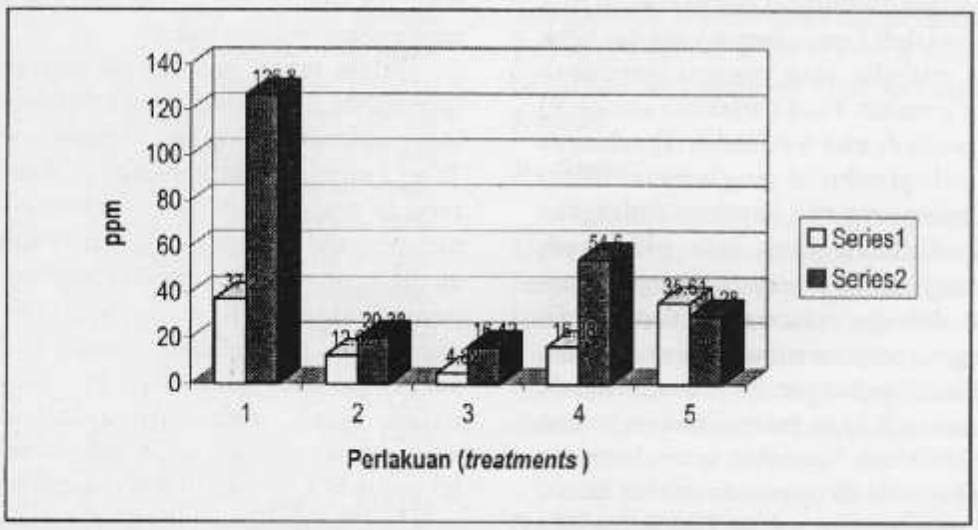
Gambar 1 juga menunjukkan bahwa aplikasi *sludge* memberikan hasil peningkatan pH dan KTK yang lebih baik apabila diaplikasikan secara langsung daripada apabila dikomposkan terlebih dahulu. Sludge 25 % dan 50 % meningkatkan pH tanah sebesar 4,04 dan 6,16 sedangkan kompos sludge 25 % dan 50 % meningkatkan pH tanah sebesar 3,87 dan 3,85 jika dibandingkan kontrol (2,87). Hal ini dikarenakan bahan organik yang terkandung dalam *sludge*, baik yang segar maupun yang sudah dikomposkan memainkan peranan sebagai sistem *buffer* (Tan, 1993 dan Stevenson, 1994) yang akan mempengaruhi pH tanah. Selanjutnya pH akan mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan hara bagi tanaman, dengan demikian secara tidak langsung pH tanah akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Di samping itu, reaksi-reaksi dalam tanah sangat dipengaruhi oleh pH tanah, sehingga pH tanah sangat menentukan proses pembentukan tanah. Dekomposisi mineral dan bahan organik juga sangat ditentukan oleh pH tanah (Tan, 1993) karena selain pH menentukan ketersediaan hara bagi mikroba yang berperan dalam proses dekomposisi tersebut, mikroba juga mempunyai kisaran pH tertentu untuk hidupnya. Seperti sudah dijelaskan bahwa pH dan kandungan bahan organik sangat menentukan KTK, maka makin tinggi pH, KTK juga akan makin tinggi pula.

Gambar 2 menunjukkan bahwa pemberian *sludge* dapat menurunkan kandungan sulfat tanah dari 126 ppm (kontrol) menjadi 22 ppm (*sludge* 25 %), 18 ppm (*sludge* 50 %), 56 ppm (kompos *sludge* 25 %), dan 38 ppm (kompos *sludge* 50 %). Penurunan sulfat diduga karena dalam *sludge* dikoloni oleh bakteri pereduksi sulfat (SRB). Kelompok bakteri ini mampu menggunakan sulfat sebagai sumber energi (Sutton, 2001) dan bahan organik dalam *sludge* sebagai sumber karbon (Hards & Higgins, 2004). Penurunan sulfat akan menurunkan total S dalam tanah (Gambar 2) dan berakibat meningkatnya pH tanah (Gambar 1).



Gambar (*Figure*) 1. Peningkatan KTK (me/100 g) dan pH setelah aplikasi *sludge* dan kompos *sludge* selama 2 minggu (*The soil CEC and pH improvement after 2 weeks treatments*)

Keterangan (*Remarks*) :
Series 1. Peningkatan KTK *(CEC improvement) Series 2.* Peningkatan pH *(pH improvement)*
1. Kontrol *(control) 2. Sludge* 25 % *3. Sludge* 50 % *4.* Kompos *sludge (composted sludge)* 25 %
5. Kompos *sludge (composted sludge)* 50 %



Gambar (*Figure*) 2. Penurunan konsentrasi SO_4 dan S total dalam tanah setelah 14 hari aplikasi *sludge* (*The decrease of SO_4 and S total concentration in the soil after 14 days sludge application*)

Keterangan *(Remarks)* :
Series 1. Penurunan S total *(S total removal) Series 2.* Penurunan SO4 *(SO4 removal)*
1. Kontrol *(control) 2. Sludge* 25 % *3. Sludge* 50 % *4.* Kompos *sludge (composted sludge)* 25 %
5. Kompos *sludge (composted sludge)* 50 %

Kompos *sludge* dapat menurunkan kandungan sulfat tanah tetapi total S tanah masih tinggi (Gambar 2). Hal ini karena kompos hanya mengkonversi bentuk sulfat menjadi bentuk S yang lain dan mikroba yang terdapat dalam kompos ini tidak memanfaatkannya sehingga S masih ditahan dalam lingkungan tersebut. Hasil penelitian Widyati *et al* (2005) menunjukkan bahwa dari *sludge* dapat diisolasi bakteri selulolitik dan bakteri pereduksi sulfat, tetapi pada kompos *sludge* tidak terisolasi bakteri pereduksi sulfat. Meskipun mikroba yang ditemukan dalam kompos lebih beragam (bakteri, jamur, dan aktinomisetes) karena kompos lebih mudah dimanfaatkan oleh mikroba sebagai sumber karbon dan sumber energi, tetapi tidak dapat menurunkan konsentrasi S sehingga S total tetap tinggi. Proses perombakan suatu senyawa sangat ditentukan oleh aerasi, pH, ketersediaan air, temperatur, dan adanya mikroba yang mampu merombak (Anas, 1997). Untuk perombakan sulfat yang merupakan polutan utama lahan bekas tambang batubara diperlukan pH yang cenderung mendekati normal (sekitar 6), suasana anaerob dan adanya bakteri pereduksi sulfat. Kegagalan perombakan suatu polutan diakibatkan karena kondisi fisik dan kimia lahan kurang mendukung dan tidak adanya mikroba yang mampu merombak polutan tersebut. Pada perlakuan *sludge* 50 % pH tanah di atas 6 (Gambar 1) sehingga optimum bagi mikroba yang berperan dalam perombakan senyawa tersebut. Sedangkan pada perlakuan yang lain pH masih cenderung sangat masam sehingga menghambat aktivitas mikroba di dalamnya. Di samping itu, penyiraman yang diberikan akan memelihara lingkungan untuk tetap anaerob.

Gambar 2 juga menunjukkan bahwa *sludge* lebih baik digunakan secara langsung daripada apabila dikomposkan terlebih dahulu dalam menurunkan sulfat. Hal ini diduga mikroba yang mengkoloni *sludge* dalam aktivitas selama hidupnya menghasilkan senyawa yang dapat mempengaruhi kondisi kimia lahan bekas tambang batubara. Jenis dan bagaimana mekanisme bahan tersebut dalam mempengaruhi sifat-sifat tanah bekas tambang batubara masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Dugaan lain adalah mikroba yang mengkoloni *sludge* mampu menggunakan sulfat yang terdapat pada tanah asal lahan bekas tambang batubara sebagai sumber energi. Setelah *sludge* dikomposkan terlebih dahulu, maka diduga senyawa tersebut sudah habis dikonsumsi oleh mikroba yang berperan dalam proses dekomposisi *sludge*, atau terjadi perubahan komposisi populasi mikroba dari yang mengkoloni *sludge* ke mikroba yang mengkoloni kompos *sludge* yang mempunyai kemampuan yang berbeda untuk beradaptasi ketika diaplikasikan pada tanah yang mengandung S tinggi.

Perubahan komposisi mikroba tersebut akibat *sludge* yang sudah dikomposkan secara fisik dan kimia telah mengalami perubahan. *Sludge* memiliki kandungan air yang sangat tinggi sehingga memungkinkan lingkungan dalam *sludge* bersifat anaerob, sedangkan kompos *sludge* memiliki porositas yang tinggi. Kondisi anaerob sangat diperlukan oleh bakteri pereduksi sulfat karena bakteri ini bersifat obligat anaerob (Hards & Higgins, 2004) sehingga apabila lingkungan mempunyai drainase yang baik seperti pada kompos yang memungkinkan oksigen masuk kelompok bakteri ini tidak dapat tumbuh, sehingga kompos *sludge* tidak efektif untuk menurunkan polutan sulfat.

Dalam tanah, masing-masing faktor (perubahan sifat) tanah tidak bekerja secara independen tetapi saling mempengaruhi. Tabel 2 menunjukkan bahwa perbaikan yang terjadi pada salah satu variabel akan mempengaruhi variabel yang lain. Peningkatan pH tanah ternyata sangat mempengaruhi peningkatan KTK tanah (0,9447). Di samping itu, peningkatan pH tanah ternyata sangat mempengaruhi laju penurunan S dalam tanah, makin tinggi pH maka konsentrasi polutan S tanah makin menurun (r^2 untuk SO_4 = -0,8010 dan r^2 untuk S total = -0,7075). Demikian juga KTK tanah akan sangat mempengaruhi laju penurunan polutan S dalam tanah (r^2 untuk SO_4 = -0,8923 dan r^2 untuk S total = -0,8222). Sebaliknya, konsentrasi polutan S dalam tanah, baik S total maupun SO_4 ternyata juga sangat menentukan variabel lainnya yaitu KTK dan pH. Korelasi antara polutan terhadap variabel tanah adalah negatif, hal ini

Tabel (*Table*) 2. Korelasi antar dua variabel (*The correlation between 2 variables)*

Korelasi (r^2)	pH	KTK	SO_4	S total
pH	—	0,9447	-0,8010	-0,7075
KTK	—	—	-0,8923	-0,8222
SO_4	—	—	—	0,9724
S total	—	—	—	—

Keterangan (*remarks*) :
——: tidak ditarik korelasi pada variabel yang sama (*it is not taken a corellation among the same variables*)

Tabel (*Table*) 3. Efisiensi proses penurunan polutan (*The efficiency of pollutants removal*)

Perlakuan (*Treatments*)	Penurunan S total tanah (*S total removal*) (%)	Penurunan SO_4 tanah (*SO_4 removal*) (%)
Kontrol (control)	3,21	5,47
25 % *sludge*	66,08	83,93
50 % *sludge*	87,04	87,05
25 % kompos (*composted) sludge*	55,97	56,94
50 % kompos (*composted*) *sludge*	61,69	76,12

menunjukkan bahwa makin tinggi konsentrasi polutan dalam tanah maka KTK dan pH tanah akan mengalami penurunan, begitu juga sebaliknya.

Tabel 3 menunjukkan bahwa di lingkungan secara alami (kontrol) apabila kondisi lingkungan memungkinkan maka akan terjadi penurunan konsentrasi polutan tanah tetapi kecepatannya sangat lambat (polutan yang diturunkan hanya 3,21 % dan 5,47 % dalam 2 minggu). Sedangkan proses penurunan yang paling efisien terjadi pada pemberian *sludge* segar 50 % yaitu sebesar 87,04 % polutan yang dapat dihilangkan. Pada penelitian ini menurunnya sulfat akan meningkatkan pH, meningkatnya pH akan meningkatkan KTK dan meningkatnya KTK akan meningkatkan ketersediaan hara pada lahan tersebut. Dengan demikian, dari hasil penelitian ini *sludge* industri kertas mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan sebagai agen pembenah tanah.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Sludge dari industri kertas dapat dimanfaatkan sebagai agen pembenah tanah untuk perbaikan lahan pada kegiatan rehabilitasi lahan bekas tambang batubara. *Sludge* lebih baik digunakan secara langsung daripada setelah dikomposkan. Dosis yang paling efektif adalah 50 % (v/v) dapat memperbaiki kondisi tanah dengan meningkatkan pH 103 %, KTK 167 %, S total dan SO_4 diturunkan sebanyak 87,05 % dibanding kontrol.

B. Saran

Perlu dilakukan penelitian secara mikrobiologi kelompok fungsional mikroba yang berperan dalam proses perbaikan lahan dan hasil metabolisme antara yang dihasilkan selama proses perbaikan lahan sehingga diketahui senyawa apa saja yang dihasilkan dalam memperbaiki lahan bekas tambang batubara.

DAFTAR PUSTAKA

Anas, I. 1997. Bioteknologi Tanah. Diktat Kuliah. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Tidak dipublikasikan.

Bellomy, K.L., C. Chang, and R. A. Cline. 1995. Paper Sludge Utilisation in Agriculture and Container Nursery Culture. J.Env.Qual (24): 1074-1082.

Brockway, D.G. and D.R. Urie. 1983. Determining Fertilizer Rates For Forest From Nitrate-N Leachates and Groundwater. J. Env. Qual. (12): 487-492.

Direktorat Bina Produksi Kehutanan. 2003. Industri Pulp dan Kertas Indonesia. Departemen Kehutanan. Tidak dipublikasikan.

Hards, B.C and J.P. Higgins. 2004. Bioremediation of Acid Rock Drainage Using SRB. Jacques Whit Environment Limited. Ontario.

McDonalds, M.A., B.J. Hawkins, C.R. Prescott, and J.P. Kimmins. 1993. Growth and Foliar Nutrition of Western Red Cedar Fertilizer with Sewage Sludge, Pulp Sludge and Fish Sludge and Wood Ash on Northern Vancouver Island. Can.J.For.Res.(24): 294-301.

Sherman, W.R. 1995. A Review of The Main Appendix Sludge Research Program. TAPPI (78): 135-150.

Simarmata, T., R. Hindersah, M. Kalay, dan Sumadi. 2004. Pemanfaatan limbah padat abu terbang (*fly ash*) dan kompos *sludge* eks IPAL proses organik *pulp* industri kertas ditinjau dari aspek tanaman. Laporan RKL-RPL PT. IKPP, Riau (tidak dipublikasikan).

Stevenson, F. J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction. John Willey & Son. New York.

Sutton, D.D. 2001. Supression of Hidrogen Sulphide Production by Augmentation in Waste Water Treatment. *http//www.undp.org.in/Programme/GEF/june/page24-25.htm* [7 Maret 2002].

Tan, K.H. 1993. Principles of Soil Chemistry (2nd ed). Marcel Dekker Ink. New York.

Widyati, E., I. Mansur, I. Anas, C. Kusmana, dan E. Santoso. 2005. Isolasi Bakteri Pengkoloni *Sludge*. Penelitian Pendahuluan Disertasi. Tidak dipublikasikan.