

PEMANFAATAN *SLUDGE* INDUSTRI PULP DAN KERTAS UNTUK AMELIORASI TANAH *TAILING* TAMBANG EMAS

Eddy Widyati

Peneliti Biologi Tanah dan Kesuburan Lahan
Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi
Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor
e-mail : eddy_widyati@yahoo.com

Diterima : 06 Maret 2012 , Revisi akhir : 19 Juni 2012

THE USE OF PULP AND PAPER MILLS SLUDGE FOR SOIL AMELIORATION OF GOLD TAILING

ABSTRACT

Mine tailings generally have low fertility, and also high concentration of metals. Amelioration with soil organic is one of proper efforts. Sludge of pulp and paper mills can be an alternative of soil organic source. This research is aimed to improve chemical properties of mine tailing. The study was conducted in randomized completely design with dosages of 25 and 50% of tailing added into tailing pond and tailing dump. Observation of N, P, K, pH and CEC were conducted in the days of 0, 5, 10 and 15 after incubation, whereas the content of S, Pb, Cd, Cu, Fe and CN were measured in the days of 0, 7 and 15 after incubation. The result showed that sludge in dosage 50% was the most effective in improving the properties of the tailings in 15 days after incubation. Efficiency of improvements were, 2,414% for N tailing dump and 3,243% for N tailing pond; P (>440%), CEC (>150%); The dosage of 50% as well as reduce the content of S (82%), Fe (63%), Cu (73%), Cd (90%), Pb (53%), and cyanide (99%), respectively. This research suggested that sludge of paper mills is effective to improve mine tailing properties.

Keywords: amelioration, mine tailing, pulp and paper mills sludge

ABSTRAK

Tailing tambang umumnya memiliki kandungan unsur-unsur hara yang rendah atau sifat kimia tanah yang buruk dan mengandung logam-logam yang berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, ameliorasi timbunan tailing dengan bahan organik merupakan salah satu upaya yang tepat. Sludge industri kertas merupakan salah satu sumber bahan organik yang dapat dijadikan amelioran. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji apakah sludge industri pulp dan kertas dapat memperbaiki sifat-sifat kimia tanah timbunan tailing bekas tambang emas. Penelitian dilakukan menggunakan rancangan dasar acak lengkap secara faktorial, dengan perlakuan penambahan 25 dan 50% sludge ke dalam tailing pond dan tailing dump, berturut-turut sebagai faktor pertama dan kedua. Parameter-parameter yang diamati meliputi ketersediaan N, P, K, pH, KTK dilakukan pada hari ke 0, 5, 10 dan 15 serta ketersediaan S, Pb, Cd, Cu, Fe, CN pada hari ke 0, 7 dan 15 setelah inkubasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sludge dengan dosis 50% efektif memperbaiki sifat-sifat kimia tailing dengan waktu inkubasi 15 hari. Dosis tersebut dapat meningkatkan ketersediaan N dengan efisiensi 2414% untuk tailing dump dan 3243% untuk tailing pond, meningkatkan ketersediaan P lebih dari 440%, dan meningkatkan KTK lebih dari 150%. Dosis tersebut juga efektif dalam menurunkan ketersediaan S (82%), Fe (63%), Cu (73%), Cd (90%), Pb (53%) dan menurunkan ketersediaan sianida sebesar 99%.

Kata kunci: ameliorasi, sludge industri pulp dan kertas, tailing tambang

PENDAHULUAN

Data tahun 2005 menyebutkan bahwa Indonesia menduduki peringkat ke-2 sebagai negara pengekspor batubara, penghasil timah peringkat ke-2, tembaga ke-3, dan nikel ke-4 (Gautama, 2007). Untuk tambang emas Indonesia menempati peringkat ke-8 dunia (Gautama, 2007). Secara keseluruhan kekayaan tambang Indonesia menempati urutan ke-6 dunia (CEO PT. INCO diberitakan Harian Berita Sore Makassar 11 Februari 2009). Namun belum ada data rinci berapa total potensi cadangan bahan tambang Indonesia.

Cadangan bahan galian Indonesia selain cukup besar juga tersebar di berbagai daerah, sehingga kekayaan nasional yang berupa bahan tambang cukup merata. Di Pulau Bangka terdapat pertambangan timah, di Pulau Bintan aluminium, di Sumatera Selatan terdapat batubara, demikian juga di Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat terdapat pertambangan emas, di Sulawesi ditemukan tambang nikel, sedangkan di Papua, Nusa Tenggara dan Minahasa terdapat tambang tembaga dan emas, dll (www.dpmb.esdm.go.id).

Emas, tembaga, nikel, perak, atau mineral yang ditambang di alam terdapat bersama sama dengan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Oleh karena itu, untuk mengekstrak mineral yang diinginkan, batuan harus digerus kemudian dimurnikan dan bahan lain yang tidak diinginkan akan dibuang. Pertambangan mineral selalu meninggalkan limbah berupa tanah dan batuan besar bekas penambangan yang disebut *rock-dump* dan batuan halus bekas pengolahan yang disebut *tailing*.

Tailing merupakan salah satu bentuk limbah yang dihasilkan dalam jumlah banyak pada kegiatan pertambangan emas. Jumlah *tailing* yang dihasilkan oleh perusahaan pertambangan skala besar dapat mencapai 2.500 ton per hari (Fauziah 2009). Sebagai contoh, PT Freeport (Papua) yang dikenal mengandung konsentrat terbesar cadangan emas di Indonesia, untuk mendapat satu gram emas dibuang 650 kilogram limbah *tailing* dan 1.730 kilogram *overburden* (Hidayat, dkk., 2007). Menurut Maemunah (2007), untuk mendapatkan satu gram emas dihasilkan 2,1 ton limbah batuan dan lumpur *tailing*, yang diantaranya mengandung 260 gram timbal; 6,1 gram merkuri dan 3 gram sianida. Jadi apabila seseorang mempunyai 20 gram emas maka

dia telah menyumbangkan 10 truk limbah ke lingkungan (www.jatam.org). Besarnya limbah batuan yang dihasilkan disebabkan karena bahan galian yang benar-benar menjadi konsentrat jumlahnya sangat sedikit.

Menurut Setyawan (2004), *tailing* adalah ampas mineral yang terdiri dari 30 % fraksi padat dan 70 % fraksi cair, mengandung logam-logam berat seperti antimon (Sb), arsen (As), sianida (CN), merkuri (Hg), tembaga (Cu), dan perak (Ag) yang akan mencemari lingkungan. Masing-masing *tailing* memiliki karakter yang berbeda sesuai dengan mineral yang ditambang dan senyawa kimia tertentu yang ditambahkan untuk mempercepat proses pemurnian bijih. Anonim (2012) menyebutkan bahwa *tailing* tambang timah umumnya mengandung Na, Ca, Mg, Al dan Pb. Bekas *tailing* tambang nikel mengandung Ca, Mg, Fe, Co dan Ni. Adapun *tailing* tambang emas umumnya mengandung Ag, Al, As, Ca, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Pb, Mg, Se, Ni, Zn dan Na. Karena *tailing* mengandung logam berat maka menurut Peraturan Pemerintah (PP) No 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya (B3) jo PP No 85 tahun 1999, termasuk dalam kategori limbah B3.

Pengelolaan yang tepat terhadap limbah *tailing* tambang adalah *Submarine Tailing Disposal* (STD) atau Sistem Penempatan *Tailing* Bawah Laut (SPTBL), yang merupakan salah satu cara pembuangan limbah yang baik dan ramah lingkungan. Dua tambang di Indonesia yang menggunakan SPTBL adalah tambang di Lembata dan PT. Newmont (www.jatam.org). Namun demikian, sistem pengelolaan *tailing* STD tersebut tidak akan dapat dilakukan ketika lokasi penambangan berada jauh dari laut.

Upaya pengelolaan *tailing* lain yang dapat dilakukan salah satunya dengan penanaman (revegetasi) pada lahan penimbunan *tailing* tersebut atau pemanfaatan *tailing* sebagai media tanaman kehutanan atau perkebunan. Namun demikian, karena *tailing* berasal dari batuan yang memiliki kesuburan yang sangat rendah maka dapat menghambat upaya penanaman pada lahan penimbunan *tailing* tersebut. Di samping itu logam-logam berat yang terkandung dalam *tailing* akan terakumulasi dalam akar sehingga dapat mengganggu penyerapan unsur hara dan dapat mengganggu pertumbuhan tanaman (Alloway, 1995). Penelitian Kshirsagar and Aery (2007) pada tanah *tailing* tanpa perlakuan tanaman *Vigna unguilata* yang ditumbuhkan sebagai pionir tidak

dapat berkecambah sama sekali tetapi setelah perlakuan penambahan pupuk kandang 25 ton/ha dan NPK 60 kg/ha maka tanaman tersebut dapat tumbuh dengan baik.

Oleh karena itu, pemanfaatan lahan penimbunan *tailing* memerlukan upaya ameliorasi dengan bahan organik, baik untuk memperbaiki kesuburan maupun untuk menurunkan ketersediaan logam-logam dalam *tailing* tersebut. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa ameliorasi *tailing* dengan bahan organik dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman yang ditanam pada media *tailing* tersebut. Sitorus dkk., (2008) melakukan penelitian revegetasi pada *tailing* tambang timah di Bangka, hasil terbaik diberikan oleh perlakuan penambahan bahan amelioran organik, pemilihan jenis tanaman yang tepat serta penambahan inokulum mikoriza untuk membantu pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian Siregar (2005) menunjukkan bahwa penambahan pupuk organik pupuk kandang pada tanah *tailing* dapat menurunkan kelarutan Pb dan Fe sehingga dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman sengon. Demikian juga Wasis dan Sandrasari (2011) menjelaskan bahwa pertumbuhan bibit Mahoni yang ditanam pada media *tailing* dapat diperbaiki dengan penambahan kompos 30 gram per polibag.

Jumlah *tailing* yang sangat besar dan terus dihasilkan selama masih berlangsung proses penambangan akan memerlukan bahan organik dalam jumlah yang besar dan pasokan yang berkesinambungan. Misalnya ameliorasi yang dilakukan untuk memfasilitasi suksesi alam pada *tailing* bekas tambang intan di Afrika Selatan yang paling optimal adalah pemberian vermikompos 60 ton/ha ditambah pupuk $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (25 kg/ha) and $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (12,5 kg/ha) (Rosenburg, dkk., 2004). Dengan demikian, penggunaan bahan amelioran di lapangan tidak akan dapat dipenuhi apabila mengandalkan bahan organik dari kompos atau pupuk kandang. Salah satu sumber bahan organik yang belum banyak dimanfaatkan untuk sektor pertanian tetapi tersedia dalam jumlah besar dan berkesinambungan adalah *sludge* industri pulp dan kertas. Widyati (2006) telah menguji pemanfaatan *sludge* industri pulp dan kertas untuk ameliorasi tanah bekas tambang batubara. *Sludge* pulp dan kertas dengan dosis 25% (v/v) dapat meningkatkan pH, KTK dan ketersediaan unsur hara makro serta menurunkan ketersediaan Fe, Mn, Zn, dan Cu secara signifikan pada tanah bekas tambang batubara. Adapun pada aplikasi *sludge*

pada dosis 50% (v/v) pada tanah bekas tambang batubara dapat meningkatkan ketersediaan C, N, P dan K berturut-turut sebesar 180%, 3.050%, 4.766% dan 295% serta mereduksi ketersediaan Fe, Mn, Zn dan Cu berturut-turut sebesar 99%; 48%; 78% dan 63% dalam waktu 15 hari.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji apakah *sludge* industri pulp dan kertas dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat-sifat kimia *tailing* dan mendapatkan dosis *sludge* yang efektif dalam memperbaiki sifat-sifat *tailing* sehingga menjadi media tumbuh yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Dengan dapat dimanfaatkannya *sludge* industri pulp dan kertas sebagai bahan amelioran *tailing* menjadi bahan yang bisa mendukung pertumbuhan tanaman, diharapkan akan dapat membantu sektor pertambangan menangani masalah *tailing* serta membantu industri pulp dan kertas mengatasi pengelolaan limbah *sludge* menjadi produk samping yang bermanfaat.

BAHAN DAN METODE

Tailing diambil dari tambang emas di Pongkor, Bogor terdiri atas *tailing pond* dan *tailing dump*. *Tailing pond* merupakan *tailing* yang berada di dalam kolam pengendap, sedangkan *tailing dump* diambil dari lokasi penimbunan *tailing*. *Sludge* diambil dari PT. Indah Kiat Pulp and Paper (IKPP) di Perawang, Riau. *Sludge* diambil dari instalasi IPAL yang baru keluar dari mesin *dewatering* dengan kadar air kurang lebih 70%. Percobaan dilakukan di rumah kaca, secara faktorial dengan perlakuan ditempatkan menurut rancangan acak lengkap (RAL). Susunan perlakuan adalah sebagai berikut:

- 100% *tailing pond* sebagai kontrol 1 (TP)
- 75% *tailing pond*: 25% *sludge* (v/v) (TP + 25% *sludge*)
- 50% *tailing pond*: 50% *sludge* (v/v) (TP + 50% *sludge*)
- 100% *tailing dump* sebagai kontrol 2 (TD)
- 75% *tailing dump*: 25% *sludge* (v/v) (TD + 25% *sludge*)
- 50% *tailing dump*: 50% *sludge* (v/v) (TD + 50% *sludge*)

Setelah masing-masing bahan (*tailing* dan *sludge*) ditakar/ditimbang sesuai perlakuan, kemudian dicampur sampai rata. Setelah dicampur, masing-masing bahan setiap

perlakuan ditempatkan ke dalam polibag berukuran 20 x 20 cm, kemudian ditempatkan di rumah kaca. Kelembaban media bahan diatur 60% yang diukur setiap tiga hari. Apabila hasil pengukuran kadar air campuran bahan di dalam polibag menunjukkan < 60%, maka dilakukan penyiraman.

Percobaan dilakukan dalam 3 kali ulangan. Pada hari ke-0, 5, 10, dan 15 dilakukan pengamatan kandungan unsur hara makro dan pH; sedangkan pengamatan KTK dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-15. Pada hari pengamatan tersebut diambil sampel *tailing* yang telah diberi perlakuan kemudian dikirim untuk dianalisis di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Institut Pertanian Bogor. Pengaruh perlakuan terhadap kandungan logam berat dilakukan pada salah satu jenis *tailing* yang lebih berat kondisinya menurut hasil karakterisasi awal. Pengamatan perubahan konsentrasi logam berat dilakukan pada hari ke-0, 7 dan 15 setelah inkubasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi Awal *Tailing* dan *Sludge*

Tabel 1 menunjukkan bahwa secara umum *tailing* memiliki kandungan unsur-unsur hara/kimia yang sangat rendah. Tabel 1 juga menunjukkan *tailing* memiliki total fosfor yang sangat tinggi, yang diduga berasal dari bahan induk asal *tailing*. Akan tetapi, ketersediaan P pada kedua *tailing* tergolong rendah, hal ini diduga diakibatkan oleh nilai pH yang tinggi, kandungan bahan organik dalam *tailing* yang sangat rendah serta kandungan Ca yang tinggi. Hal ini sejalan dengan Tan (1993) bahwa ketika pH cenderung basa maka P akan terkelat oleh unsur Ca. *Sludge* memiliki nilai P-tersedia yang tinggi dikarenakan adanya residu dari pemberian pupuk P dalam bentuk asam fosfat cair selama proses pengolahan *sludge* dalam instalasi pengolahan air limbah (IPAL).

Hasil karakterisasi awal kandungan total logam, sulfur dan sianida (Tabel 2) menunjukkan bahwa *tailing* memiliki kandungan sulfur dan logam-logam yang jauh melampaui ambang batas yang dapat ditoleransi oleh tanah, karena merupakan bahan induk bijih tambang. Walaupun antara *tailing pond* dan *tailing dump* tidak menunjukkan perbedaan sifat-sifat kimia yang nyata, namun *tailing dump* cenderung

mengakumulasi logam-logam tersebut lebih tinggi. Hal ini diduga pada *tailing pond* kadar airnya masih sangat tinggi sehingga ion-ion logam larut dalam air dan terbuang ketika terjadi limpasan. Sedangkan pada *tailing dump* kondisinya sudah benar-benar kering. Hal ini karena *tailing* mengandung bahan organik yang sangat rendah (Tabel 1) sehingga tidak dapat menahan air ketika dilakukan penumpukan.

Secara fisik, kedua jenis *tailing* memiliki tekstur pasir berdebu, hal ini yang menyebabkan *tailing* sulit mengikat air walaupun *tailing pond* berada dalam kolam pengendap dan *tailing dump* terdapat pada tempat penumpukan.

Pengaruh Penambahan *Sludge* terhadap Kandungan Unsur Hara Makro pada *Tailing*

1. Pengaruh *Sludge* terhadap Kandungan N Total

Tabel 3 menunjukkan kandungan N dalam *tailing* menurut kriteria Pusat Penelitian Tanah (1993) tergolong sangat rendah, karena tingkat kecukupan N bagi semua jenis tanaman minimal 1% (Havlin, dkk., 1999). Penambahan *sludge* 50% dapat meningkatkan nilai total N baik pada *tailing pond* maupun *tailing dump* pada hari ke-15 setelah inkubasi. Walaupun peningkatan tersebut masih jauh dari angka kecukupan N namun kalau dilihat nilai efisiensinya (Tabel 9) penambahan *sludge* 50% meningkatkan kandungan N total 2.414% pada *tailing pond* dan 3.243% pada *tailing dump*. Hal ini sejalan dengan penelitian N'Dayegamiye (2009) yang mengaplikasikan kompos *sludge* pada beberapa dosis pada tanaman jagung yang ditanam pada lahan berpasir dapat menurunkan penggunaan pupuk N antara 40% sampai tergantikan sama sekali. Peningkatan N yang signifikan ini terjadi diduga karena adanya pelepasan N dari *sludge* memiliki kandungan N total yang sangat tinggi (Tabel 1). Namun demikian, dinamika yang terjadi pada perubahan ketersediaan N pada hari ke-5 dan ke-10 cenderung mengalami penurunan dan baru terjadi peningkatan yang signifikan pada hari ke-15 (Tabel 2), maka kuat diduga bahwa yang menyebabkan meningkatnya ketersediaan N adalah akibat aktivitas mikroba yang terdapat dalam *sludge*. Pada hari ke-5 dan ke-10 diduga sistem sedang mengalami proses menuju kesetimbangan, sedangkan pada hari ke-15 sistem sudah berjalan secara stabil dalam memperbaiki ketersediaan N.

Tabel 1. Hasil Analisis Awal *Tailing Pond*, *Tailing Dump*, dan *Sludge*

No.	Parameter	Nilai			Kriteria (Pusat Penelitian Tanah, 1993)		
		TP	TD	<i>Sludge</i>	TP	TD	<i>Sludge</i>
1	pH H ₂ O	7,23	7,47	4,17	netral	netral	sangat asam
2	C Organik (%)	0,29	0,32	14,7	sangat rendah	sangat rendah	sangat tinggi
3	N-Total (%)	0,009	0,012	2,621	sangat rendah	sangat rendah	tinggi
4	P tersedia (ppm)	4,88	4,33	46,98	sangat rendah	sangat rendah	sangat tinggi
5	P Total (ppm)	1864,7	1954,9	586,2	tinggi	tinggi	tinggi
6	Fe tersedia (ppm)	14,62	13,69	3,80	berlebih	berlebih	cukup
7	Cu tersedia (ppm)	0,463	0,467	0,037	cukup	cukup	defisiensi
8	Mn tersedia (ppm)	2,427	2,703	0,057	cukup	cukup	defisiensi
9	Zn tersedia (ppm)	0,65	0,50	0,11	marginal	marginal	defisiensi
10	Ca (me/100g)	13,34	12,30	1,54	tinggi	tinggi	sangat rendah
11	Mg (me/100g)	0,266	0,301	0,992	sangat Rendah	rendah	sangat tinggi
12	K (me/100g)	0,050	0,047	0,061	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah
13	Na (me/100g)	0,65	0,36	0,23	sedang	sedang	rendah
15	KTK (me/100g)	5,415	5,603	22,724	rendah	rendah	sedang
16	Kejenuhan Basa (%)	273,64	234,33	12,43	sangat tinggi	sangat tinggi	sangat rendah
17	Debu (%)	22	16	-			
18	Pasir (%)	59	71	-	pasir berdebu	pasir berdebu	-
19	Liat (%)	19	13	-			

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium

Tabel 2. Kandungan Total Beberapa Logam, S dan Sianida (ppm) pada *Tailing Tambang Emas*

Parameter (dalam ppm)	<i>Tailing Pond</i>	<i>Tailing Dump</i>
Pb	138,71	158,42
Cd	9,97	13,21
Ag	2,21	1,98
CN	1,44	0,76
Fe	18997	21269
Cu	98,41	112,02
S	6241	8623

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium

Tabel 3. Pengaruh *Sludge* terhadap Kandungan N-Total pada *Tailing* (%)

Perlakuan	Waktu (Hari ke-)			
	0	5	10	15
<i>Tailing pond</i> (TP)	0,007 (a) (A)	0,005 (a) (A)	0,007 (a) (A)	0,007 (a) (A)
TP + 25% <i>sludge</i>	0,060 (b) (B)	0,055 (b) (B)	0,035 (b) (A)	0,079 (b) (C)
TP + 50% <i>sludge</i>	0,086 (b) (B)	0,074 (b) (A)	0,072 (b) (A)	0,176 (c) (C)
<i>Tailing dump</i> (TD)	0,009 (a) (A)	0,009 (a) (A)	0,009 (a) (A)	0,007 (a) (A)
TD + 25% <i>sludge</i>	0,090 (b) (B)	0,060 (b) (A)	0,069 (b) (A)	0,083 (b) (B)
TD + 50% <i>sludge</i>	0,169 (c) (B)	0,141 (c) (A)	0,183 (c) (C)	0,229 (c) (D)

Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama dalam kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama dalam baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada selang kepercayaan 95%

2. Pengaruh *Sludge* terhadap Ketersediaan Fosfor (P) *Tailing*

Tabel 4 menunjukkan bahwa dosis *sludge* yang efektif untuk meningkatkan ketersediaan P baik pada *tailing pond* maupun *tailing dump* adalah 50%. Dosis tersebut dapat meningkatkan ketersediaan P secara signifikan sejak hari pertama perlakuan. Peningkatan ketersediaan P walaupun secara statistik menunjukkan perbedaan yang nyata namun apabila dikategorikan menurut Pusat Penelitian Tanah (1983) menunjukkan perubahan angka yang lambat. Lambatnya laju peningkatan P-tersedia pada *tailing* dikarenakan sifat fosfor yang sukar larut dalam air (Witoko, 2011), *tailing pond* memiliki kandungan air rata-rata 180%, sedangkan *tailing dump* 48%. Nilai P-tersedia meningkat walaupun secara perlahan diduga dikarenakan pengaruh pelepasan P dari *sludge* sehingga dapat memberikan fosfor dalam bentuk P-tersedia. Di samping itu, *sludge* adalah bahan organik yang menurut Bear (1985) dalam Andri (2006), bahan organik mengandung asam organik seperti asam tartat, asam malonat, dan asam malat dapat mencegah unsur besi dan aluminium bereaksi dengan fosfat sehingga tidak terjadi endapan yang menyebabkan P menjadi tidak tersedia.

Dinamika yang terjadi pada perubahan ketersediaan P pada masing-masing perlakuan cukup beragam (Tabel 4). Untuk perlakuan *tailing pond* dengan penambahan *sludge* 25% peningkatan terjadi pada hari ke-5 dan makin meningkat sejalan dengan penambahan waktu inkubasi. Sedangkan untuk penambahan 50%

sludge perubahan signifikan terjadi pada hari perlakuan, kemudian terjadi stagnasi sampai pada hari ke-10 selanjutnya terjadi lagi peningkatan secara signifikan pada hari ke-15. Untuk *tailing dump* perubahan yang terjadi baik pada penambahan *sludge* 25% maupun 50% terjadi secara bertahap. Pada hari perlakuan sudah terjadi peningkatan secara signifikan, perubahan makin meningkat secara signifikan sejalan dengan penambahan waktu inkubasi.

3. Pengaruh *Sludge* terhadap Ketersediaan K dalam *Tailing*

Penambahan *sludge* ternyata tidak berpengaruh terhadap ketersediaan K dalam *tailing* (Tabel 5). Hal ini karena *sludge* juga mengandung K yang sangat rendah (Tabel 1). Faktor utama kehilangan kalium dalam *tailing* diduga disebabkan oleh pencucian selama proses ekstraksi emas. Penambahan *sludge* pada Tabel 5 menunjukkan kecenderungan menurunkan kandungan K tersedia. Hal ini diduga K tersebut dimanfaatkan oleh mikroba yang terdapat pada *sludge*.

B. Pengaruh *Sludge* terhadap pH dan KTK *Tailing*

Tabel 6 menunjukkan bahwa pH *tailing* termasuk mendekati basa. Hal ini karena *tailing* berasal dari penggerusan batuan yang mengandung banyak logam-logam atau kation-kation basa, di samping itu sebelum *tailing* dibuang umumnya dilakukan pengapuran.

Tabel 4. Pengaruh *Sludge* terhadap Kandungan P-tersedia pada *Tailing* (ppm)

Perlakuan	Waktu (Hari ke-)			
	0	5	10	15
<i>Tailing pond</i> (TP)	4,88 (a) (A)	4,16 (a) (A)	4,68 (a) (A)	5,07 (b) (B)
TP + 25% <i>sludge</i>	4,57 (a) (A)	7,25 (b) (B)	8,68 (c) (C)	9,77 (c) (D)
TP + 50% <i>sludge</i>	8,84 (c) (A)	8,15 (b) (A)	8,86 (c) (A)	12,24 (c) (B)
<i>Tailing dump</i> (TD)	4,33 (a) (A)	3,82 (a) (A)	4,31 (a) (A)	4,20 (a) (A)
TD + 25% <i>sludge</i>	6,55 (b) (A)	8,54 (c) (B)	9,36 (c) (C)	11,81 (c) (D)
TD + 50% <i>sludge</i>	6,98 (b) (A)	8,59 (c) (B)	11,45 (c) (C)	23,49 (d) (D)

Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama dalam kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama dalam baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada selang kepercayaan 95%

Tabel 5. Pengaruh *Sludge* terhadap Kandungan K pada *Tailing* (ppm)

Perlakuan	Waktu (Hari ke-)			
	0	5	10	15
<i>Tailing pond</i> (TP)	0,050 (a)	0,044 (a)	0,045 (a)	0,054 (a)
TP + 25% <i>sludge</i>	0,042 (a)	0,046 (a)	0,044 (a)	0,045 (a)
TP + 50% <i>sludge</i>	0,042 (a)	0,042 (a)	0,046 (a)	0,043 (a)
<i>Tailing dump</i> (TD)	0,047 (a)	0,043 (a)	0,048 (a)	0,044 (a)
TD + 25% <i>sludge</i>	0,044 (a)	0,046 (a)	0,043 (a)	0,037 (a)
TD + 50% <i>sludge</i>	0,040 (a)	0,043 (a)	0,044 (a)	0,046 (a)

Tabel 6. Pengaruh *Sludge* terhadap Nilai pH pada *Tailing*

Perlakuan	Waktu (Hari ke-)			
	0	5	10	15
<i>Tailing pond</i> (TP)	7,23	7,27	7,33	7,43
TP + 25% <i>sludge</i>	4,13	6,23	6,70	7,13
TP + 50% <i>sludge</i>	4,33	6,77	7,07	7,17
<i>Tailing dump</i> (TD)	7,47	7,47	7,43	7,50
TD + 25% <i>sludge</i>	4,23	6,63	6,97	7,13
TD + 50% <i>sludge</i>	4,23	6,97	7,17	7,30

Setelah dilakukan penambahan *sludge* semua perlakuan menunjukkan terjadi sedikit penurunan pH menjadi mendekati netral. Hal ini terjadi karena adanya reaksi *buffering* (penyanggaan) akibat penambahan *sludge* (Stevenson, 1994). *Sludge* menurut hasil penelitian Widyati (2006) merupakan bahan organik, dengan kandungan C organik rata-rata lebih dari 11%. Menurut Bohn, dkk., (1985) bahan organik bersifat amfotir, yaitu pada saat pH lingkungan tinggi akan menurunkan pH tetapi pada saat pH rendah

akan meningkatkan pH menuju ke arah netral. Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan salah satu sifat kimia yang penting bagi tanah. Hal ini karena KTK menggambarkan jumlah muatan negatif yang tersedia untuk menangkap kation. KTK merupakan kemampuan tanah untuk mengikat unsur hara yang terdapat dalam larutan tanah (*nutrient holding capacity*) sehingga akan sangat menentukan ketersediaan unsur hara (Havlin, dkk., 1999). Tabel 7 menunjukkan bahwa penambahan *sludge* dapat meningkatkan

KTK secara signifikan. Hal ini karena *sludge* merupakan bahan organik yang berasal dari limbah pemrosesan kayu menjadi kertas sehingga dapat meningkatkan KTK. Menurut Stevenson (1994) bahwa bahan organik merupakan sumber muatan (kation) yang akan meningkatkan KTK.

C. Pengaruh *Sludge* terhadap Ketersediaan Sulfur dan Logam-logam Berat pada *Tailing*

Hasil karakterisasi awal menunjukkan bahwa antara *tailing pond* dan *tailing dump* tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, maka pada penelitian penurunan konsentrasi sulfur dan logam berat ini dipilih *tailing dump* yang merupakan *tailing* yang siap dibuang.

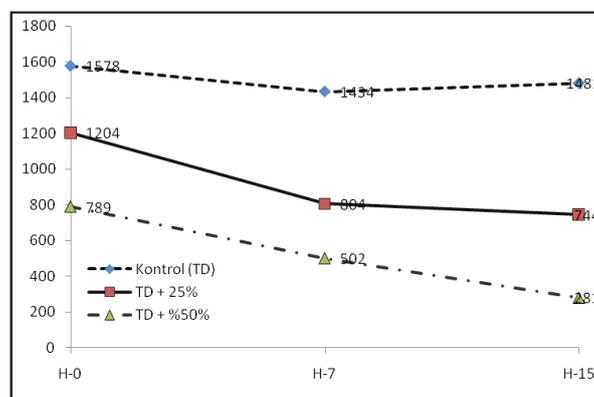
Gambar 1 menunjukkan bahwa penambahan *sludge* dapat menurunkan konsentrasi S dalam *tailing*. Hal ini diduga akibat aktivitas bakteri pereduksi sulfat (Gambar 2) yang ditemukan mengkoloni *sludge* industri kertas. Bakteri pereduksi sulfat (BPS) menggunakan bahan organik dalam *sludge* sebagai sumber karbon dan ion sulfat sebagai sumber energi (akseptor elektron). Reaksi reduksi sulfat oleh BPS

menghasilkan H₂S yang akan dengan segera bereaksi dengan logam-logam membentuk senyawa logam sulfida yang sukar larut (*insolubel metal-sulphides*). Dengan demikian adanya BPS selain dapat menurunkan ketersediaan S juga akan menurunkan ketersediaan logam-logam dalam *tailing*.

Tabel 8 menunjukkan bahwa penambahan *sludge* dapat menurunkan ketersediaan logam-logam. Menurunnya konsentrasi logam akibat penambahan *sludge* tersebut terjadi melalui proses pembentukan kompleks atau kelasi oleh bahan organik. Pembentukan kompleks adalah reaksi antara suatu ion logam dengan ligan melalui pembagian pasangan elektron (Tan, 1993). Ion logam merupakan pasangan penerima elektron sedangkan ligan merupakan donor elektron. Hasil penelitian ini sejalan dengan Stevenson (1994) bahwa pembentukan kompleks yang stabil antara logam dengan bahan organik dapat menurunkan toksisitas logam-logam berat misalnya Cd dan Pb. Pembentukan kompleks organik-logam sangat umum terjadi di alam antara unsur logam transisi (Al, Fe, Mn, Zn dan Cu). Reaksi dengan logam transisi ini sering terjadi secara khusus

Tabel 7. Pengaruh Perlakuan terhadap KTK *Tailing* 15 Hari setelah Inkubasi

Perlakuan	Waktu (Hari ke-)	
	Hari ke-0	Hari ke-15
<i>Tailing pond</i> (TP)	5,41 (a)	6,67 (a)
TP + 25% <i>sludge</i>	6,73 (a)	9,55 (b)
TP + 50% <i>sludge</i>	8,42 (b)	10,49 (b)
<i>Tailing dump</i> (TD)	5,60 (a)	6,29 (a)
TD + 25% <i>sludge</i>	7,73 (a)	11,17 (b)
TD + 50% <i>sludge</i>	13,55 (b)	14,24 (b)



Gambar 1. Pengaruh Aplikasi *Sludge* terhadap Ketersediaan Sulfur (ppm) pada Hari ke-0, 7 dan 15 Hari setelah Inkubasi

Tabel 8. Pengaruh Penambahan *Sludge* terhadap Konsentrasi Logam-logam (ppm) pada *Tailing Dump*

Perlakuan	Konsentrasi Mineral Hari ke -														
	Fe			Cu			Pb			Cd			CN		
	0	7	15	0	7	15	0	7	15	0	7	15	0	7	15
Kontrol	23863	21681	22444	120	123	121	147	161	145	13.8	13.6	13.8	0.76	0.55	0.64
25% <i>sludge</i>	21643	20886	18741	101	97	84	147	144	133	6.3	6.0	1.8	0.18	0.21	<.001
50% <i>sludge</i>	21341	17557	8656	114	86	32	133	132	69	6.0	5.2	1.4	0.26	0.08	<0.001

Tabel 9. Hasil Penghitungan Efisiensi Peningkatan Unsur Hara Makro dan KTK (dalam %)

Perlakuan	N	P	K	KTK
TP	0	0	0	12,3
TP + 25% <i>sludge</i>	1086	181,2	-21	99,5
TP + 50% <i>sludge</i>	3243	442,5	-3	154,3
TD	0	3,89	8	23,3
TD + 25% <i>sludge</i>	1029	100,2	-10	76,5
TD + 50% <i>sludge</i>	2414	150,8	-6	93,9

yaitu logam-logam tersebut diserap oleh gugus organik. Sebagian besar kompleks organometal adalah *insoluble* sehingga dapat mencegah akumulasi logam dalam air tanah (Tan, 1993).

Turunnya konsentrasi logam dalam *tailing* akibat penambahan *sludge* juga dapat terjadi karena logam-logam tersebut berikatan dengan sulfida yang dihasilkan akibat tereduksinya sulfat baik secara kimia maupun akibat aktivitas bakteri pereduksi sulfat (Gambar 2). Menurut Hards dan Higgins (2004) bahwa terbentuknya sulfida akibat reaksi reduksi sulfat oleh bakteri akan berikatan dengan logam-logam dan membentuk sulfida logam yang imobil. Akibat presipitasi logam-logam ini maka kelarutan logam menjadi sangat rendah sehingga tidak meracuni lingkungan.



Gambar 2. Isolat Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) yang Ditemukan Mengkoloni *Sludge*

D. Efisiensi Ameliorasi

Efisiensi dihitung berdasarkan kondisi awal (H0) kontrol dengan kondisi akhir (H15) perlakuan dalam satuan persen (%). Tabel 9 menunjukkan bahwa *sludge* efektif meningkatkan ketersediaan N baik pada *tailing dump* maupun *tailing pond* baik pada dosis aplikasi 25% maupun 50% setelah diinkubasi selama 15 hari. Seperti telah disebutkan di atas, bahwa efektivitas peningkatan ini diduga akibat pengaruh mikroba yang mengkoloni *sludge*. Pada ketersediaan P, *sludge* dapat meningkatkan ketersediaan unsur tersebut minimal dua kali lipat (100%) pada dosis aplikasi 25% pada hari ke-15 setelah inkubasi pada *tailing dump*. Sedangkan pada *tailing pond* bahan ini pada dosis 50% dalam waktu inkubasi yang sama dapat meningkatkan ketersediaan P lebih dari lima kali lipat (>400%) (Tabel 9).

Hasil penghitungan efisiensi penurunan konsentrasi logam-logam pada *tailing dump* menunjukkan bahwa dosis aplikasi yang paling efisien adalah 50% (Tabel 10). Pada dosis tersebut setelah 15 hari inkubasi mampu menurunkan ketersediaan S 82%, Fe 63%, Cd tersisa 10% bahkan CN hampir semuanya dapat diendapkan (tersisa 0,2 %) (Tabel 10).

Tabel 10. Hasil Penghitungan Efisiensi Penurunan Beberapa Mineral dan Logam (dalam %)

Perlakuan	S	Fe	Cu	Cd	Pb	CN
TD	6,1	5,9	0,0	0,0	1,3	-16,4
TD + 25% <i>sludge</i>	52,9	21,5	30,0	87,0	9,5	99,8
TD + 50% <i>sludge</i>	82,2	63,7	73,3	90,0	53,6	99,8

KESIMPULAN

Sludge industri pulp dan kertas efektif untuk memperbaiki sifat-sifat kimia *tailing* bekas tambang emas. Aplikasi *sludge* pada dosis 50% (1:1 v/v) dapat meningkatkan ketersediaan ketersediaan N sebesar 2414% pada *tailing dump* dan sebesar 3243% pada *tailing pond*; meningkatkan ketersediaan P lebih dari 440% serta meningkatkan KTK lebih dari 150%, serta menurunkan ketersediaan S (82%), Fe (63%), Cu (73%), Cd (90%), Pb (53%) serta sianida (CN) sebesar 99% pada *tailing dump* dalam waktu 15 hari setelah inkubasi.

SARAN

Penelitian ini masih memiliki banyak kelemahan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui mengapa terjadi dinamika peningkatan ketersediaan N dan P, mengapa ketersediaan K semakin menurun dengan penambahan *sludge* serta perlu penelitian untuk mengetahui pengaruh ameliorasi terhadap pertumbuhan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

Alloway, B.J., 1995, *Heavy Metals in Soils*, 2nd ed. Blackie Academic & Professional, London, pp: 122, 179, 206.

Andri, M. 2006, Pemanfaatan *Sludge* Industri Kertas untuk Memperbaiki Kesuburan Tanah Bekas Tambang Batubara, *Skripsi*, Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan. Fakultas Pertanian IPB, Bogor

Anonim, 2012, Bahan Kuliah Dampak Pertambangan Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Tanah. Dapat diakses di: <https://ismedinonu.ubb.ac.id/wp-content/uploads/2012/04/KULIAH-3.-DAMPAK-THP-SIFAT-FISIK-DAN-KIMIA-TANAH.pptx>

Bohn, H.L., B.L.McNeal dan G.A.O'Connor, 1985, *Soil Chemistry*. 2nd ed. John Wiley&son. New York (pp: 135 – 152)

Ditjen Pertambangan Mineral dan Batubara, 2007, Penyebaran Cadangan Bahan Galian Indonesia. www.dpmb.esdm.go.id

Fauziah A. B., 2009, Pengaruh Asam Humat dan Kompos Aktif untuk Memperbaiki Sifat *Tailing* dengan Indikator Pertumbuhan Tinggi Semai *Enterolobium cyclocarpum* Griseb dan *Altingia excelsa* Noronhae. *Skripsi*, Departemen Silviculture Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.

Gautama, R.S., 2007, Pidato Guru Besar ITB: Pengelolaan air asam tambang: aspek penting menuju pertambangan berwawasan lingkungan, www.itb.ac.id/favicon.ico [20 Mei 2007]

Hards, B.C., dan J.P. Higgins., 2004, *Bioremediation of Acid Rock Drainage Using Sulphate Reducing Bacteria*, Jacques Whit Environment Limited. Ontario (pp: 67 – 86)

Harian BERITA SORE Makassar, edisi 11 Februari 2009, Siaran pers Menko Ekonomi: Indonesia Potensi Tambang Nomor Enam Terkaya, Tersedia di: <http://beritasore.com/news/wp-content/themes/flashnews/images/favicon.ico>

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson., 1999, *Soil Fertility and Fertilizer: An Introduction to Nutrient Management*. Prentice Hall, New Jersey (pp: 144 – 161)

Hidayat, Y., Christiantoko dan E. Suprpto. 2007, Masih Banyak Emas Selain Busang: Potret tambang emas Batuhijau di Sumbawa. <http://www.hamline.edu/apakabar/basisdata/1997/02/07/0013.html>

Kshirsagar, S dan N.C. Aery., 2007, Phytostabilization of mine waste : Growth and physiological responses of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Journal of Environmental Biology*: 28(3) 651-654

Maemunah, S., 2007, Emas, Lembata dan Merukh. Dimuat di Harian Flores Pos, 30 Juli 2007, dapat diakses di: www.jatam.org.

N'Dayegamiye, A., 2009, Mixed Paper Mill Sludge Effects on Corn Yield, Nitrogen Efficiency, and Soil Properties. *Agronomy Journal* (98):1471-1478

- Pusat Penelitian Tanah, 1993, Interpretasi Data Kesuburan dan Penyusunan Rekomendasi, Pusat Penelitian Tanah Departemen Pertanian (Tidak diterbitkan).
- Rosenburg, L.V., M.S. Maboeta and M.L Mogenthal., 2004, Rehabilitation of Co-disposed Diamond Tailing: Growth medium rectification procedures and indigenous grass establishment. *Water, Air and Soil Pollution Journal*, Vol 154. no. 1-4 (101-113).
- Setyawan, D.R., 2004, Sistem Pembuangan *Tailing* ke Laut PT NMR, Dapat diakses di: http://www.walhi.or.id/kampanye/tambang/buanglimbah/tam_tailing_std_nmr/
- Siregar, C.A., 2005, Pemanfaatan Cendawan Mikoriza dan Pupuk Organik untuk Memperbaiki Pertumbuhan *Gmelina arborea* Pada Tanah Tailing Terkontaminasi Pb dan Fe di Area Penambangan Emas, Pongkor. *Jurnal Penelitian Kehutanan*, Vol 3 (4): 56-64.
- Sitorus, S.R.P., E. Kusumastuti, dan L. N. Badri. 2008, Karakteristik dan Teknik Rehabilitasi Lahan Pasca Penambangan Timahdi Pulau Bangka dan Singkep. Abstrak. *Jurnal Tanah dan Iklim*. No. 27 (2008).
- Stevenson, F.J., 1994, *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*, John Willey&son, New York (pp: 66 – 74)
- Tan, K.H., 1993, *Principles of Soil Chemistry* (2nd Ed), Marcel Dekker Inc, New York, (pp: 205 – 237)
- Wasis, B. dan A. Sandrasari. 2011, Pengaruh Pemberian Pupuk Kompos terhadap Pertumbuhan Semai Mahoni (*Swietenia macrophylla* King.) pada Media Tanah Bekas Tambang Emas (*Tailing*), *Jurnal Silvikultur Tropika Vol. 03 No. 01 Agustus 2011, Hal. 109 – 112*
- Widyati, E., 2006, Bioremediasi Tanah Bekas Tambang Batubara dengan *Sludge* Industri Kertas untuk Memacu Revegetasi Lahan. *Disertasi*. Program Pendidikan Doktor, IPB. Bogor.
- Witoko, D., 2011, Perbaikan Ketersediaan Unsur Hara Makro *Tailing* Tambang Emas dengan *Sludge* Industri Kertas untuk Media Tanam, *Skripsi*, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan. IPB. Bogor.