

PENERAPAN METODE BIOREMEDIASI DAN FITOREMEDIASI PADA REKLAMASI *LOW WALL* PIT PERI, PT KALTIM PRIMA COAL

Niko Gusprastomo¹, Agung Febrianto², Wahyu Wardana³, Kris Pranoto⁴

¹*Supervisor Reclamation Planning*, ²*Superintendent Reclamation Planning*,
³*Superintendent Reclamation Operation*, ⁴*Manager Environment*

*niko.gusprastomo@kpc.co.id

*agung.febrianto@kpc.co.id

INTISARI

Kegiatan penambangan pada akhirnya akan menyisakan lubang tambang (*void*) dan dinding-dinding lubang tambang. *Low Wall* merupakan dinding lubang tambang dengan sudut kemiringan searah lapisan batu bara, sedangkan *High Wall* merupakan dinding lubang tambang dengan arah sebaliknya. Keduanya akan tetap nampak di atas permukaan air *void* dan menjadi bagian dari kewajiban reklamasi.

Low Wall Pit Peri seluas ± 6 ha memiliki sudut kemiringan 26 % dengan sifat kimia tanah: miskin zat organik, pH masam, kandungan batuan pembentuk asam (PAF) tinggi, serta rendahnya nilai KTK (kapasitas tukar kation) dan kejenuhan basa. Kondisi tersebut tergolong lahan kritis sehingga memerlukan rekayasa khusus dalam melakukan reklamasi.

PT KPC telah melakukan reklamasi-revegetasi di *Low Wall Pit Peri* dengan kombinasi metode bioremediasi dan fitoremediasi. Tahapan reklamasi diawali pembersihan permukaan *carbonaceous* untuk mengurangi tereksposnya batuan PAF, penyiapan media tanam bioremediasi, dan penanaman fitoremediasi. Metode ini cukup efektif memperbaiki sifat kimia tanah. Terbukti pada umur ± 11 bulan setelah tanam, pohon turi telah mencapai ketinggian rata-rata $\pm 1,5$ m dan rumput *signal grass* mampu menutupi mayoritas areal yang ditabur.

Kata Kunci : Reklamasi-revegetasi, *Low Wall*, Bioremediasi, Fitoremediasi

A. LATAR BELAKANG

Dampak Lingkungan Lubang Tambang

Sejak dimulainya penambangan batubara skala industri di timur laut Inggris sekitar tahun 1600, dampak lingkungan dari aktivitas penambangan batubara terus terasa berupa rongga tambang (*void*, dinding lubang tambang) dan dari paparan mineral-mineral, seperti: Pirit (FeS_2), Siderit (FeCO_3), dan Ankerit (*Ca-calcium*), *Fe*-Besi,

Mg-magnesium, *Mn-manganese*, dan/atau mineral *carbonate* (CO₃) Ketika ditinggalkan setelah penambangan selesai, material tersebut dapat menimbulkan masalah kesehatan bagi manusia, hewan, dan tumbuhan (Paul L Younger, 2004). Kondisi ini tidak hanya memberikan kita pemahaman terhadap tantangan ke depan, tetapi memperingatkan kita untuk berpikir dan bertindak lebih cermat agar penambangan batubara bukan menjadi bencana bagi generasi selanjutnya. Pencemaran lingkungan secara bersamaan seharusnya tidak terjadi jika dilakukan pengelolaan dan pemulihan yang sesuai dan berkelanjutan.

Reklamasi dan Pascatambang

Terminologi “Reklamasi dan Pascatambang” menjadi bentuk pengelolaan lingkungan hidup yang spesifik disebutkan dalam ketentuan peraturan perundang-undangan pertambangan yang merupakan bagian dari pengelolaan dalam dokumen lingkungan hidup/Amdal (UU No.4/2009).

Berdasarkan UU No.4/2009, definisi reklamasi adalah “kegiatan yang dilakukan sepanjang tahapan usaha pertambangan untuk menata, memulihkan, dan memperbaiki kualitas lingkungan dan ekosistem agar dapat berfungsi kembali sesuai peruntukannya”. Sedangkan batasan pascatambang adalah “kegiatan terencana, sistematis, dan berlanjut setelah akhir sebagian atau seluruh kegiatan usaha pertambangan untuk memulihkan fungsi lingkungan alam dan fungsi sosial menurut kondisi lokal di seluruh wilayah penambangan”. Perbedaan utama keduanya adalah urutan pelaksanaan pada tahapan kegiatan pertambangan.

Dipertegas di dalam Kepmen ESDM No 1827/K/30/MEM/2018, bahwa kewajiban reklamasi mencakup seluruh lahan bekas tambang, tidak terkecuali pada area dinding lubang tambang.

Dinding-dinding tambang nantinya akan menjadi reklamasi-revegetasi (reklamasi normal), sedangkan *void* sebagai tampungan air dapat dikategorikan sebagai reklamasi peruntukan lain (Kepmen 1827/K/30/MEM/2018).

Low Wall

Merupakan dinding lubang tambang dengan sudut kemiringan searah lapisan batubara. Pelaksanaan reklamasi area *Low Wall* memerlukan metode khusus dikarenakan memiliki beberapa kondisi berikut:

1. Tingginya konsentrasi Aluminium, dapat meracuni tanaman pada konsentrasi 1-2 ppm (Roison, 1973) dalam (PPT, 1997).
2. Konsentrasi Fe²⁺ ± 30 ppm dapat meracuni tanaman secara umum (Van Bremen, dan Voormann, 1978) dalam (PPT, 1997).
3. pH tanah < 4 (sangat rendah), menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat akibat sangat terbatasnya unsur hara dan fosfat (Dent, 1986).
4. Lapisan *carbonaceous* yang tersisa.
5. Topografi lahan dengan sudut kemiringan > 26 %, sehingga bidang kerja aman terbatas khususnya bagi alat berat.
6. Sifat fisik tanah yang cenderung keras dengan dominasi *mudstone*.

7. Kandungan bahan organik sangat rendah.
8. Kapasitas Tukar Kation (KTK) sangat rendah.
9. Kejenuhan basa sangat rendah.

Prinsip Revegetasi Pada Tanah Kritis

Revegetasi pada tanah kritis dapat dilakukan dengan dua prinsip berikut:

1. Bioremediasi dengan memanfaatkan mikroorganisme. Mikroorganisme/mikroba merupakan bentuk kehidupan pertama yang sangat adaptif dan mampu dengan cepat berevolusi menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan yang kritis. mikroba ada di mana-mana, dan mereka berdampak pada seluruh biosfer. Mereka memainkan peran utama dalam mengatur siklus biogeokimia, dari kondisi lingkungan yang ekstrim seperti lingkungan beku, asam danau, lubang hidrotermal, dasar lautan dalam, hingga usus kecil binatang (Seigle-Murandi et al, 1996).
2. Fitoremediasi melalui vegetasi, yaitu penggunaan tanaman yang bersimbiosis dengan mikroba yang berpotensi besar mampu melakukan remediasi tanah yang tercemar (Pilon-Smith, 2004).

Bioremediasi

Bioremediasi didefinisikan sebagai penggunaan proses biologi untuk mengelola tanah, air tanah, dan lumpur (limbah padat) yang terkontaminasi bahan kimia berbahaya. Mikroba berperan membersihkan senyawa pencemar lingkungan melalui proses penguraian, degradasi, detoksifikasi, dan penyerapan (Cookson, 1995). Mikroba yang sering digunakan dalam proses bioremediasi adalah bakteri, jamur, yis dan alga (Erman Munir, 2006). *Pseudomonas sp* dan *Bacillus sp* merupakan genus yang sangat besar perannya dalam melakukan degradasi senyawa pencemar (Budiyanto, 2002). Di Amerika Serikat, mikroba tanah dipandang penting sebagai indikator dalam menentukan indeks kualitas tanah (Karlen et al, 2006). Semakin tinggi populasi mikroba dalam tanah maka semakin tinggi aktivitas biokimia dan semakin tinggi juga indeks kualitas tanah.

Berikut mikroba penyubur tanah yang sering digunakan dalam bidang pertanian dan kehutanan :

1. Bakteri fiksasi Nitrogen (N_2), berperan menghasilkan substansi zat pemacu tumbuh giberelin, sitokinin, dan asam indol asetat, sehingga dapat memacu pertumbuhan akar (Alexander, 1977).
2. Bakteri pelarut Fosfat, mampu melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia dan dapat diserap tanaman. (Goenadi dan Saraswati, 1993).
3. Jamur penyerap Fosfor, yaitu Mikoriza yang memiliki struktur hifa yang menjalar luas ke dalam tanah, jangkauan akar jauh melampaui jarak yang dapat dicapai oleh rambut akar.
4. Bakteri pereduksi sulfat, berfungsi mendegradasi bahan organik di lingkungan anaerob. Bakteri pereduksi sulfat mempunyai kemampuan

memetabolisme senyawa sederhana, seperti laktat, asetat, propionat, butirat, dan benzoat. (Sherman et al, 1998).

5. Rhizobakteria Pemacu Pertumbuhan Tanaman (RPPT), berfungsi memproduksi metabolit yang berperan sebagai fitohormon yang secara langsung meningkatkan pertumbuhan tanaman dan menghambat bakteri patogen sebagai kontrol biologis. (Tien et al, 1979; Kloepper et al, 1980; Schroth & Weinhold, 1986; Biswas et al, 2000).
6. Mikroba perombak bahan organik, merupakan aktivator biologis yang tumbuh alami atau sengaja diinokulasikan untuk mempercepat pengomposan dan meningkatkan mutu kompos (Alexander, 1977; Eriksson et al, 1989).
7. Mikroba *Nitrosococcus*, berperan dalam proses penambahan kesuburan tanah (membentuk humus).
8. Mikroba *Nitrosomonas* genus *chemoautotrophic*, berperan dalam proses nitrifikasi menghasilkan ion nitrat yang dibutuhkan tanaman.

Fitoremediasi

Tanaman Fitoremediasi memiliki karakter spesifik, diantaranya: toleran terhadap tingkat logam tinggi, logam mampu terakumulasi cukup tinggi dalam jaringan tanaman di atas tanah, tingkat pertumbuhan cepat, mampu menghasilkan biomassa yang cukup tinggi, dan memiliki sistem akar yang kuat (Alkorta et al, 2004). Contoh tanaman Fitoremediasi diantaranya:

1. *Brachiaria decumbens*, hal ini didasarkan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa *Brachiaria decumbens* memiliki tingkat toleransi terhadap logam berat (Marcelo p g, 2011).
2. *Sesbina grandiflora*, merupakan pohon toleran terhadap garam, sehingga digunakan untuk mengatasi masalah *stress* garam (Sharma et al. 2001: Giri et al, 2002). Namun pohon-pohon ini biasanya menunjukkan ketergantungan terhadap *mycorrhizae*, terutama arbuskular mikoriza (AM) untuk persediaan fosfor, agar dapat berkembang pada kondisi *stress* garam (Plenchette et al, 1983: Barea et al, 1992).

B. METODOLOGI STUDI

B.1 Objek Studi

PT KPC berada di wilayah Kabupaten Kutai Timur-Kaltim; beroperasi berdasarkan ijin PKP2B dengan luas konsesi 84.938 ha; dan berakhir pada tahun 2021. Rencana produksi batubara rerata tahunan 2018 s/d 2021 adalah 60 Juta ton. Pit Peri merupakan salah satu Pit aktif di area PKP2B PT KPC sisi barat, memiliki dinding *Low Wall* final membentang dari timur ke barat sepanjang $\pm 7.746,19$ m; luas $\pm 18,72$ ha dengan sudut kemiringan rerata lereng $\pm 26^\circ$. Penelitian reklamasi metode bioremediasi dan fitoremediasi dilakukan pada lahan *Low Wall* seluas ± 1 ha.

B.2 Penyiapan Media Tanam

Penyiapan media tanam reklamasi *Low Wall* mencakup tahapan: 1) pembersihan lapisan *carbonaceous* dan perataan lereng; 2) pengaturan drainase dengan pembuatan guludan; 3) pembuatan lubang media tanam sistem *potting*, yaitu penggalian lubang berdimensi sekitar 40 cm x 20 cm x 20 cm dengan jarak antar lubang atas maupun samping sekitar 50 cm secara zig-zag; 4) pembubuhan kapur dengan dosis $\pm 6,25 \text{ kg/m}^2$ (setara 0,5 kg/lubang) untuk membantu menaikkan pH media tanam.



Gambar 1. Pembersihan lapisan *carbonaceous*, perataan lereng, dan pembuatan guludan *Low Wall* Peri



Gambar 2. Penyiapan Media Tanam Sistem *Potting*

B.3 Bioremediasi

Tahap awal revegetasi area *Low Wall* Pit Peri adalah penerapan metode bioremediasi *eksogenous*, yaitu menambahkan populasi mikroba melalui kompos yang dikembangkan sendiri oleh PT KPC. Volume kompos yang ditabur sejumlah $12,5 \text{ kg/m}^2$ (setara 1 kg/lubang).

Kompos merupakan istilah untuk pupuk organik buatan manusia yang dibuat dari proses pembusukan sisa-sisa buangan makhluk hidup (tanaman maupun hewan) (Yuwono, 2005). Kompos yang digunakan dalam reklamasi *Low Wall* Pit Peri berasal dari kotoran sapi dan limbah dapur (daun dan sayuran) dengan perbandingan 60 : 40, menggunakan *starter* EM4 (*efective Microorganism* 4). EM4 ditemukan pertama kali oleh Prof. Teruo Higa dari Universitas Ryukyus Jepang. Larutan tersebut mengandung sekitar 80 genus mikroba yang bekerja

efektif dalam fragmentasi bahan organik, contohnya Bakteri Fotosintetik, *Lactobacillus sp*, *Saccharomyces sp*, *Actino-mycetes sp*, dan Jamur Fermentasi (Indriani, 2007).

Kompos memiliki manfaat, diantaranya:

1. Penambahan kompos ke dalam tanah dapat meningkatkan nilai KTK (Tan, 1991).
2. Takaran kompos sebanyak 5 ton/ha meningkatkan kandungan air tanah pada tanah-tanah yang subur (CPIS, 1991).
3. Bahan organik pada kompos dapat menurunkan pengaruh Al, Fe, dan Mn (Tan, 1991).

B.3 Revegetasi Fitoremediasi

Setelah bioremediasi, revegetasi mencakup 2 tahapan penanaman. Pertama adalah penanaman tanaman penutup fitoremediasi, yaitu tanaman *Sesbina grandiflora* (turi) dan *Brachiaria decumbens* (Signal grass). Keduanya merupakan tanaman yang mampu beradaptasi pada lahan kritis. Volume biji yang ditanam untuk *Brachiaria decumbens* sebanyak 10-20 kg/ha dan *Sesbina grandiflora* sebanyak 50 kg/ha.

Idealnya, tanaman pohon pionir ditanam setelah kondisi kualitas tanah meningkat dan tanaman penutup telah tumbuh subur. Namun sebagai uji coba tanaman pohon seperti Sengon laut, Johar, Kayu putih, Laru, Waru, dan sebagainya juga ditanam pada waktu yang sama.

C. HASIL STUDI DAN PEMBAHASAN

C.1 Penetralan pH

Lapisan *Carbonaceous* merupakan sisa lapisan batubara yang berhimpit pada lapisan batuan *interburden* (lapisan *floor*). Lapisan ini biasa mengandung senyawa sulfida seperti Pirit (FeS_2). Senyawa ini berpotensi membangkitkan Air Asam Tambang (AAT) setelah bereaksi dengan O_2 dan H_2O . Kandungan sulfur sebesar 1% pada setiap 1 ton batuan dapat menghasilkan asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 30,62 kg. Untuk menetralkan $pH > 6$ membutuhkan kalsium karbonat ($CaCO_3$) sebanyak 31,25 kg (Rudy.S.G, 2012).

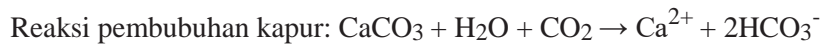
Tabel 1. Kandungan Pirit dan pH pada Lapisan Permukaan *Low Wall Pit Peri*

Titik Sampling	FeS_2 (%)	pH KCL (1 : 2.5)
1	0.56	1.83
2	1.121	2.57
3	0.824	3.72
4	0.316	1.85
5	0.864	1.81

Berdasarkan data uji laboratorium sampel batuan dari lapisannya, pH *Low Wall Pit Peri* tergolong sangat rendah (LPT, 1983). pH menentukan mudah

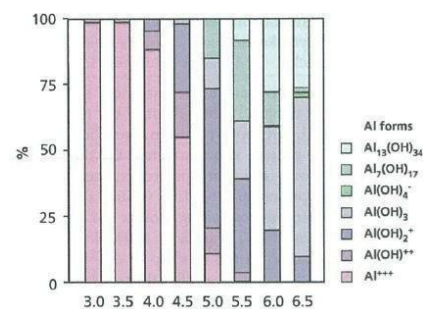
tidaknya unsur hara diserap tanaman. Akibatnya, pada tanah masam unsur P–Fosfor menjadi sulit diserap tanaman karena terfiksasi oleh Al dan unsur Fe, Mn, Cu dan Co mudah larut sebagai racun tanaman.

Pembubuhan kapur sebanyak 6,25 kg/m² (setara 0,5 kg/lubang) dimaksudkan untuk membantu menaikkan pH permukaan *Low Wall*. Hasil reaksi antara CaCO₃, H₂O dan CO₂ salah satunya menghasilkan senyawa 2HCO₃⁻ (Bikarbonat) yang berfungsi dapat menetralkan ion *hydronium* (H⁺) (Balik et al, 2005). Namun demikian air dalam jumlah berlebih (ketika hujan) juga beresiko melarutkan kapur.



C.2 Sifat Kimia Tanah

Aluminium adalah logam dengan kelimpahan terbesar pada kerak bumi dan unsur terbanyak ketiga (J.F Ma et al, 2001). Dari data uji laboratorium (Tabel 2), *Low Wall Pit Peri* mengandung konsentrasi Aluminium > 2 ppm yang berarti bersifat racun bagi tanaman (Roison, 1973) dalam (PPT, 1997). Terbukti juga data pH tanah < 4 akan didominasi oleh Al (Nair & Prenzel, 1978). Secara rinci berdasarkan data uji



Gambar 3. Distribusi Bentuk Aluminium Terhadap Fungsi pH (Nair & Prenzel, 1978)

Tabel 2, kandungan Aluminium masing-masing titik uji sbb:

- No.1 sebesar 4.622,57 ppm atau 4.62 gram/liter air;
- No.2 sebesar 449,67 ppm atau 0.45 gram/liter;
- No.4 sebesar 1,87 ppm atau 1.87 gram/liter;
- No.5 sebesar 170,87 ppm atau 0,17 gram/liter;
- No.3 konsentrasi aluminium tidak meracuni tanaman, karena konsentrasi Aluminium < 2 ppm (Lihat Tabel 2).

Dampak keracunan Aluminium berpengaruh pada proses pemanjangan sel akar tanaman. Sel akar nampak gemuk, menjadi lebih pendek, dan lebih lebar (Delhaize & Ryan 1995).

Berdasarkan data uji, sifat kimia material *Low Wall Pit Peri* termasuk dalam kelas subur rendah (komparasi terhadap PPT Bogor, 1995). Hal inilah sebagai dasar penerapan Bioremediasi untuk meningkatkan kualitas tanah.

Table 2. Kandungan Kimia Tanah *Low Wall Pit Peri*

Titik Uji	me/100 gr					*Al ³⁺	H ⁺	N %	KB %	C (Organik) %	P (ppm)	K (ppm)	Kal %
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CEC								
1	1.3	0.8	0.3	0.2	16	51	40	38	16	1.64	3.5	60.3	95.3
2	0.4	0.3	0.3	0.1	9.4	5	3.7	39	11	2.78	0.03	25.13	82.5
3	2.1	1.2	0.3	0.7	10	0	0	18	40	1.28	11.57	233.7	0
4	1	1.1	0.2	0.4	10	21	19	40	26	1.58	13.32	108.4	88.7
5	5.3	1.6	0.9	0.7	13	1.9	1.4	31	65	2.68	11.92	247.5	18.5

*ppm Al = (Al (me/100gr) x Berat Molekul Al x 10)/Valensi Al

C.3 Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah (tekstur dan gradasi butiran) sebagai media tanam berpengaruh pada kondisi rongga/pori tanah sebagai tempat Bergeraknya air, zat terlarut, udara, suhu, luas permukaan spesifik (*specific surface*), kemudahan tanah memadat (*compressibility*), dan lain-lain (Hillel, 1982). Data uji material *Low Wall* Pit Peri diklasifikasikan menurut USDA (LPT, 1979) sebagai berikut.

Tabel 3. Klasifikasi Sifat Fisik Material *Low Wall* Pit Peri

Titik Sampling	Sand %	Clay %	Silt %	Tekstur
1	7.32	18.51	74.17	Lempung Berdebu
2	12.94	5.17	81.89	Debu
3	3.5	25.04	71.46	Lempung Berdebu
4	18.99	16.7	64.31	Lempung Berdebu
5	5.59	14.9	79.51	Lempung Berdebu

Berdasarkan kelas teksturnya maka material *Low Wall* Pit Peri termasuk tanah bertekstur sedang atau tanah berlempung (Hanafiah, 2005) dan memiliki luas permukaan yang minimal, sehingga sulit untuk menyimpan air dan menyerap unsur - unsur yang ada pada tanah (Hardjowigeno, 2003). Kondisi ini sebagai dasar perlunya penambahan kompos sebagai media tanam awal.

C.4 Pertumbuhan Revegetasi

Pemantauan dan evaluasi dilakukan secara berkala untuk menjamin tingkat keberhasilan metode bioremediasi dan fitoremediasi yang diterapkan. Pemantauan sampai umur 11 bulan menunjukkan hasil yang positif, terlihat tanaman 2 tanaman fitoremediasi tumbuh subur. Tanaman Turi tumbuh mencapai tinggi 1,5 m dan rumput Signal tumbuh merata di atas lapisan kompos.



Gambar 4. Penaburan Kapur pada Tanggal
23 November 2017



Gambar 5. *Sesbina grandiflora* Berumur
10 hari (Foto: 4 Desember 2017)



Gambar 6. *Sesbina grandiflora* Berumur
20 hari (Foto: 14 Desember 2017)



Gambar 7. *Sesbina grandiflora* Berumur
40 hari (Foto: 03 Januari 2018)



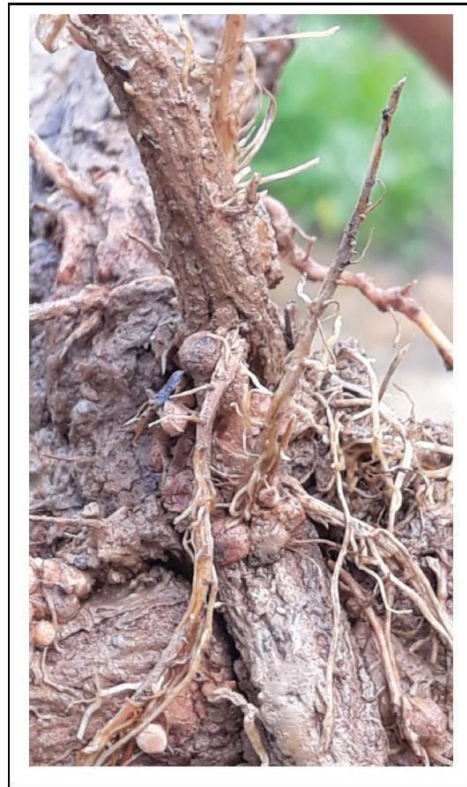
Gambar 8. *Sesbina grandiflora* Berumur 78 hari (Foto: 9 Februari 2018)



Gambar 9. *Sesbina grandiflora* Berumur ± 6 Bulan (Foto: 11 Mei 2018)



Gambar 10. *Brachiaria decumbens*, dan *Sesbina grandiflora* Berumur ± 11 Bulan (Foto: 7 October 2018)



Gambar 11. Bakteri *Rhizobium* pada Akar Tanaman *Sesbina grandiflora*

D. KESIMPULAN

1. Kombinasi Bioremediasi dan Fitoremediasi terbukti mampu menumbuhkan tanaman pada lahan kritis *Low Wall Pit Peri*.
2. Tanaman *Brachiaria decumbens* tumbuh menutup mayoritas permukaan yang ditabur dan tanaman *Sesbina grandiflora* tumbuh mencapai tinggi > 1,5 m pada usia 11 bulan.

E. TINDAK LANJUT

1. Dilakukan pengukuran populasi mikroba di area kompos dan permukaan *Low Wall*.
2. Dilakukan analisis kandungan logam yang terkandung di dalam tanaman.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. 1977. *Introduction to Soil Mycobiology*. 2nd Ed. John Wiley and Sons. New York. 467 p.
- Alkorta, I., Hernandez-Allicia, J., Becerril, J.M., Amezaga, I., Albizu, I., Garbisu, C., 2004a. *Recent findings on the Phytoremediation of Soils Contaminated with Environmentally Toxic Heavy Metals and Metalloids such as Zinc, Cadmium, Lead, and Arsenic*. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 2, 71-91.
- Balik, J., Vanek, V., Pavilova, D. 2005. *Function of Ca in Plant and Soil*. In : Proc. 11th Int. Conf. Reasonable use of fertilizer, Czech University of Agriculture in Prague.
- Budiyanto, M,A,K. 2002 *Mikrobiologi Terapan*. Universitas Muhamadiyah Malang.
- Cookson, J.T. 1995. *Bioremediation Engineering Design and Application*, McGraw-Hill, New York.
- CPIS (Centre for Policy and Implementation Studies) dan Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. (1991). *Penelitian dan Pengembangan Pupuk Kompos Sampah Kota*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.
- Dent, D. 1986. *Acid sulphate soils: a baseline for research and development*. Wageningen, The Netherlands.
- Eriksson, KEL, R.A. Blanchette, and P. Ander. 1989. *Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components*. Springer-Verlag Heildeberg. New York.
- Gautama, S. Rudy. 2012. *Pengelolaan Air Asam Tambang*. Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB. Bandung
- Hanafiah, K.A. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. PT, Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Hardjowigeno, S. 1992. *Ilmu Tanah*. Edisi III. PT. Mediatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to Soil Rhysics*. Academic Press., Inc. San Diego, California. <https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon>
- Indriani , Y. H., 200 7. *Membuat Pupuk organik Secara Singkat* , Penebar Swadaya, Jakarta.

- James, E. and F.L. Olivares. 1997. *Infection and Colonization of Sugarcane and Other Gramineous Plants by Endophytic Diazotrophicus*. Plant Science. 17:77-119.
- LPT (Lembaga Penelitian Tanah). 1979. *Penuntun Analisa Fisika Tanah*. Lembaga Penelitian Tanah, Bogor.
- Munir, Erman. 2006. *Pemanfaatan Mikroba Dalam Bioremediasi : Suatu Teknologi Alternatif Untuk Pelestarian Lingkungan*. Sumatra Utara: Universitas Sumatra Utara.
- Penchette C, Fortin JA, Furlan V (1983), *Growth Responses of Seasonal Plant Species to Mycorrhizae in a Soil of Moderate P Fertility I Mycorrhizae Dependency Under Field Conditions Plant Soil 70 : 199-209*.
- Pilon-Smits, E. 2004. *Phytoremediation*. Annu. Rev. Plant Biol. 56, 15-39.
- PPT, 1997. *Laporan Survey dan Pemetaan Tanah Tinjau Mendalam Daerah kerja A Proyek Pengembangan Lahan Gambut Sejuta hektar*. Bogor.
- Republik Indonesia. 2009. Undang-Undang No 4 Tahun 2009 *Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara*. Jakarta.
- Republik Indonesia. 2018. KEPMEN ESDM No. 1827/K/30/MEM/2018 *Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Jakarta.
- Seigle – Murandi, F., Guiraud, P., Croize, J., Falsen, E., Erikson, K.L., 1996. *Bacteria are omnipresent on Phanerochaete chrysosporium Burdsall*. Appl. Environ. Microbiol 62,2477-2481.
- Sharma MP, Bhatia NP, Adholeva A (2001) *Mycorrhizal Dependency and Growth Responses of Acacia nilotica and Albizzia*.
- Tan, K.H. 1991. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Didiek, H.G (penerjemah). Edisi I. Gadjah Mada University Press.
- Yuwono, D., 2005. *Pupuk organik*, Penebar Swadaya, Jakarta.

