

OPTIMALISASI KERJA MYCOFER DENGAN AUGMENTASI MIKROORGANISME TANAH POTENSIAL DAN ASAM HUMAT UNTUK REHABILITASI LAHAN MARGINAL DAN TERDEGRADASI DI INDONESIA

(OPTIMIZATION OF MYCOFER PLUS AND AUGMENTATION OF POTENTIAL SOIL
MICROORGANISM AND HUMIC ACID FOR REHABILITATION OF MARGINAL AND
DEGRADED LAND IN INDONESIA)

Panca Dewi MH Karti^{1*)}, Sri Wilarso Budi R.¹⁾, Noor F Mardatin¹⁾

ABSTRACT

Marginal and degraded lands in Indonesia are considerably extensive and include many kinds of soil, for instance acid soil and post mining soil. Efforts to overcome the problem of acid soils and post mining soil are the use of biological fertilizer such as arbuscular mycorrhizal fungi (FMA), phosphate dissolving microorganism (MPP), and nitrogen fixer microorganism (MPN). The objective of this research was seeking new formulation of biological fertilizer which constitute a consortium between Mycofer with MPP, MPN, and humic acid which could increase its ability for supplying nutrients and help to increase plant survival in less favorable environment. The first year research comprised the following research stages: (i), Preparation of augmentation materials, namely multiplication of potential microbe (FMA, MPP and MPN) and humic acid; (ii) Formulation of biological fertilizer which constitute the consortium of Mycofer with MPP, MPN and humic acid. There were 6 formulas of biological fertilizer which were tested in this research, namely (a) Mycofer with addition of MPP isolates 1, 2 dan 3; (b) Mycofer with addition of Azospirillum isolates 1, 2 and 3; (c) Mycofer with addition of Rhizobium isolates 1, 2 and 3; (d) Mycofer with addition of humic acid; (e) Mycofer with addition of MPP, Azospirillum and Rhizobium; (f) Mycofer with addition of MPP, Azospirillum, Rhizobium and humic acid; (iii) Test of Mycofer plus formulation in post mining acid soil and latosol soil at laboratory scale with corn crop and Legum Cover Crop (LCC) which comprised (a) *Centrosema pubesens* (b) *Pueraria phaseoloides*, and grasses which comprised (a) *Panicum maximum*, and (b) *Setaria splendida* in pots with 5 kg capacity for 3 months. In the second year research, the first factor was microbe treatment, which comprised 4 levels, namely P1 (control), P2 (mycofer), P3 (mycofer with Azospirillum/Rhizobium) and P4 (mycofer, Azospirillum/Rhizobium, and MPP); whereas the second factor was technological treatment which comprised 3 kinds of technology, namely T1 (SOP of gold mining), T2 (technology of soil amelioration), and T3 (hydroseeding technology). Result of the first year research indicate that the five crops species tested gave different responds weather in latosol soil or in post mining soil. In general, all plant species tested indicate that they not only need single microorganism but need consortium of microorganism. The plants were better growth when inoculated with consortium of microorganism combined with humic acid both in latosol soil and post gold mining soil respectively. The second year research was conducted in post gold mining land of PT Aneka Tambang, in Pongkor, Bogor. The results showed the tolerant crops that did not require technology and addition of microbe for their growth are *Calopogonium muconoides* and *Setaria splendida* whereas *Brahiaria humidicola* and *Centrosema pubesescens* only required treatment P3, P4 and P2. *Pueraria phaseoloides* and *Panicum maximum* were categorized as sensitive plants because they required additio of microbes and technology, namely treatments T3P3 an treatment T3P4.

Keywords : Marginal land, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Phosphate Dissolving Microorganism, Nitrogen Fixer Microorganism, Humic Acid.

ABSTRAK

Tanah marginal dan terdegradasi di Indonesia cukup banyak, antara lain tanah masam dan tanah pasca penambangan. Untuk mengatasinya dengan penggunaan pupuk hayati yaitu fungi mikoriza arbuskula (FMA), mikroorganisme pelarut fosfat (MPP) dan mikroorganisme penambat nitrogen (MPN). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formulasi baru pupuk hayati yang merupakan konsorsium antara Mycofer (FMA) dengan MPP, MPN, dan asam humat agar dapat lebih meningkatkan kemampuannya dalam menyediakan unsur hara dan

membantu ketahanan tanaman pada lingkungan yang kurang menguntungkan. Penelitian ini terdiri dari penelitian tahun pertama terdiri dari 3 tahap yaitu: (i) Persiapan bahan augmentasi: perbanyak mikroba

¹⁾ Pusat Penelitian Sumberdaya Hayati dan Bioteknologi, LPPM, Institut Pertanian Bogor.

* Penulis korespondensi : pancadewi_fapetipb@yahoo.com

potensial (FMA, MPP dan MPN) dan asam humik (ii) Formulasi pupuk hayati yaitu (i) Mycofer dengan penambahan MPP isolat 1, 2 dan 3 (ii) Mycofer dengan penambahan Azospirillum isolat 1, 2 dan 3 (iii) Mycofer dengan penambahan Rhizobium isolat 1, 2 dan 3, (iv) Mycofer dengan penambahan asam humat, (v) Mycofer dengan penambahan MPP, Azospirillum dan Rhizobium, dan (vi) Mycofer dengan penambahan MPP, Azospirillum, Rhizobium dan asam humat. (iii) Uji formulasi Mycofer plus pada tanah masam pasca penambangan dan tanah latosol skala laboratorium dengan tanaman uji Jagung dan Legum Cover Crop (LCC) yang terdiri dari (a) *Centrosema pubescens* (b) *Pueraria phaseoloides*, rumput yang terdiri dari (a) *Panicum maximum* (b) *Setaria splendida* pada pot kapasitas 5 kg selama 3 bulan. Penelitian tahun kedua yaitu faktor pertama adalah perlakuan mikroba terdiri dari 4 taraf yaitu P1 (kontrol), P2 (mycofer), P3 (mycofer dengan Rhizobium/Azospirillum), P4 (mycofer, Rhizobium/Azospirillum dan MPP) dan faktor kedua adalah perlakuan teknologi penanaman terdiri dari 3 jenis yaitu T1 (SOP tambang emas), T2 (teknologi pembenah tanah), T3 (Teknologi hidro seeding). Hasil penelitian tahun pertama menunjukkan bahwa lima jenis tanaman uji memberikan respon yang berbeda pada tanah latosol maupun tanah pasca penambangan emas. Secara umum ke lima jenis tanaman tersebut membutuhkan pupuk hayati tidak secara tunggal, akan tetapi membutuhkan konsorsium dari beberapa jenis mikroorganisme dan hasilnya akan lebih baik bila dikombinasikan dengan pemberian asam humat, baik pada tanah latosol atau tanah pasca penambangan emas. Hasil penelitian tahun kedua pada lahan pasca tambang emas PT. Aneka Tambang di Pongkor yaitu tanaman yang toleran tidak memerlukan teknologi penanaman dan penambahan mikroba untuk pertumbuhannya yaitu *Calopogonium mucunoides* dan *Setaria splendida*, sedangkan *Brachiaria humidicola*, *Centrosema pubescens* hanya memerlukan penambahan mikroba yaitu perlakuan P3 dan P4 serta P2. *Pueraria phaseoloides* dan *Panicum maximum* termasuk tanaman peka karena memerlukan penambahan mikroba dan teknologi penanaman yaitu perlakuan T3P3 dan perlakuan T3P4.

Kata kunci : Fungi Mikoriza Arbuskula, Mikroorganisme pelarut fosfat, mikroorganisme penambat nitrogen, Asam humat.

PENDAHULUAN

Lahan marginal dan terdegradasi di Indonesia cukup banyak, antara lain lahan masam dan lahan pasca penambangan. Keberadaan lahan masam di Indonesia cukup tinggi meliputi 30% atau 0.51 juta km² dari luasan daratan Indonesia yang tersebar di daerah Jawa Barat, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya. Masalah utama yang dihadapi pada tanah masam adalah (1) penurunan kelarutan P dan Mo sehingga terjadi defisiensi P dan Mo. (2) penurunan konsentrasi unsur makro N, Mg, Ca dan K. (3) peningkatan konsentrasi Al, Mn dan Fe yang dapat menimbulkan keracunan (4) menghambat pertumbuhan akar dan penyerapan air sehingga menyebabkan kekurangan unsur hara, stress kekeringan dan peningkatan pencucian unsur hara (Maschner, 1995). Lahan pasca tambang selain permasalahan dengan kondisi masam, juga masalah yang dapat ditimbulkan adalah kontaminasi logam berat. Pada lahan pasca penambangan dengan kontaminasi logam berat umumnya dilakukan pemberian bahan organik yang tinggi, akan tetapi hal ini menimbulkan masalah baru yaitu penurunan pH tanah. Usaha lain yang dapat dilakukan yaitu dengan penggunaan pupuk hayati. Pupuk hayati tersebut antara lain yaitu fungi mikoriza arbuskula (FMA), mikroorganisme pelarut fosfat (MPP) dan mikroorganisme penambat nitrogen (MPN), (Setiadi, 1993, Karti, 2003, Karti, 2005)

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formulasi baru pupuk hayati yang merupakan konsorsium antara Mycofer dengan MPP, MPN, dan asam humat agar dapat lebih meningkatkan kemampuannya dalam menyediakan unsur hara dan membantu ketahanan tanaman pada lingkungan yang kurang menguntungkan. Produk pupuk hayati ini ("Mycofer plus") diharapkan dapat mengatasi permasalahan pada lahan-lahan marginal dan lahan terdegradasi, dengan cara : membantu memperbaiki sifat-sifat (kimia, fisik dan biologi) tanah/lingkungan marginal sehingga layak sebagai tempat hidup tanaman dan membantu pertumbuhan dan produksi pada lahan marginal dan mensukseskan program revegetasi lahan pasca penambangan.

BAHAN DAN METODE

Pembuatan bahan augmentasi dengan perbanyak mikroba potensial (CMA, MPP dan MPN)

Inokulan FMA (Mycofer) diperbanyak melalui kultur pot terbuka dengan media tumbuh zeolit dan inang sorghum. Propagasi Mycofer mengikuti standar prosedur yang ditetapkan oleh Laboratorium Bioteknologi Hutan dan Lingkungan-PPSHB IPB yang meliputi teknik inokulasi, pemberian nutrisi, pemeliharaan dan monitoring selama 4 bulan.

Perbanyakani MPP dan MPN unggul dilakukan dengan menggunakan media cair dan dengan

bantuan shaker untuk mendapatkan jumlah populasi yang diinginkan, kemudian diformulasi dalam arang sekam yang telah disterilkan. Isolat yang digunakan isolat adalah isolat hasil seleksi oleh laboratorium Bioteknologi Hutan dan Lingkungan.

Mycofer, MPP dan MPN kemudian dilakukan pengujian kepadatan propagul menggunakan metode Most Probable Number (MPN). Asam humat diberikan dalam bentuk cair pada media tanam sebelum dilakukan penanaman. Dilakukan analisis tanah latosol dan tailing tambang emas.

1. Penelitian tahun pertama menggunakan rancangan acak lengkap terdiri 7 perlakuan dengan 5 ulangan yaitu : Kontrol , M = mycofer, MA = Mycofer dengan penambahan Azospirillum isolat 1, 2 dan 3, MH = Mycofer dengan penambahan asam humat, MP = Mycofer dengan penambahan MPP isolat 1, 2 dan 3, MR = Mycofer dengan penambahan Rhizobium isolat 1, 2 dan 3, MPA atau MPR = Mycofer dengan penambahan MPP, Azospirillum atau Rhizobium, MPAH = Mycofer dengan penambahan MPP, Azospirillum atau Rhizobium dan asam humat.

Dalam pelaksanaannya, aplikasi formulasi ini masih dilakukan secara terpisah dari tiap-tiap jenis inokulan. Tetapi komposisi tetap mengikuti pedoman tersebut di atas.

Pengujian formulasi baru Mycofer pada tanah latosol dan lahan pasca tambang emas pada skala persemaian dilakukan bersamaan dengan menggunakan 5 jenis tanaman yang berbeda yaitu: jagung, tanaman *legum cover crop* (*Pueraria phaseoloides* dan *Centrosema pubescens*), dan tanaman rumput (*Panicum maximum* dan *Setaria splendida*).

2. Penelitian tahun kedua yaitu uji formulasi baru mycofer pada lahan pasca peambangan emas skala lapang di PT. Aneka Tambang , Pongkor, Bogor. Pengujian dengan menggunakan tanaman yang sama, ditambah dengan *Calopogonium mucunoides* dan *Brachiaria decumbens*. Rancangan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok terdiri dari 4 kelompok dengan pola faktorial terdiri dari 2 faktor. Faktor pertama adalah : P1 = kontrol, P2 = Mycofer, P3 = Mycofer + Rhizobium/Azospirillum, P4 = Mycofer + Rhizobium/Azospirillum + MPP. Faktor kedua adalah : teknologi penanaman (revegetasi) lahan pasca tambang , terdiri dari 3 perlakuan yaitu : T1 = standar SOP PT. Aneka Tambang, P2 = Teknologi revegetasi dengan pembenah tanah, T3 = Teknologi revegetasi dengan hidro seeding. Uji lapang dilakukan bulan Juni hingga Desember

2008 di lokasi Tailing Dam PT. Aneka Tambang Pongkor. Peubah yang dilakukan adalah pengukuran biomassa dan uji verifikasi mikroorganisme yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tanah latosol dari Dramaga dan tailing tambang emas PT. Aneka Tambang di Pongkor yaitu tanah Latosol menunjukkan bahwa pH yang masam, kadar C organik rendah dengan kandungan P, N, K, Ca, Mg yang tersedia juga rendah, akan tetapi kadar P dan K potensial sangat tinggi dengan kapasitas tukar kation yang sedang. Hasil analisis tailing tambang emas Pongkor, Kabupaten Bogor secara umum mempunyai pH yang alkalis dengan kadar C organik sangat rendah dan unsur hara makro seperti N, P, K, Mg yang tersedia juga sangat rendah. Dengan kadar P dan K potensial tinggi. Kadar Ca yang tinggi akan dapat mempengaruhi ketersediaan P. Nilai KTK sangat rendah yang akan mempengaruhi pertukaran unsur hara bermuatan positif, yaitu unsur hara mikro (Fe, Cu, Zn dan Mn) yang merupakan mineral esensial bagi tanaman. Kadar Pb terlarut sangat tinggi.

Tanaman jagung

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan formulasi Mycofer terhadap jumlah anakan, pertambahan tinggi vertikal tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, akan tetapi pada peubah berat kering tajuk, berat kering akar, persentase kolonisasi dan berat kering tongkol menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0.05$). Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan MA memberikan hasil yang terbaik pada peubah berat kering tajuk, berat kering akar dan berat kering tongkol, kemudian diikuti dengan perlakuan MP dan MH.

Hasil analisis ragam pada lahan pasca tambang emas menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan formulasi pupuk biologis menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0.05$) terhadap peubah jumlah daun, pertambahan tinggi vertikal, berat kering tajuk, berat kering akar dan persentase kolonisasi, sedangkan berat kering tongkol menunjukkan perbedaan tidak nyata. Pada Tabel 2 hasil uji lanjut dengan Duncan menunjukkan bahwa perlakuan MPAH memberikan respon yang terbaik pada peubah jumlah daun, pertambahan tinggi vertikal, berat kering tajuk, berat kering akar dan persentase kolonisasi, kemudian diikuti dengan perlakuan MH dan MP. Perlakuan kontrol tanpa penambahan pupuk biologis

Tabel 1. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, tinggi vertikal, berat kering tajuk, berat kering akar, kolonisasi dan berat kering tongkol tanaman jagung pada tanah latosol

Perlakuan	Jumlah daun	Pertambahan tinggi vertikal (cm)	Berat kering tajuk (g)	Berat kering akar (g)	Kolonisasi (%)	Berat kering tongkol
Kontrol	5.0	3.04	3.45 c	1.14 c	1.4 b	0.32 b
M	5.4	3.17	5.65 bc	2.76 bc	20.4 ab	0.22 b
MA	4.3	7.69	12.34 a	6.18 a	19.8 ab	2.18 a
MH	4.9	5.51	6.77 bc	3.50 abc	12.8 ab	0.64 a
MP	5.5	7.59	9.41 ab	5.10 ab	30.2 a	0.60 b
MPA	4.8	5.89	4.83 c	1.52 c	11.8 ab	0.02 b
MPAH	5.5	5.27	5.80 bc	1.72 c	24.6 ab	0.27 b

Tabel 2. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, pertambahan tinggi vertikal, berat kering tajuk, berat kering akar, kolonisasi dan berat kering tongkol tanaman jagung pada tailing tambang emas

Perlakuan	Jumlah Daun	Pertambahan Tinggi Vertikal (cm)	Berat Kering Tajuk (g)	Berat Kering Akar (g)	Kolonisasi (%)	Berat Kering Tongkol
Kontrol	1.9 b	- 3.67 c	0.75 e	0.22 c	4.2 b	0.00
M	4.1 a	- 1.67 b	1.94 cd	0.92 b	29.0 ab	0.02
MA	4.5 a	- 1.89 b	1.55 de	0.70 bc	14.2 b	0.00
MH	3.6 a	- 0.54 ab	3.47 ab	1.22 b	24.0 ab	0.09
MP	4.2 a	- 1.68 b	2.71 cb	1.08 b	38.6 ab	0.04
MPA	3.3 ab	- 1.74 b	1.95 cd	0.80 b	20.4 ab	0.00
MPAH	4.8 a	0.58 a	4.22 a	1.78 a	52.0 a	0.07

menunjukkan respon yang terendah pada semua peubah.

Pada tanaman jagung terlihat pada lahan pasca tambang memerlukan perlakuan yang lengkap untuk dapat tumbuh dengan lebih baik yaitu pada perlakuan MPAH, memerlukan tambahan mikoriza, mikroorganisme pelarut fosfat, Azospirillum dan asam humik. Hasil analisis lahan pasca tambang menunjukkan bahwa unsur P dan N rendah sehingga dengan penambahan mikoriza, mikroorganisme pelarut fosfat, Azospirillum dapat meningkatkan ketersediaan P dan N dan juga peningkatan serapan P dan N. Asam humat yang diberikan membantu dalam penyerapan unsur Pb yang tinggi pada lahan pasca tambang sehingga tidak meracuni tanaman. Penambahan mikroorganisme dan pembenah tanah tersebut dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman maupun produksi tanaman. Tanah latosol kandungan unsur hara masih lebih baik dibandingkan dengan lahan pasca tambang, sehingga perlakuan yang terbaik yaitu perlakuan MA terdiri dari mikoriza dan Azospirillum. Pada tanah latosol tidak memerlukan penambahan asam humat karena tidak mengandung Pb sehingga tidak diperlukan untuk pengikatan Pb.

Tanaman leguminosa *Pueraria phaseoloides*

Hasil analisis ragam pada perlakuan pupuk biologis pada tanaman *Pueraria phaseoloides* pada tanah latosol panen ke satu menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0.05$) pada peubah jumlah daun trifoliolate dan berat kering tajuk. Dari Tabel 3 hasil uji lanjut menunjukkan perlakuan M dan MP memberikan jumlah daun trifoliolate yang terbanyak dibandingkan dengan perlakuan lain, sedangkan berat kering tajuk yang tertinggi nilainya adalah perlakuan MP yang diikuti dengan perlakuan M dan MR.

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan pupuk biologis pada tanah latosol pada panen ke dua menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0.05$) pada peubah panjang penyebaran, berat kering tajuk, berat kering akar dan berat nodul efektif, sedangkan jumlah daun trifoliolate tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hasil uji lanjut terlihat pada Tabel 4 menunjukkan perlakuan M memberikan pengaruh yang terbaik pada berat kering tajuk, berat kering akar dan berat kering nodul efektif, yang kemudian diikuti dengan perlakuan MR dan MP dibandingkan dengan perlakuan kontrol.

Hasil analisis ragam menunjukkan pengaruh penambahan pupuk biologis pada tailing tambang emas memberikan respon yang berbeda nyata

($P < 0.05$) peubah pertambahan tinggi vertikal, berat kering tajuk dan berat kering akar, sedangkan peubah jumlah daun trifoliolate dan persentase kolonisasi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hasil uji lanjut dengan Duncan pada Tabel 5 menunjukkan perlakuan MA memberikan pengaruh yang terbaik pada peubah pertambahan tinggi vertikal dan berat kering tajuk, sedangkan peubah berat kering akar menduduki posisi yang kemudian. Perlakuan MP memberikan respon yang terbaik pada berat kering akar, sedangkan pertambahan tinggi vertikal dan berat kering tajuk menduduki posisi yang kedua.

Tabel 3. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, tinggi vertikal, berat kering tajuk pada panen ke 1 *Pueraria phaseoloides* pada tanah latosol

Perlakuan	Jumlah daun trifoliolate	Tinggi tanaman (cm)	Berat kering tajuk (g)
Kontrol	19.8 c	76.5	1.296 b
M	38.6 a	91.7	3.308 a
MR	35.6 ab	84.5	3.236 a
MH	27.2 abc	96.2	2.916 a
MP	36.6 a	89.7	3.532 a
MPR	23.6 bc	84.3	2.532 ab
MPRH	30.4 abc	88.2	2.646 ab

Tanaman leguminosa *Centrocema pubescens*

Hasil analisis ragam menunjukkan penambahan pupuk biologis memberikan pengaruh yang nyata ($P < 0.05$) pada tanah latosol terhadap peubah jumlah daun trifoliolate, berat kering tajuk panen ke satu dan berat kering akar. Hasil uji lanjut yang dapat dilihat pada Tabel 6 menunjukkan perlakuan M, MR dan MP memberikan hasil yang terbaik untuk peubah jumlah daun trifoliolate, berat kering tajuk panen ke satu dan berat kering akar. Pada panen ke 2, perlakuan M memberikan berat kering tajuk tertinggi (3.08g) diikuti MH dan MPRH masing-masing 3.02 dan 3.0g.

Hasil analisis ragam pada tailing tambang emas menunjukkan penambahan pupuk biologis memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($P < 0.05$) terhadap jumlah daun trifoliolate, pertambahan tinggi vertikal dan persentase kolonisasi, sedangkan berat kering tajuk dan berat kering akar tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hasil uji lanjut dengan Duncan dapat dilihat pada Tabel 7 menunjukkan perlakuan MH dan MPR memberikan pengaruh terbaik pada jumlah daun trifoliolate, pertambahan tinggi vertikal dan persentase kolonisasi, dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Perlakuan kontrol memberikan respon yang terendah terhadap semua peubah.

Tabel 4. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, tinggi vertikal, berat kering tajuk pada panen ke 2 pada *Pueraria phaseoloides* pada tanah latosol

Perlakuan	Jumlah daun trifoliolate	Tinggi tanaman (cm)	Berat kering tajuk (g)	Berat kering akar (g)	Berat kering bintil efektif (g)
Kontrol	69.2	116.6 ab	7.412 ab	2.660 bc	0.048 abc
M	72.8	122.4 ab	8.016 a	3.932 a	0.086 a
MR	71.0	131.8 ab	7.698 ab	3.484 ab	0.066 ab
MH	65.0	158.6 a	6.908 ab	2.276 c	0.038 bc
MP	72.4	105.6 b	7.102 ab	2.830 bc	0.086 a
MPR	58.6	144.4 ab	6.440 b	2.454 bc	0.020 c
MPRH	69.2	118.8 ab	7.040 ab	2.186 c	0.042 bc

Tabel 5. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, tinggi vertikal, berat kering tajuk pada *Pueraria phaseoloides* pada tailing tambang emas

Perlakuan	Jumlah daun trifoliolate	Tinggi tanaman (cm)	Berat kering tajuk (g)	Berat kering akar (g)	Kolonisasi (%)
Kontrol	13.0	17.3 ab	0.240 b	0.184 b	7.863
M	25.6	30.7 ab	0.828 ab	0.224 b	1.922
MR	25.6	47.4 a	1.710 a	0.558 ab	11.378
MH	14.4	10.8 b	0.476 ab	0.158 b	11.335
MP	31.2	33.6 ab	1.224 ab	0.716 a	0.000
MPR	30.0	12,2 b	0.874 ab	0.350 ab	2.000
MPRH	18.0	12,5 b	0.506 ab	0.224 b	1.273

Tabel 6. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun trifoliolate, berat kering tajuk pada panen ke 1 dan ke 2, berat kering akar dan berat kering bintil pada *Centrocema pubescens* pada tanah latosol

Perlakuan	Jumlah daun trifoliat	Berat kering tajuk ke 1 (g)	Berat kering tajuk ke 2 (g)	Berat kering akar (g)	Berat kering bintil (g)
Kontrol	26.0 ab	1.7 ab	2.99	1.12 ab	0.0322
M	32.0 a	2.5 a	3.08	1.14 ab	0.0366
MR	31.8 a	2.5 a	2.78	0.83 bc	0.0421
MH	17.6 b	1.3 b	3.02	0.82 bc	0.0444
MP	29.8 a	2.4 a	2.01	1.20 a	0.0459
MPR	30.2 a	2.3 a	2.38	0.54 c	0.0209
MPRH	27.5 ab	1.9 ab	3.00	0.71 c	0.0221

Tabel 7. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun trifoliolate, pertambahan tinggi vertikal, berat kering tajuk pada panen ke 1 dan kolonisasi akar pada *Centrocema pubescens* pada tailing tambang emas

Perlakuan	Jumlah daun trifoliat	Tinggi vertikal (cm)	Berat kering tajuk (g)	Berat kering akar (g)	Kolonisasi akar (%)
Kontrol	1.25 b	- 0.25 b	0.00	0.00	4.00 b
M	8.20 ab	5.15 b	0.77	0.33	22.10 ab
MR	12.25 ab	3.64 b	0.74	0.30	21.75 ab
MH	14.88 a	18.79 a	0.84	0.38	10.70 b
MP	8.60 ab	6.30 b	0.68	0.23	28.10 ab
MPR	14.10 a	6.86 b	1.18	0.43	37.90 a
MPRH	11.90 ab	10.42 ab	0.81	0.23	41.80 a

Tabel 8. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, tinggi vertikal, berat kering tajuk pada panen ke 1 dan 2 tanaman *Panicum maximum* pada tanah latosol

Perlakuan	Jumlah Anakan panen ke 1	Berat kering tajuk panen ke 1 (g)	Jumlah Anakan panen ke 2	Berat kering tajuk panen ke 2 (g)	Berat kering akar	Kolonisasi (%)
Kontrol	5.0	6.48	6.0 ab	8.10 ab	5.08 ab	23.6
M	6.0	7.88	7.0 a	9.28 a	6.62 a	23.6
MA	6.8	6.84	6.0 ab	9.60 a	4.90 ab	31.6
MH	5.6	6.54	4.6 ab	6.56 bc	2.78 b	10.8
MP	4.4	7.34	4.4 ab	7.50 abc	4.70 ab	25.6
MPA	5.0	6.44	2.0 b	5.48 c	3.80 ab	17.0
MPAH	6.4	6.54	8.4 a	8.30 ab	5.24 ab	18.0

Tanaman *Panicum maximum*

Hasil analisis ragam pada tanah latosol menunjukkan penambahan pupuk biologis memberikan pengaruh yang nyata ($P < 0.05$) pada peubah jumlah anakan pada panen ke dua, berat kering tajuk panen ke dua, dan berat kering akar, sedangkan jumlah anakan dan berat kering tajuk panen ke satu dan persentase kolonisasi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hasil uji lanjut dengan Duncan dapat dilihat pada Tabel 8, menunjukkan bahwa perlakuan M, MPAH, dan MA

berturut-turut memberikan hasil yang terbaik terhadap peubah jumlah anakan, berat kering tajuk dan berat kering akar pada panen ke dua.

Hasil analisis ragam pada tailing tambang emas menunjukkan penambahan pupuk biologis memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($P < 0.05$) terhadap peubah berat kering tajuk panen ke satu dan dua, berat kering akar, akan tetapi tidak berbeda nyata terhadap peubah jumlah anakan panen ke satu dan dua, dan persentase kolonisasi. Hasil uji lanjut menunjukkan perlakuan MPAH dan MPA memberikan respon yang terbaik terhadap peubah berat kering

tajuk panen ke 1 dan ke 2 serta berat kering akar (Tabel 9).

Tanaman rumput *Setaria splendida*

Hasil analisis ragam pada tanah latosol menunjukkan penambahan pupuk biologis memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($P < 0.05$) terhadap peubah jumlah anakan panen ke 1 dan ke 2 pertambahan tinggi vertikal, dan berat kering tajuk panen kedua serta persentase kolonisasi, sedangkan pada peubah berat kering tajuk panen ke satu dan berat kering akar tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hasil uji lanjut dapat di lihat pada Tabel 10, menunjukkan perlakuan MA, MPAH, MPA memberikan respon yang terbaik pada jumlah anakan panen kedua, berat kering tajuk panen ke dua, sedangkan perlakuan kontrol menunjukkan respon yang rendah.

Hasil analisis ragam pada tailing tambang emas menunjukkan bahwa penambahan pupuk biologis memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($P < 0.05$) terhadap peubah jumlah anakan panen kedua, berat kering tajuk panen ke dua, berat kering akar dan persentase kolonisasi. Hasil uji lanjut belyang dapat di lihat pada Tabel 11, menunjukkan perlakuan

MPAH, MH dan MA berturut-turut memberikan respon yang terbaik pada peubah jumlah anakan panen kedua, berat kering tajuk panen kedua, berat kering akar dan persentase kolonisasi dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Perlakuan kontrol yang merupakan perlakuan tanpa pemberian pupuk biologis menunjukkan respon yang paling terendah.

Pengujian formulasi baru Mycofer pada lahan pasca penambangan emas pada skala Lapang

Tanaman Leguminosa

Hasil analisis ragam pada tanaman *Pueraria phaseoloides* menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0.01$) terhadap perlakuan teknologi dan berbeda nyata ($P < 0.05$) pada interaksi antara perlakuan mikroba dengan teknologi, sedangkan perlakuan mikroba tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Dapat di lihat pada Tabel 12. Hasil uji lanjut menunjukkan interaksi yang tertinggi perlakuan P3T3 yaitu perlakuan mikoriza dan Rhizobium (P3) dengan teknologi hidro seeding (T3) tidak berbeda nyata dengan perlakuan P1T3, sedangkan dengan perlakuan yang lain berbeda nyata. Pada tanah tailing tambang emas

Tabel 9. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, tinggi vertikal, berat kering tajuk pada panen II pada *Panicum maximum* pada tailing tambang emas

Perlakuan	Jumlah Anakan panen ke 1	Berat kering tajuk panen ke 1	Jumlah Anakan panen ke 2	Berat kering tajuk panen ke 2	Berat kering akar	Kolonisasi (%)
Kontrol	0.2	0.22 b	0.4	1.65 bc	2.06	9.4 b
M	0.8	0.42 b	1.0	1.74 bc	1.74	10.6 b
MA	0.5	0.48 b	0.8	1.38 c	1.46	8.2 b
MH	0.6	0.70 ab	0.6	2.96 ab	1.88	13.8 b
MP	0.0	0.33 b	0.3	1.45 c	1.13	7.6 b
MPA	0.2	1.04 a	0.4	3.24 a	2.22	19.4 ab
MPAH	0.2	1.04 a	1.4	3.26 a	2.24	30.2 a

Tabel 10. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, tinggi vertikal, berat kering tajuk pada panen 1 dan 2 pada *Setaria splendida* pada tanah latosol

Perlakuan	Jumlah Anakan panen ke 1	Berat kering tajuk panen ke 1	Jumlah Anakan panen ke 2	Tinggi vertikal	Berat kering tajuk panen ke 2	Berat kering akar	Koloni sasi (%)
Kontrol	5.8 a	6.32	4.6 ab	6.3 bc	10.3 b	13.94	5.0 b
M	5.0 ab	6.56	4.6 ab	6.8 abc	11.0 ab	12.30	35.2 a
MA	3.6 b	7.42	4.0 b	7.2 ab	12.2 a	16.1	31.2 a
MH	4.2 ab	7.92	4.6 ab	6.1 c	10.7 b	12.98	26.6 ab
MP	5.4 a	7.04	4.6 ab	7.3 a	11.4 ab	13.90	29.6 a
MPA	4.8 ab	8.20	5.0 ab	6.7 abc	11.5 ab	15.32	32.8 a
MPAH	5.0 ab	7.40	5.4 a	6.8 abc	11.4 ab	18.1	37.6 a

Tabel 11. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun, pertambahan tinggi vertikal, berat kering tajuk pada panen 1 dan 2 pada *Setaria splendida* pada tailing tambang emas

Perlakuan	Jumlah Anakan panen ke 1	Berat kering tajuk panen ke 1	Jumlah Anakan panen ke 2	Tinggi vertikal	Berat kering tajuk panen ke 2	Berat kering akar	Koloni sasi (%)
Kontrol	0.20	1.00	1.20 b	6.41	2.96 b	2.44 b	13.6 b
M	0.75	1.05	2.60 ab	4.19	4.30 ab	2.80 b	21.0 ab
MA	0.60	1.32	2.00 ab	4.47	4.86 ab	3.90 ab	21.0 ab
MH	1.40	1.08	1.60 ab	5.88	4.86 ab	5.08 a	47.4 a
MP	1.20	0.90	2.60 ab	5.89	4.28 ab	2.98 b	25.0 ab
MPA	0.60	0.88	2.20 ab	6.16	3.56 ab	3.16 ab	31.6 ab
MPAH	0.80	1.22	3.25 a	3.71	6.38 a	3.78 ab	45.2 a

Keterangan:

1. M=Mycofer, MA=Mycofer+Azospirillum, MH=Mycofer+asam humik, MP=Mycofer+MPP, MPA=Mycofer+MPP+ Azospirillum, MPAH=Mycofer+MPP+ Azospirillum + asam humik.
2. Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang berbeda pada baris yang berbeda menunjukkan beda nyata ($P < 0.05$) dengan Uji Duncan.

Tabel 12. Pengaruh perlakuan terhadap berat segar tajuk pada *Pueraria phaseoloides* pada lahan pasca penambangan emas

Perlakuan	P1	P2	P3	P4	Rataan
T1	634.5 cd	720.6 bcd	281.9 d	1073.6 bcd	677.7 B
T2	1236.9 bcd	796.4 bcd	629.1 cd	619.4 cd	820.5 B
T3	1767.8 ab	1266.4 bcd	2596.2 a	1393.1 bcd	1755.9 A
Rataan	1213.1	927.8	1169.1	1028.7	

Tabel 13. Pengaruh perlakuan terhadap berat segar tajuk pada *Centrocema pubescens* pada lahan pasca penambangan emas

Perlakuan	P1	P2	P3	P4	Rataan
T1	1098.2 BC	2017.7 A	534.6 CDE	1063.2 BCD	1178.4 A
T2	434.9 E	777.5 BCDE	303.1 E	693.5 BCDE	552.3 B
T3	460.4 CDE	1136.6 BC	1201.6 B	713.2 BCDE	627.9 B
Rataan	664.5 B	1310.6 A	679.9 B	823.3 AB	

mengandung cukup tinggi logam berat Pb dan Cu, perlakuan dengan menggunakan teknologi hidro seeding (T3) membantu dalam penyerapan logam berat (Pb dan Cu) dan perlakuan P3 yaitu Rhizobium membantu penyediaan N dan mikoriza membantu didalam penyerapan serta translokasi nutrien P dan N, hal ini sejalan dengan penelitian tahun pertama. Teknologi hidro seeding menggunakan bahan organik seperti mulsa, pupuk kandang ayam yang telah difermentasi dan asam humik. Bahan organik seperti mulsa dan pupuk kandang ayam menghasilkan asam organik yang mampu menyerap logam berat, sedangkan asam humat adalah hasil ekstraksi bahan organik yang

telah terlapuk oleh mikroba dekomposer mempunyai nilai kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi (dapat mencapai 500 me/100 gram) yang mampu menyerap logam berat. Teknologi T3 mengandung pupuk kandang ayam yang mengandung unsur N yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan pupuk kandang sapi yang merupakan perlakuan T1 (SOP dari tambang emas PT Aneka Tambang di Pongkor). Tanaman ini menunjukkan kurang begitu tahan apabila ditanam pada lahan bekas tambang emas bila tidak dilakukan dengan penambahan mikroba dan teknologi hidro seeding.

Hasil analisis ragam pada tanaman *Centrocema pubescens* menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0.01$) terhadap perlakuan teknologi, mikroba dan interaksi antara perlakuan mikroba dengan teknologi, dapat di lihat Pada Tabel 13. Hasil uji lanjut menunjukkan interaksi yang tertinggi perlakuan P2T1 yaitu perlakuan mikoriza (P2) dengan SOP Tambang emas (1) dan interaksi yang paling terendah adalah perlakuan P1T2 yaitu perlakuan tanpa mikroba (P1) dengan teknologi pembenah tanah (T2). Pada tanah tailing tambang emas mengandung cukup tinggi logam berat Pb dan Cu, perlakuan dengan menggunakan SOP tambang emas (T1) membantu dalam penyerapan logam berat (Pb dan Cu) dan perlakuan P2 yaitu mikoriza membantu

kedaerah rhizosphere, atau di daerah sitoplasma pada sistem perakaran kemudian mengikat logam berat dalam bentuk yang tidak tersedia dan disimpan di dalam vakuola. Apabila kadar logam berat dalam tinggi, kemungkinan dapat lolos dalam sistem perakaran dan akan terserap sampai ke tajuk tanaman, mekanisme penyerapan akan dilakukan di sitoplasma pada jaringan daun kemudian akan disimpan dalam vakuola (Karti, 2003). Mekanisme yang lain yang dapat terjadi yaitu teknologi yang diterapkan mampu menyerap logam berat. Dengan pemberian bahan organik seperti pupuk kandang, mulsa, dan asam humat mampu menyerap logam berat, karena bahan organik mampu melepaskan asam organik yang berfungsi didalam penyerapan

Tabel 14. Pengaruh perlakuan terhadap berat segar tajuk pada *Calopogonium mucunoides* pada lahan pasca penambangan emas

Perlakuan	P1	P2	P3	P4	Rataan
T1	3568.5	2391.0	4554.3	3082.9	3399.2
T2	3767.2	3385.9	3494.7	5056.5	3926.1
T3	3626.1	3805.3	2915.5	5265.2	3903.0
Rataan	3553.9	3194.1	3554.8	4468.2	

Tabel 15. Pengaruh perlakuan terhadap berat segar tajuk pada tiga jenis leguminosa (*Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubecens*, *calopogoniummucunoides*) pada lahan pasca penambangan emas

	P1	P2	P3	P4	Rataan
T1	5301.3	5129.3	5370.8	5219.7	5255.3
T2	5438.9	4960.1	4426.8	5518.6	5093.6
T3	5854.3	6208.3	6713.3	7371.4	6536.8
Rataan	5531.5	5432.6	5503.6	6036.6	

didalam penyerapan serta translokasi nutrien P, hal ini sejalan dengan penelitian tahun pertama yaitu pada perlakuan mikroba tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Pada tanaman ini terlihat bahwa tanaman ini cukup toleran. Tanaman ini hanya membutuhkan pupuk kandang sapi untuk menyerap logam berat, sedangkan untuk perlakuan mikroba hanya mikroriza yang diperlukan. Kebutuhan N dan P sudah dapat dipenuhi oleh tanaman ini

Hasil analisis ragam tidak menunjukkan perbedaan terhadap perlakuan teknologi, mikroba maupun interaksi antara perlakuan mikroba dengan teknologi. Dapat lihat pada Tabel 14. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman *Calopogonium mucunoides* toleran terhadap cekaman logam berat yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Tanaman ini mampu mengatasi cekaman logam berat melalui mekanisme pengeluaran asam organik

logam berat tersebut. Jenis bahan organik yang diberikan akan berpengaruh terhadap efektivitas penyerapan, karena jumlah asam organik yang dihasilkan berbeda pada setiap jenis bahan organik (Karti, 2003).

Hasil analisis ragam menunjukkan perbedaan yang tidak nyata terhadap perlakuan teknologi, mikroba dan interaksi antara perlakuan teknologi dan mikroba, pada tiga jenis leguminosa (*Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubecens*, *calopogoniummucunoides*), dapat di lihat pada Tabel 15. Tidak berbeda nyata pada ketiga jenis leguminosa (*Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubecens*, *calopogoniummucunoides*) terhadap biomassa disebabkan pada tanaman *Calopogonium mucunoides* yang tidak berbeda nyata karena tanaman tersebut termasuk yang toleran terhadap logam berat yang cukup tinggi, dan biomasnya

hampir 60 % dibandingkan dengan *Pueraria phaseoloides*, dan *Centrosema pubescens*. Dilihat dari Tabel 18 terlihat perlakuan yang tertinggi biomassanya adalah T3P4 yaitu perlakuan teknologi hidro seeding (T3) dengan perlakuan mikroba lengkap (7371.4 g) lebih tinggi 28 % bila dibandingkan

dapat di lihat pada Tabel 16. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa perlakuan P3 yaitu perlakuan Mikoriza dan Azospirillum sangat berbeda nyata ($P < 0.01$) dengan perlakuan P2 dan P1, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan P4. Azospirillum mampu menyediakan N bagi tanaman dan Mikoriza mampu

Tabel 16. Pengaruh perlakuan terhadap berat segar tajuk pada *Setaria splendida* pada lahan pasca penambangan emas

Perlakuan	P1	P2	P3	P4	Rataan
T1	3844.5	4097.8	5256.3	7000.2	5049.7
T2	4562.0	5091.3	6827.2	6317.4	5699.5
T3	3620.3	5729.8	11080.3	7176.4	6901.7
Rataan	3958.1 B	5672.6 B	7123.9 A	6779.8 AB	

Tabel 17. Pengaruh perlakuan terhadap berat segar tajuk pada *Panicum maximum* pada lahan pasca penambangan emas

Perlakuan	P1	P2	P3	P4	Rataan
T1	261.8	350.6	251.5	267.1	260.6 b
T2	374.8	429.2	582.9	422.4	392.5 ab
T3	442.0	285.5	622.5	798.0	420.6 a
Rataan	239.2 b	336.7 ab	381.9 ab	474.1 a	

Tabel 18. Pengaruh perlakuan terhadap berat segar tajuk pada *Brachiaria humidicola* pada lahan pasca penambangan emas

Perlakuan	P1	P2	P3	P4	Rataan
T1	3010.5	5150.6	4509.3	5362.5	4508.2
T2	3635.4	5532.4	5996.0	7997.1	5790.2
T3	4437.3	7403.2	6574.9	6347.8	6190.8
Rataan	3606.7C	6028.7AB	5693.4 BC	6569.1A	

Keterangan:

P1 = control P2=Mycofer P3=Mycofer+Rhizobium, P4=Mycofer+Rhizobium+PSB T1= SOP tambang emas T2 = teknologi pembenah tanah T3 = hidro seeding

1. Angka yang diikuti oleh huruf besar pada baris yang berbeda menunjukkan beda sangat nyata ($P < 0.01$) dengan Uji Duncan
2. Angka yang diikuti oleh huruf besar pada baris yang berbeda menunjukkan beda sangat nyata ($P < 0.01$) dengan Uji Duncan

dengan perlakuan T1P1, lebih tinggi 26 % bila dibandingkan perlakuan T2P1, dan 20.5 % bila dibandingkan dengan T3P1.

Tanaman Rumpuk

Hasil analisis ragam pada tanaman *Setaria splendida* menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0.01$) terhadap perlakuan mikroba, akan tetapi tidak berbeda nyata terhadap teknologi dan interaksi antara perlakuan mikroba dengan teknologi,

membantu penyerapan dan translokasi P yang diperlukan tanaman. Tanaman *Setaria splendida* memerlukan teknologi standar saja untuk dapat tumbuh di lahan pasca tambang, karena terlihat perlakuan teknologi tidak berbeda nyata dan tidak adanya interaksi. Hal ini disebabkan tanaman ini toleran terhadap logam berat yang cukup tinggi pada lahan tersebut. Kemampuan tanaman ini dapat tumbuh dengan baik karena tanaman ini mampu mengeluarkan eksudat asam organik yaitu asam oksalat dan asam sitrat ke rhizosfer, dan

mengeluarkan asam oksalat dan asam malat ke sitoplasma kemudian menyerap logam berat dan menyimpannya di vakuola baik pada jaringan akar maupun jaringan daun, sehingga tetap mampu tumbuh dengan menyerap logam berat dan mampu menyediakan P (Karti, 2003). Nutrient N dan P yang tersedia dan logam berat yang terjerap menyebabkan tanaman ini dapat tumbuh dengan baik pada lahan pasca tambang emas. Hal ini dapat di lihat pada system perakaran tanaman ini yang tidak menunjukkan perbedaan bila di tumbuhkan pada tailing tambang emas pada perlakuan tahun pertama (Gambar 1).



Gambar 1. Pengaruh perlakuan mikroba (mikoriza, azospirillum, pelarut fosfat) terhadap berat kering akar yang tumbuh di tailing tambang pasca tambang emas

Hasil analisis ragam pada tanaman *Panicum maximum* menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0.01$) terhadap perlakuan mikroba, akan tetapi tidak berbeda nyata terhadap teknologi dan interaksi antara perlakuan mikroba dengan teknologi, dapat di lihat pada Tabel 17. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa teknologi hidro seeding (T3) berbeda nyata ($P < 0.05$) dengan teknologi T1 (SOP tambang emas), tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan T2 (teknologi pembenah tanah). Perlakuan P4 yaitu mikoriza, azospirillum dan mikroorganisme pelarut fosfat memberikan hasil terbaik, dan berbeda nyata ($P < 0.05$) dengan P1 (control), akan tetapi tidak berbeda dengan perlakuan T2 dan T3. Tanaman *Panicum maximum* termasuk kedalam tanaman yang peka terhadap logam berat, dilihat dari hasil biomassa yang rendah dan kondisi tanaman dilapangan yang cukup banyak

kematian. Tanaman ini dapat tumbuh apabila diberikan teknologi hidro seeding (T3) untuk menyerap logam berat dan teknologi mikroba lengkap untuk memenuhi kebutuhan nutrisi N dan P, serta mikoriza untuk membantu penyerapan dan translokasi P, N ke tanaman agar tumbuh dengan baik. Pada penelitian pertama terlihat tanaman dengan perlakuan kontrol sistem perakarannya terhambat bila dibandingkan dengan perlakuan yang ditambahkan mikroba yaitu mikoriza, azospirillum dan mikroorganisme pelarut fosfat, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh mikroorganisme (mikoriza, azospirillum, mikroorganisme pelarut fosfat dan asam humat) terhadap berat kering akar *Panicum maximum*

Hasil analisis ragam pada tanaman *Brachiaria decumbens* menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($P < 0.01$) terhadap perlakuan mikroba, akan tetapi tidak berbeda nyata terhadap teknologi dan interaksi antara perlakuan mikroba dengan teknologi, dapat di lihat pada Tabel 17. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa perlakuan mikroba P4 yaitu mikoriza, azospirillum dan mikroorganisme pelarut fosfat memberikan hasil yang tertinggi berbeda sangat nyata ($P < 0.01$) terhadap perlakuan P3 dan P1, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan P2. Tanaman ini termasuk tanaman yang cukup toleran terhadap logam berat karena pengaruh pengaruh perlakuan teknologi dan interaksinya dengan mikroba tidak menunjukkan perbedaan berarti tanaman tersebut mampu menyerap logam berat tersebut sehingga tidak tersedia dan akhirnya tidak mengganggu pertumbuhan tanaman. Tanaman ini memerlukan azospirillum untuk dapat menyediakan N dan memerlukan mikroorganisme pelarut fosfat untuk melarutkan fosfat dan mikoriza untuk membantu penyerapan dan translokasi nutrisi N dan P. Tanaman ini masih lebih rendah ketahanannya terhadap logam berat bila dibandingkan dengan tanaman *Setaria splendida*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

▪ Media tanam tanah latosol

Perlakuan MA pada tanah latosol pada tanaman jagung, memberikan hasil yang terbaik pada peubah berat kering tajuk, berat kering akar dan berat kering tongkol jagung, kemudian diikuti dengan perlakuan MP dan MH. Perlakuan M dan MP memberikan jumlah daun trifoliolate yang terbanyak dibandingkan dengan perlakuan lain pada tanah latosol tanaman leguminosa *Pueraria phaseoloides*, sedangkan berat kering tajuk yang tertinggi nilainya adalah perlakuan MP yang diikuti dengan perlakuan M, MR. Perlakuan M, MR dan MP pada tanah latosol tanaman leguminosa *Centrosema pubesens* memberikan hasil yang terbaik untuk peubah jumlah daun trifoliolate, berat kering tajuk panen ke satu dan berat kering akar. Perlakuan M, MPAH, dan MA pada tanah latosol pada tanaman rumput *Panicum maximum* berturut-turut memberikan hasil yang terbaik terhadap peubah jumlah anakan, berat kering tajuk dan berat kering akar pada panen ke dua. Perlakuan MA, MPAH, MPA pada tanah latosol pada tanaman rumput *Setaria splendida* memberikan respon yang terbaik pada jumlah anakan panen kedua, berat kering tajuk panen ke dua, sedangkan perlakuan kontrol menunjukkan respon yang rendah. Secara umum pada tanah latosol untuk semua jenis tanaman membutuhkan pupuk biologis bagi pertumbuhannya. Secara umum ke lima jenis tanaman tersebut membutuhkan pupuk hayati tidak secara tunggal, akan tetapi membutuhkan konsorsium dari beberapa jenis mikroorganisme dan hasilnya akan lebih baik bila dikombinasikan dengan pemberian asam humat.

Tanah latosol mempunyai kendala bagi pertumbuhan tanaman yaitu pH yang masam, kadar C organik rendah dengan kandungan P, N, K, Ca, Mg yang tersedia rendah, akan tetapi kadar P dan K potensial sangat tinggi. Penambahan pupuk biologis yaitu Mikroorganisme Penambat Nitrogen diharapkan membantu menyediakan unsur hara Nitrogen melalui fiksasi N_2 , sehingga salah satu kendala pada tanah latosol yaitu ketersediaan unsur N dapat teratasi. Mikroorganisme pelarut fosfat akan membantu pelarutan unsur hara P, dimana kendala pada tanah latosol yang mempunyai pH masam akan mengikat unsur P. Melalui pelepasan asam organik, mikroorganisme tersebut dapat melarutkan P yang terikat oleh mineral anorganik seperti Al, Fe atau Mn (Anas *et al.*, 2002). Selain itu perlakuan dengan penambahan asam humat memberikan respon pertumbuhan yang baik. Asam humat merupakan

pembenah tanah dapat membantu tanaman dalam penyediaan unsur hara yang kontinyu melalui penyerapan unsur hara yang esensial bagi tanaman, yang kemudian akan dilepaskan melalui pertukaran unsur hara dengan tanaman (Tisdale, 1990). Adanya fungi mikoriza arbuskula (FMA) unsur-unsur hara yang telah tersedia akan dibantu penyerapannya dengan cepat melalui hifa eksternal dan internal sehingga tanaman akan selalu tercukupi unsur hara yang diperlukan oleh tanaman bagi pertumbuhannya (Karti, 1999). Terjaminnya ketersediaan unsur hara bagi tanaman karena adanya penambahan pupuk biologis dan pembenah tanah asam humat, akan dapat membantu mengatasi kendala pada tanah latosol.

▪ Media tanam tailing

Perlakuan MPAH memberikan respon yang terbaik pada peubah jumlah daun, pertambahan tinggi vertikal, berat kering tajuk, berat kering akar dan persentase kolonisasi pada tailing tambang emas tanaman jagung, kemudian diikuti dengan perlakuan MH dan MP. Perlakuan MR pada tailing tambang emas pada tanaman leguminosa *Pueraria phaseoloides* memberikan pengaruh yang terbaik pada peubah pertambahan tinggi vertikal dan berat kering tajuk, sedangkan peubah berat kering akar menduduki posisi yang ke dua. Perlakuan MP memberikan respon yang terbaik pada berat kering akar. Perlakuan MH dan MPR pada tanah tailing tambang emas pada tanaman *Centrosema pubesens* memberikan pengaruh yang terbaik jumlah daun trifoliolate, pertambahan tinggi vertikal dan persentase kolonisasi, Perlakuan MPAH dan MPA pada tailing tambang emas pada tanaman rumput *Panicum maximum* memberikan respon yang terbaik terhadap peubah berat kering tajuk panen ke satu dan ke dua, serta berat kering akar. Perlakuan MPAH, MH dan MA pada tailing tambang emas pada tanaman rumput *Setaria splendida* berturut-turut memberikan respon yang terbaik pada peubah jumlah anakan panen kedua, berat kering tajuk panen kedua, berat kering akar dan persentase kolonisasi

Secara umum pada tailing tambang emas untuk semua jenis tanaman membutuhkan pupuk biologis bagi pertumbuhannya. Kendala yang dihadapi bagi pertumbuhan tanaman pada tailing tambang emas yaitu pH yang alkalis, dengan kadar C organik sangat rendah dan unsur hara makro seperti N, P, K, Mg yang tersedia sangat rendah. Akan tetapi kadar P dan K potensialnya tinggi. Kadar Ca juga tinggi, yang dapat mempengaruhi ketersediaan P. Nilai KTK sangat rendah yang akan mempengaruhi pertukaran unsur hara bermuatan positif, yaitu unsur

hara mikro seperti Fe, Cu, Zn dan Mn yang merupakan mineral esensial bagi tanaman.

Penambahan pupuk biologis seperti mikroorganisme penambat nitrogen dan mikroorganisme pelarut fosfat akan dapat membantu penyediaan unsur hara N dan P yang rendah ketersediaannya pada tanah tailing. FMA akan membantu proses penyerapan unsur hara sehingga tersedia bagi tanaman secara terus menerus, sehingga tanaman dapat tumbuh lebih baik (Karti, 1999). Asam humat yang merupakan pembenah tanah akan membantu dalam penyediaan unsur hara secara simultan. Karena asam humik dapat membantu penyerapan unsur hara, yang kemudian akan mudah dilepaskan apabila tanaman membutuhkan melalui proses pertukaran. Selain itu asam humat dapat membantu untuk mengkelat logam berat yang umumnya tinggi kadarnya pada lahan pasca penambangan, sehingga ketersediaannya menurun dan akhirnya tanaman dapat tumbuh dengan normal (Tisdale, 1990). Tersedianya unsur hara secara kontinyu akan dapat meningkatkan proses fotosintesis, sehingga indikator pertumbuhan seperti jumlah daun, pertambahan tinggi vertikal menjadi lebih tinggi. Meningkatnya proses fotosintesis juga dapat mengakibatkan peningkatan berat kering tajuk dan berat kering akar. Pada lahan pasca penambangan terlihat pertumbuhan tanaman lebih rendah bila dibandingkan pada tanah latosol, sehingga penambahan pupuk biologis dengan macam-macam jenis mikroorganisme diperlukan.

▪ Tanaman Leguminosa

Tanaman *Pueraria phaseoloides* memberikan respon yang terbaik pada perlakuan T3P3 untuk dapat tumbuh lebih baik yaitu memerlukan teknologi hidroseeding yaitu terdiri dari pupuk kandang ayam, mulsa, asam humat (T3) dan perlakuan mikroba Azospirillum dan Mikoriza.

Tanaman *Centrosema pubescens* memberikan respon yang terbaik pada perlakuan T1P2 untuk dapat tumbuh lebih baik yaitu memerlukan penambahan mikoriza (P2) dan teknologi standar (T1) yaitu hanya dengan pemberian pupuk kandang sapi. Tanaman *Calopogonium mucunoides* memberikan nilai yang terbaik pada perlakuan T3P4 tapi pada tanaman ini tidak menunjukkan perbedaan yang nyata baik pada perlakuan teknologi ataupun mikroba maupun interaksinya.

Tanaman *calopogonium mucunoides* merupakan tanaman yang toleran terhadap logam berat karena hanya memerlukan teknologi standar

yaitu penambahan pupuk kandang sapi, sedangkan penambahan mikroba tidak diperlukan untuk mendapatkan nutrisi N dan P yang rendah pada lahan pasca tambang emas di PT. Aneka Tambang di Pongkor. Pupuk kandang sapi mampu menyerap logam berat Pb dan Cu yang cukup tinggi pada lahan pasca tambang tersebut. Tanaman yang toleran umumnya mampu mengeluarkan eksudat akar dalam bentuk asam organik, apabila kadar logam berat cukup tinggi dan eksudat akar tidak mampu menyerap keseluruhan logam berat maka akan diserap oleh tanaman. Tanaman untuk menjaga kerusakan akibat logam berat tersebut maka pada jaringan akar akan menyerap logam berat tersebut dengan mengeluarkan asam organik di sitoplasma dan menyimpannya di vakuola jaringan akar dalam bentuk yang tidak tersedia. Apabila logam berat tersebut masih terlepas pada sitoplasma jaringan akar, maka logam berat akan di translokasikan ke jaringan daun. Untuk menjaga keracunan akibat logam berat tersebut maka sitoplasma pada jaringan daun mengeluarkan asam organik dan menyimpannya di vakuola jaringan daun. Begitu pula dengan tanaman *Centrosema pubescens* hanya memerlukan teknologi standar, akan tetapi memerlukan penambahan mikroba (P2) yaitu penambahan mikoriza untuk membantu penyerapan dan translokasi nutrisi yang diperlukan oleh tanaman. Tanaman *Pueraria phaseoloides* termasuk tanaman yang peka karena memerlukan teknologi hidroseeding yaitu pupuk kandang ayam, mulsa dan asam humat untuk dapat membantu menyerap logam berat Pb dan Cu yang tinggi pada lahan pasca tambang emas tersebut, dan memerlukan penambahan mikoriza dan azospirillum untuk penyediaan unsur N dan P, serta membantu penyerapan dan translokasi nutrisi N dan P. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk mereklamasi tambang emas memerlukan tambahan mikroba dan teknologi untuk menyerap logam berat dan penyediaan dan penyerapan serta translokasi nutrisi ke dalam tanaman.

▪ Tanaman Rumput

Pada tanaman *Setaria splendida* memberikan respon yang terbaik pada perlakuan P3 yaitu penambahan mikoriza dan azospirillum.

Tanaman *Panicum maximum* memberikan respon yang terbaik pada perlakuan P4 yaitu penambahan mikoriza, azospirillum dan mikroorganisme pelarut fosfat dan perlakuan T3 yaitu teknologi hidroseeding yang terdiri dari pupuk kandang ayam, mulsa dan asam humat.

Tanaman *Brachiaria humidicola* memberikan respon yang terbaik pada perlakuan P4 yaitu penambahan mikoriza, azospirillum dan mikroorganisme pelarut fosfat.

Tanaman *Setaria splendida* merupakan tanaman yang toleran terhadap logam berat Pb dan Cu yang cukup tinggi pada lahan pasca tambang emas, karena tanaman ini mampu mengeluarkan eksudat akar asam oksalat dan asam sitrat yang mampu menjerap logam berat pada daerah rhizosphere. Selain itu dapat juga mengeluarkan asam oksalat dan malat pada sitoplasma jaringan akar dan jaringan daun untuk menjerap logam berat dan menyimpannya di vakuola pada jaringan akar dan jaringan daun, sehingga tidak tersedia dan akhirnya tidak meracuni tanaman (Karti, 2003). Tanaman ini memerlukan penambahan azospirillum dan mikoriza (P3) untuk penyediaan unsur N dan penyerapan serta translokasi nutrisi N dan P. Tanaman *Brachiaria humidicola* termasuk kedalam tanaman yang toleran karena hanya memerlukan penambahan mikroba yang lengkap yaitu mikoriza, azospirillum dan mikroorganisme pelarut fosfat (P4), Azospirillum sebagai penyediaan unsur N, mikroorganisme pelarut fosfat mampu untuk melarutkan fosfat sehingga dapat tersedia serta mikoriza berfungsi dalam penyerapan serta translokasi nutrisi N dan P. Tanaman *Panicum maximum* termasuk tanaman yang peka terhadap logam berat karena memerlukan perlakuan teknologi hidro seeding (T3) yaitu pupuk kandang ayam, mulsa dan asam humat untuk menjerap logam berat Cu dan Pb. Pupuk kandang ayam selain berfungsi menjerap logam berat, dapat pula sebagai penyedia N. Mulsa berfungsi sebagai penjerap logam berat karena selama dekomposisi mulsa akan menghasilkan asam organik. Asam humat merupakan hasil ekstraksi dari bahan organik yang telah terdekomposisi oleh dekomposer dan mempunyai kapasitas tukar kation yang tinggi yang berfungsi untuk menjerap logam berat.

Tanaman yang toleran tidak memerlukan teknologi dan penambahan mikroba untuk pertumbuhan tanaman yaitu pada *Calopogonium mucunoides* dan *Setaria splendida*, *Brachiaria humidicola*, *Centrosema pubescens* hanya memerlukan penambahan mikroba yaitu perlakuan P3 dan P4 serta P2. *Pueraria phaseoloides* dan *Panicum maximum* termasuk tanaman peka karena memerlukan teknologi dan penambahan mikroba yaitu perlakuan T3P3 dan perlakuan T3P4.

KESIMPULAN

Secara umum pada tanah latosol dan tailing tambang emas untuk semua jenis tanaman membutuhkan pupuk biologis bagi pertumbuhannya. Secara umum ke lima jenis tanaman tersebut membutuhkan pupuk hayati tidak secara tunggal, akan tetapi membutuhkan konsorsium dari beberapa jenis mikroorganisme dan hasilnya akan lebih baik bila dikombinasikan dengan pemberian asam humat, baik pada tanah latosol atau tanah pasca penambangan emas. Pada lahan pasca penambangan emas terlihat pertumbuhan tanaman lebih rendah bila dibandingkan pada tanah latosol.

Tanaman yang toleran yaitu *Calopogonium mucunoides* tidak memerlukan teknologi revegetasi dan penambahan mikroba untuk pertumbuhan tanaman. *Setaria splendida*, *Brachiaria humidicola*, *Centrosema pubescens* hanya memerlukan perlakuan P3 dan P4 serta P2. *Pueraria phaseoloides* dan *Panicum maximum* termasuk tanaman peka karena memerlukan penambahan mikroba dan teknologi revegetasi yaitu perlakuan T3P3 dan perlakuan T3P4.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada: 1. Dirjen Dikti, DP2M. 2. PT. Aneka Tambang Tbk. 3. Lab. Bioteknologi Hutan Dan Lingkungan, PPSHB-LPPM. IPB. 4. Lab. Ilmu dan Teknologi Tumbuhan Pakan dan Pastura, Fapet, IPB.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, I., Widyastuti, R., Hifnalisa. 2002. Bakteri penambat nitrogen dan mikroba pelarut fosfat dari gambut Kalimantan Tengah. Agrista 6
- Karti, P.D.M.H. 1999. Pengaruh inokulasi cendawan mikoriza arbuskula pada rumput pakan terhadap pertumbuhan, produksi dan serapan P. Di dalam prosiding Seminar Nasional Mikoriza I. Bogor.
- _____. 2003. Pengaruh penggunaan bakteri penambat nitrogen, cendawan mikoriza arbuskula dan penambahan bahan organik pada *Stylosanthes guyanensis*. Prosiding Seminar Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza untuk Pertanian, Perkebunan dan Kehutanan. Bandung.

- _____. 2003. Respon morfofisiologi rumput toleran dan peka aluminium terhadap penambahan mikroorganisme dan pembenah tanah. Disertasi. Bogor: Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- _____. 2005. Pengaruh Penggunaan Bakteri Penambat Nitrogen, Cendawan Mikoriza Arbuskula dan Penambahan Bahan Organik pada *Stylosanthes guyanensis*. Media Peternakan. 25.
- Setiadi, Y. 1993. Respon pertumbuhan anakan *Paraserianthes falcataria*, *Trichospermum burretii* dan *Acacia mangium* terhadap inoculasi mikoriza arbuskula pada lahan pasca tambang nikel. Laporan Penelitian.
- _____ dan R. Prematory. 1995. Respon pertumbuhan tanaman albizia, sengon butho dan acacia terhadap inoculasi inokulum mycofer pada tanah podzolik merah kuning. [Laporan Penelitian].
- Tisdale SL, Nelson WL dan Beaton JD. 1990. Soil Fertility and Fertilizers. 4th Edition. New York: Macmillan Publishing Company.