

**RESPON MESOFAUNA TANAH TERHADAP TUMBUHAN PENUTUP TANAH  
DAN PERTANAMAN BERMIKORIZA  
PADA REVEGETASI LAHAN BEKAS TAMBANG KAPUR**

***SOIL MESOFAUNA RESPONSE TO COVER CROPS AND MYCORRHIZAL INOCULATED  
PLANTATION ON LIMESTONE QUARRY REVEGETATION***

**Retno Prayudyaningsih<sup>1,2</sup>, Eny Faridah<sup>2</sup>, Sumardi<sup>2</sup> dan Bambang Hendro Sunarminto<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar, Jl. Perintis Kemerdekaan  
Km.16,5, Makassar, 90242,

Telp. (0411) 554049, 08124185193, Email: [prayudya93@yahoo.com](mailto:prayudya93@yahoo.com)

<sup>2</sup> Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada, Jl. Teknika Selatan Bulaksumur, Yogyakarta, 55281

<sup>3</sup> Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora 1 Bulaksumur, Yogyakarta, 55281

Diterima: 26 Januari 2016; direvisi: 02 Pebruari 2016; disetujui: 29 April 2016

**ABSTRAK**

Introduksi tumbuhan penutup tanah dilanjutkan penanaman tanaman yang diinokulasi mikoriza memperbaiki tapak lahan bekas tambang kapur sehingga diduga mempercepat pemulihan lahannya. Mesofauna tanah merupakan indikator untuk menilai keberhasilan pemulihan keanekaragaman hayati, karena mereka sensitif terhadap gangguan manusia dan terlibat proses ekologi dalam pembentukan tanah. Pada penelitian ini kehadiran mesofauna tanah digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan pemulihan lahan bekas tambang kapur melalui revegetasi dengan tumbuhan penutup tanah dan pertanaman bermikoriza. Kehadiran mesofauna tanah diukur menggunakan densitas individu, keanekaragaman, kekayaan jenis dan indek nilai penting. Penelitian dilakukan pada 4 tipe areal di lahan bekas tambang kapur yaitu tanpa pertanaman, pertanaman tumbuhan penutup tanah, pertanaman tanpa mikoriza dan pertanaman bermikoriza. Hasil penelitian menunjukkan lebih tingginya densitas individu, keanekaragaman dan kekayaan jenis mesofauna tanah pada areal yang direvegetasi dengan tumbuhan penutup tanah dan tanaman bermikoriza dibanding areal yang lain merupakan indikator lebih cepatnya proses pemulihan lahan. Kehadiran famili Formicidae yang mendominasi areal revegetasi tumbuhan penutup tanah dan pertanaman bermikoriza, serta kelompok Acari hanya hadir pada areal pertanaman bermikoriza juga merupakan indikator pemulihan lahan bekas tambang kapur.

Kata kunci: mesofauna tanah, mikoriza, tumbuhan penutup tanah, keanekaragaman jenis, bahan organik tanah, lahan bekas tambang kapur

**ABSTRACT**

*Cover crops establishment followed by mycorrhizal inoculated tree plantation accelerate limestone quarry restoration. Soil mesofauna is a useful indicator for assessing biodiversity recovery, as they are sensitive to human disturbance and involved in ecological processes. In this research, soil mesofauna presence used to evaluate limestone quarry restoration by cover crops and mycorrhizal inoculated tree esatblishment. Soil mesofauna are measured using individual density, species diversity, richness and important value. The study was conducted in four types of areas on limestone postmining lands are open areas/natural conditions without planting, cover crop area, non mycorrhizal-inoculated plant area and mycorrhizal-inoculated plant area. The result showed The higher individual density, diversity and species richness of soil mesofauna on cover crops and mycorrhizal inoculated plant area than other areas are indicators of limestone quarry restoration rate. Furthermore the presence of Formicidae family that dominated on cover crops and mycorrhizal inoculated plant area, and emergence of Acari group only on mycorrhizal inoculated area also an indicator of limestone quarry restoration.*

*Key words: soil mesofauna, mycorrhiza, cover crop, species diversity, soil organic matter, limestone quarry*

**PENDAHULUAN**

Penambangan batu kapur sebagai bahan baku pembuatan semen meninggalkan lahan bekas tambang dengan karakter fisik, kimia dan biologi

tanah yang buruk. Pendekatan revegetasi merupakan salah satu upaya pemulihan lahan tersebut. Revegetasi dilakukan melalui penanaman tumbuhan penutup tanah yang dilanjutkan penanaman

tumbuhan perenial pohon. Introduksi tumbuhan penutup tanah diperlukan untuk memperbaiki kualitas tapak. Tumbuhan penutup tanah memainkan peran dalam perbaikan kualitas tanah dengan memperkaya kandungan nitrogen (N) dalam tanah, karbon organik tanah dan bahan organik tanah (Steenwert dan Belina, 2008; Nascente *et al.*, 2013).

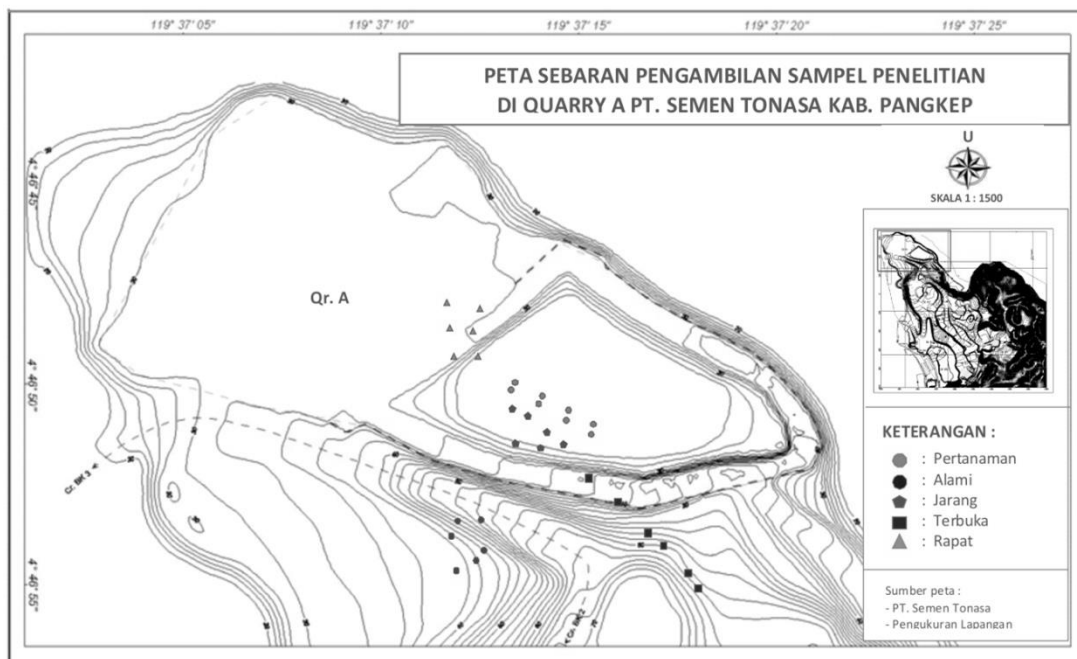
Selanjutnya kondisi tapak lahan bekas tambang kapur yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman, mengharuskan adanya input pada revegetasinya. Pemanfaatan mikroba tanah simbiotik yaitu Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) terbukti mampu meningkatkan daya hidup, pertumbuhan dan biomassa tanaman di lahan bekas tambang kapur (Singh dan Jamaluddin, 2010; Prayudyaningsih, 2011, Prayudyaningsih *et al.*, 2014). Kehadiran FMA meningkatkan kualitas tanah melalui perbaikan agregasi tanah, ketersediaan unsur hara terutama P, dan ketahanan terhadap kondisi stres air (Rillig dan Mummey, 2006; Abbaspour *et al.*, 2012; Cavagnaro *et al.*, 2015). Dengan demikian revegetasi yang diawali penanaman tumbuhan tanah dan dilanjutkan dengan tanaman perenial pohon bermikoriza diharapkan mampu mempercepat pemulihan lahan bekas tambang.

Untuk mengevaluasi keberhasilan metode pemulihan lahan diperlukan indikator yang kuat dan mudah diukur (Vallauri *et al.*, 2004). Oleh karena itu, beberapa komponen lingkungan harus dipantau, dimana tanah merupakan salah satu komponen yang strategis mengingat fungsi utamanya dalam

mendukung keseluruhan ekosistem (Menta *et al.*, 2014). Mesofauna tanah merupakan salah satu komponen tanah yang diduga merupakan indikator tepat untuk menilai keberhasilan pemulihan keanekaragaman hayati, karena mereka sensitif terhadap gangguan manusia dan terlibat dalam proses ekologi yang beragam dalam pembentukan tanah (Kumssa *et al.*, 2004). Pada lahan bekas tambang kapur, penerapan metode restorasi melalui perlakuan penaburan tanah saja menunjukkan densitas mesofauna tanah yang lebih rendah dibanding penaburan tanah yang diikuti penanaman tumbuhan penutup tanah dan pioner pohon (Andres dan Mateos, 2006). Pada penelitian ini kehadiran mesofauna tanah digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan pemulihan lahan bekas tambang kapur melalui revegetasi dengan penanaman tumbuhan penutup tanah dan tanaman perenial pohon bermikoriza.

#### METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bulan Pebruari – Juni 2014. Areal pengambilan sampel adalah lahan bekas tambang kapur PT. TNS, Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan. Areal lahan bekas tambang kapur PT. TNS yang dijadikan sebagai lokasi penelitian adalah Quarry A seluas 11 ha dan berumur 15 tahun (Gambar 1). Penelitian dilakukan pada 4 tipe lokasi yaitu areal kondisi alami/tanpa pertanaman (T0), areal tumbuhan penutup tanah/*cover crop* (T1), areal pertanaman tidak bermikoriza (T2), dan areal pertanaman bermikoriza (T3).



Gambar 1. Peta situasi lahan bekas tambang kapur Quarry A

Areal kondisi alami/tanpa pertanaman merupakan areal di lahan bekas tambang kapur Quarry A yang belum direklamasi/revegetasi. Areal pertanaman bermikoriza dan tanpa mikoriza merupakan plot penelitian yang dibangun sejak tahun 2010. Demplot tersebut merupakan kerjasama antara Balai Penelitian Kehutanan Makassar dengan PT. TNS. Perbedaan antara kedua areal tersebut adalah ada atau tidaknya perlakuan inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) pada tanamannya saat penyiapan bibit. Areal *cover crop* merupakan bagian dari areal pertanaman bermikoriza dan tidak bermikoriza.

Areal *cover crop* dipilih karena pada awal pembentukan areal pertanaman bermikoriza dan tidak bermikoriza, areal tersebut ditanami lebih dulu dengan tanaman legum *cover crop* yang bertujuan untuk memberikan pra kondisi agar tidak terjadi kekahatan unsur N dan membentuk iklim mikro di dalam tanah. Areal pertanaman bermikoriza dan tanpa mikoriza, selain ditanami *legume cover crop* (*Centrosema pubescens*), juga ditanami jenis sere awal/pionir tingkat pohon (*Sesbania sericea*) dan jenis sere lanjut (*Vitex cofassus*). Namun sejak tahun 2011, *S. sericea* mengalami kematian. Dengan demikian kondisi areal pertanaman bermikoriza dan tanpa mikoriza berupa *C. pubescens* sebagai *cover crop* dan *V. cofassus* sebagai sere lanjut (umur 3 tahun).

Bahan penelitian yang digunakan adalah sampel tanah. Bahan untuk pengambilan sampel tanah adalah kantong plastik, dan karet gelang. Alat-alat penelitian yang digunakan antara lain adalah alat untuk pengambilan sampel tanah (sekop tanah, pisau, mistar, gunting stek dan *ice box* atau *container*), dan corong *Barlese Tullgreen* yang telah dimodifikasi untuk ekstraksi mesofauna tanah.

## Prosedur

### Pengambilan sampel tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan membuat plot berukuran 20 x 20 cm (Koehler dan Meleceis, 2010) di dalam plot 10 x 10 m untuk areal T0, T2 dan T3, dan di plot 2 x 2 m untuk areal T1. Pembuatan plot-plot 10 x 10 m dalam setiap tipe areal dilakukan secara sistematis dengan jalur dimana penentuan titik awal plot secara acak (*systematic with random start*). Peletakan subplot 20 x 20 cm adalah pada 4 titik di sudut plot 10 x 10 m dan 1 titik dari perpotongan garis diagonal plot. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0 – 20 cm. Sampel tanah tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam kantong

plastik, diberi label dan kemudian dilakukan pengompositan sesuai subplotnya di laboratorium.

### Pengamatan dan pengambilan data

Pengamatan mesofauna tanah dilakukan dengan metode ekstraksi tanah menggunakan corong *Barlese Tullgren* (Veeresh dan Rajagopal, 1983; Meyer, 1995; Andres dan Mateos, 2006) yang dimodifikasi. Sampel mesofauna yang diperoleh selanjutnya diidentifikasi, dihitung jumlah individu dan jenisnya. Identifikasi dilakukan sampai tingkat famili, namun apabila pada sampel spesimen tertentu tidak memungkinkan sampai famili, maka cukup sampai pada tingkat bangsa. Identifikasi mengacu pada pada Borrer *et al.* (1997).

### Analisis data

Data mesofauna tanah yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengetahui densitas (K), indeks keanekaragamannya ( $H'$ ), kekayaan jenis (R) dan Indeks Nilai Penting jenis (INP). Densitas merupakan jumlah individu jenis  $i$  per satuan luas area (Mueller-Dombois dan Ellenberg, 1974; Krebs, 1972). Indeks keanekaragaman ( $H'$ ) dianalisis menggunakan rumus dari Shannon dan Wiener (1949) dalam Krebs (1972). Kekayaan jenis (R) dianalisis menggunakan rumus dari Margalef (Ludwig dan Reynolds, 1988). Nilai penting merupakan penjumlahan dari kerapatan relatif dan frekuensi relatif (Mueller-Dombois dan Ellenberg, 1974; Krebs, 1972).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan revegetasi melalui penanaman tumbuhan penutup tanah dan tanaman yang diinokulasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada lahan bekas tambang kapur menciptakan kondisi tapak yang lebih baik dibanding tanpa pertanaman (tanpa revegetasi), sehingga mempercepat pemulihan lahannya (Prayudyaningsih *et al.*, 2015). Kehadiran mesofauna tanah merupakan salah satu indikator perbaikan kondisi tapak bekas tambang kapur. Mesofauna tanah cepat merespon perubahan habitat tanah dan berguna sebagai bioindikator kerusakan habitat dan kualitas tanah. Bahkan perubahan fauna tanah dapat dideteksi sebelum perubahan fisik dan kimia tanah, sehingga membuat fauna tanah sebagai indikator yang berguna untuk menilai keberhasilan kegiatan reklamasi (Battigelli, 2011). Selanjutnya Andres dan Mateos (2006) menyatakan Arthropoda tanah merupakan indikator efisien untuk kematangan ekosistem dan dapat digunakan dalam perencanaan konservasi dan pemantauan reklamasi lahan.

Kehadiran fauna tanah berdasarkan densitas, keanekaragaman dan distribusinya sangat penting sebagai indikator biologi kesehatan tanah dan memantau perubahan pada ekosistem yang terganggu (Battigelli, 2011) seperti lahan bekas tambang kapur.

Perbaikan kondisi tapak lahan bekas tambang kapur sebagai dampak reklamasi lahan bekas tambang kapur melalui pendekatan revegetasi dengan tumbuhan penutup tanah (T1) dan penanaman bermikoriza (T3) mempengaruhi kehadiran fauna tanah yang merupakan indikator pemulihan lahan. Densitas, keanekaragaman dan kekayaan jenis mesofauna tanah di lahan bekas tambang kapur dipengaruhi oleh perlakuan pada kegiatan reklamasinya. Reklamasi lahan bekas tambang kapur melalui pendekatan revegetasi dengan penanaman tumbuhan penutup tanah meningkatkan kehadiran mesofauna tanah (Tabel 1). Selanjutnya kehadiran mesofauna tanah lebih meningkat melalui revegetasi dengan penanaman tanaman bermikoriza. Areal penanaman bermikoriza (T3) menunjukkan nilai densitas, keanekaragaman dan kekayaan jenis mesofauna tanah tertinggi diikuti areal *cover crop* (T1), tanpa penanaman (T0) dan penanaman tanpa mikoriza (T2) (Tabel 1). Reklamasi lahan secara signifikan mempengaruhi densitas dan struktur komunitas mesofauna tanah (Battigelli, 2011). Rehabilitasi pada kawasan pesisir terbukti meningkatkan regenerasi komunitas mesofauna tanah (Kumssa *et al.*, 2004).

Tabel 1. Densitas individu per m<sup>2</sup>, indeks keanekaragaman dan indeks kekayaan jenis mesofauna tanah di lahan bekas tambang kapur

Areal	Densitas (K)	Indeks Keanekaragaman (H)	Indeks Kekayaan Jenis (R)
T0	937,5	0,60	0,73
T1	1781,25	1,16	1,60
T2	781,25	0,50	0,60
T3	<b>4031,25</b>	<b>1,77</b>	<b>1,71</b>

Keterangan : T0 (areal kondisi alami), T1 (*areal cover crop*), T2 (areal penanaman tanpa mikoriza), dan T3 (areal penanaman bermikoriza)

Akumulasi dan ketersediaan bahan organik berkorelasi dengan densitas, keanekaragaman dan kekayaan jenis mesofauna tanah (Kumssa *et al.*, 2004; Zeppelini *et al.*, 2009; Battigelli, 2011). Lebih tingginya densitas, keanekaragaman dan kekayaan jenis mesofauna pada areal yang ditanami tumbuhan penutup tanah dan tanaman bermikoriza berkaitan dengan tingginya kandungan bahan organik dan

ketebalan seresah pada areal tersebut. Lapisan tumbuhan penutup tanah (*C. pubescen*) yang telah berkembang menunjukkan indikasi kontribusinya terhadap perbaikan kondisi tanah. Kontribusi yang paling terlihat berupa terbentuknya lapisan seresah setebal 1,08 cm atau sebanyak 188,96 g per m<sup>2</sup> pada permukaan tanah di areal T1 (Prayudyansih *et al.*, 2015). Peran lebih lanjut terhadap pemulihan kondisi tanah ditunjukkan oleh peningkatan kadar karbon organik dalam tanah di bawah lapisan tumbuhan penutup tanah. Tanaman *cover crop* mempengaruhi bahan organik tanah (Steenwerth dan Belina, 2008). Selanjutnya Ding *et al.* (2006) dan Nascente *et al.* (2013) menyatakan bahwa penggunaan tanaman *cover crop* meningkatkan kadar karbon organik tanah. Kehadiran mesofauna tanah juga mempengaruhi kandungan bahan organik tanah. Komunitas fauna tanah penting dalam proses pembentukan tanah karena mereka mempengaruhi distribusi dan laju dekomposisi bahan organik (Frouz *et al.*, 2006).

Pertanaman bermikoriza menghasilkan seresah dengan ketebalan dan biomasa tinggi sehingga menyumbangkan bahan organik yang lebih banyak juga (Prayudyansih *et al.*, 2015). Menurut Nadporozhskaya *et al.* (2006), akumulasi karbon dalam bahan organik memacu proses pembentukan tanah pada semua ekosistem hutan. Menurut Kumsaa *et al.* (2004), mikroarthropoda juga membantu dekomposisi bahan organik, pembentukan struktur tanah, penyebaran spora fungi mikoriza dan menjadi bagian dari rantai makanan.

Pemulihan lahan bekas tambang kapur yang lebih cepat pada areal *cover crop* (T1) dan tanaman bermikoriza (T3) dibanding areal tanpa penanaman (T0) dan penanaman tanpa mikoriza (T2) terjadi karena perbaikan tapak akibat keberadaan material bahan organik yang lebih tinggi melalui revegetasi dengan tumbuhan penutup tanah dan tanaman bermikoriza. Selanjutnya kehadiran mesofauna tanah juga membantu dekomposisi bahan organik sehingga meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah. Dengan demikian kehadiran mesofauna dapat dijadikan sebagai indikator tingkat pemulihan lahan bekas tambang kapur.

Hasil berbeda ditunjukkan pada areal T2 yang dibandingkan dengan T0. Pada areal T2 terjadi penurunan kuantitas dan kualitas mesofauna tanah dibanding T0 (Tabel 1), padahal menurut Prayudyansih (2015) kondisi tapak yang meliputi ketebalan seresah, biomassa seresah, kadar C organik

tanah dan bahan organik (BO) tanah pada areal T2 lebih tinggi dibanding T0. Hasil yang hampir sama ditunjukkan oleh Andres dan Mateos (2006), dimana densitas mesofauna tanah pada areal lahan bekas tambang kapur dengan perlakuan restorasi (penanaman pohon) yang memiliki kadar BO tanah lebih tinggi, justru densitas mesofauna tanahnya lebih rendah dibanding areal dengan perlakuan restorasi (penanaman herba dan pohon) yang memiliki kandungan BO tanah lebih rendah. Rendahnya densitas, keanekaragaman dan kekayaan jenis mesofauna tanah pada areal yang mempunyai kondisi tapak lebih baik diduga ada kondisi lain yang terbentuk selain tapak yang mempengaruhi kehadiran mesofauna tanah, misalnya kehadiran jenis fauna tanah lain yang merupakan predator bagi beberapa jenis mesofauna tanah. Kehadiran beberapa jenis organisme tanah karena adanya eksudat akar yang dikeluarkan oleh akar tanaman, selanjutnya memicu

kehadiran organisme tanah lain, yang mungkin mengganggu keberadaan organisme tanah tertentu (Koehler *et al.*, 1995). Penurunan kepadatan mesofauna tanah diduga karena perubahan lingkungan atau predasi (Frousz *et al.*, 2006). Namun hal ini tentu saja perlu pembuktian lebih lanjut.

Mesofauna tanah yang hadir di lahan bekas tambang kapur didominasi oleh famili Formicidae, Rhagionidae dan Staphylinidae (Gambar 2). Ketiga famili tersebut ditemukan pada semua tipe areal di lahan bekas tambang kapur (T0, T1, T2 dan T3). Areal pertanaman bermikoriza (T3) menunjukkan indek nilai penting Formicidae dan Rhagionidea tertinggi (Tabel 2). Kehadiran kelompok semut (Formicidae) merupakan indikator ekologi untuk kemajuan restorasi lahan bekas tambang, dimana peningkatan kekayaan jenis sejalan dengan umur restorasi (Gollan *et al.*, 2011).

Tabel 2. Indek Nilai Penting jenis mesofauna tanah di lahan bekas tambang kapur

Famili	Ordo	Areal			
		T0	T1	T2	T3
Acari	Acari				6,55
Elateridae	Coleoptera		9,75	13,09	11,38
Formicidae	Hymenoptera	48,33	67,71	76,36	84,01
Hymenoptera	Hymenoptera		6,63		
Labiidae	Dermaptera		4,88		
Lyctidae	Coleoptera			13,09	9,82
Nitidulidae	Coleoptera				3,27
Pholcidae	Araneae		4,88		
Rhagionidae	Diptera	103,33	64,97	84,36	67,81
Salticidae	Araneae		4,88		3,27
Scarabaecidae	Coleoptera		4,88		
Sciaridae	Diptera		4,88		
Scolytidae	Coleoptera				3,27
Staphylinidae	Coleoptera	48,33	9,76	13,09	10,60
Termitidae	Isoptera		16,78		

Selanjutnya kehadiran mesofauna dari ordo Acari hanya pada areal tanaman bermikoriza (T3) (Tabel 2 dan Gambar 2) menunjukkan tingkat pemulihan lahan yang lebih baik di banding areal lainnya. Kekayaan jenis dan densitas Acari lebih tinggi pada areal hutan alam dibanding hutan tanaman monokultur dan padang rumput (Adolphson

dan Kinnear, 2008). Selanjutnya (Santorufo *et al.*, 2012) menyatakan Acarina merupakan salah satu invertebrata tanah yang lebih melimpah dan beragam pada tanah dengan kandungan bahan organik tinggi. Acarina mengkonsumsi tanaman yang lapuk, lumut, fungi dan alga, dan juga berperan sebagai decomposer (Syaufina *et al.*, 2007).



Keterangan : A. salah satu famili Formicidae, B. famili Rhagionidae, C. famili Staphylinidae, D. Acari

Gambar 2. Beberapa jenis mesofauna tanah yang dijumpai di lahan bekas tambang kapur

## KESIMPULAN

Densitas individu, keanekaragaman dan kekayaan jenis mesofauna tanah yang lebih tinggi pada areal yang direvegetasi dengan tumbuhan penutup tanah dan tanaman bermikoriza dibanding tanpa pertanaman (tanpa revegetasi) dan tanaman tanpa mikoriza menunjukkan pemulihan lahan bekas tambang kapur yang lebih baik. Densitas individu jenis-jenis mesofauna tanah akibat revegetasi tumbuhan penutup tanah pada lahan bekas tambang kapur sebesar 1781,25 ind/m<sup>2</sup> dengan indek keanekaragaman jenis sebesar 0,35 dan indek kekayaan jenis sebesar 1,60. Densitas mesofauna tanah pada areal pertanaman bermikoriza sebesar 4031,25 ind/m<sup>2</sup> dengan dengan indek keanekaragaman jenis sebesar 1,77 dan indek kekayaan jenis sebesar 1,71. Pemulihan lahan bekas tambang kapur akibat revegetasi dengan tumbuhan penutup tanah dan tanaman bermikoriza juga ditunjukkan dengan mendominasinya famili Formicidae dan kehadiran kelompok Acari.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT. Semen Tonasa atas kerja samanya sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Selain itu ucapan terima kasih juga diberikan kepada Hermin Tikupadang, Edi Kurniawan, Hajar, Mustapa dan Andi Sri Rahmadania yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan proses pengumpulan data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H., & Abdel-Wahhab, M. (2012). Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. *Journal of Plant Physiology* 169, 704-709.
- Adolphson, H., dan Kinnear, A. (2008). Acari (Mite) assemblages under plantations of bluegum, *Eucalyptus globulus*, in Southwestern Australia. *Pedobiologia* 51, 427 - 437.
- Andres, P., dan Mateos, E. (2006). Soil mesofaunal responses to post-mining restoration treatments. *Applied Soil Ecology* 33, 67-78.

- Battigelli, J. P. (2011). Exploring The World Beneath Your Feet - Soil Mesofauna as Potential Biological Indicators as Success in Reclaimed Soils. *Tailings and Mine Waste*. Vancouver B.C. 6 - 9 November 2011.
- Borror, D. J., Triplehorn, C. A dan Johnson N. F. (1997). *Pengenalan Pelajaran Serangga*. Terjemahan: S. Partosoedjono dan M.D. Brotowidjoyo. Edisi ke-6. p. 167 - 589. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press..
- Cavagnaro, T. R., Bender, S. F., Asghari, H. R., dan Heijden, M. G. (2015). The role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. *Trends in Plant Science*, 20(5), 283-290.
- Ding, G. W., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D., dan Xing, B. (2006). Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130, 229-239.
- Frouz, J., Elhottova, D., Kuraz, V., dan Sourkova, M. (2006). Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed postmining sites: results of a field microcosm experiment. *Applied Soil Ecology*, 33, 308-320.
- Gollan, J. R., Bruyn, L. L., Reid, N., dan Wilkie, L. (2011). Can ants be used as ecological indicators of restoration progress in dynamic environments? a case study in a revegetated riparian zone. *Ecological Indicators*, 11, 1517-1525.
- Koehler, H., dan Melecis, V. (2010). Long-Term observation of soil mesofauna. dalam F. Muller, C. Baessler, H. Schubert, dan S. Klotz (eds), *Long\_Term Ecological Research*. (p. 2013-222). New York: Springer Science+Business Media B.V.
- Koehler, H., Munderloh, E., dan Hofmann, S. (1995). Soil microarthropods (acari, collembola) from beach and dune: Characteristics and ecosystem context. *Journal of Coastal Conservation*, 1(1), 77-86.
- Kumssa, D. B., Aarde, R. J., dan Wassenaar, T. D., (2004). The regeneration of soil microarthropod assemblages in a rehabilitating coastal dune forest at Richards Bay South Africa. *African Journal of Ecology*, 42, 346-354.
- Krebs, C.J. (1972). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution Abundance*. Harper International Edition. Singapore. p. 500 - 510.
- Ludwig, J.A. dan Reynolds J. F. (1988). *Statistical Ecology: a Primer on Methods and Computing* Canada: John Wiley & Sons, Inc. p.103 - 110.
- Menta, C., Conti, F., Pinto, S., Leoni, A., dan Lozano-Fondon, C. (2014). Monitoring soil restoration in an Open-Pit Mine Northern Italy. *Applied Soil Ecology*, 28, 22-29.
- Meyer, E. (1995). Mesofauna. dalam Schinner F., Ohlinger R., E., dan Kandeler dan R. Margesin (eds), *Methods in Soil Biology* (p. 115 - 120). Springer-Verlag Berlin-Heidelberg.
- Mueller-Dombois, D dan Ellenberg H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Canada : John Wiley & Sons, Inc. p. 83 - 90.
- Nadporozhskaya, M., Mohren, G., Chertov, O., Komarov, A., dan Mikhailov, A. (2006). Dynamics of soil organic matter in primary and secondary forest succession on sandy soils in The Netherlands: An application of ROMUL model. *Ecological Modelling*, 190, 399-418.
- Nascente, A. S., Li, Y. C., dan Crusciol, C. A. (2013). Cover crops and no-till effects on physical fraction of soil organic matter. *Soil & Tillage Research*, 130, 52-57.
- Paetz, A., dan Wilke, B. M. (2005). Soil Sampling and Storage. dalam R. Margesin and F. Schinner (eds), *Manual for Soil Analysis-Monitoring and Assessing Soil Bioremediation* (pp. 1-44). Berlin:Springer-Verlag..
- Prayudyaningsih, R. (2011). Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) terhadap pertumbuhan *Sesbania sericea* di lahan bekas tambang kapur PT Semen Tonasa. dalam Setyawati, T., Gunawan, H., Murniati, Suharti, S., Dharmawan, W.S., Wardani, M., dan Subiakto, A.(eds), *Ekspose BPK Makassar-Mendukung Kelestarian Hutan*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Litbang Kehutanan.
- Prayudyaningsih, R., Faridah, E., Sumardi, dan Sunarminto, B. H. (2015). Dampak fasilitatif tumbuhan legum penutup tanah dan tanaman bermikoriza pada suksesi primer di lahan bekas tambang kapur. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 22(3) , 310-318.
- Rillig, M. C., dan Mummey, D. I. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171(1), 41-53.
- Santorufu, L., Gestel, C. A., Rocco, A., dan Maisto, G. (2012). Soil invertebrata as bioindicators of urban soil quality. *Environmental Pollution*, 161, 57-63.
- Singh, A. K., dan Jamaluddin. (2011). Status and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and its role in natural regeration on limesote mined spoils. *Biodiversitas*, 12(2), 107-111.

- Steenwerth, K., dan Belina, K. (2008). Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a Vineyard Agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40, 359-369.
- Syaufina, L., Haneda, N. F., dan Buliyansih, A., (2007). Keanekaragaman arthropoda tanah di Hutan Pendidikan Gunung Walat. *Media Konservasi*, 2, 57-66.
- Vallauri, D., Aronson, J., Dudley, N., dan Vallejo, R. (2005). Monitoring and evaluation forest restoration success. dalam S. Mansourian, D. Vallauri, & N. Dudley (eds), *Forest Restoration Landscapes* (p. 150-160). New York: Springer Science+Business Media, Inc.
- Veeresh, G. K. dan Rajagopal D., 1983. *Applied Soil Biology and Ecology*. Oxford & IBH Publishing co. put. Ltd. India. p. 51 - 63.
- Zeppelini, D., Bellini, B. C., Creao-Duarte, A. J., dan Hernandez, M. I., (2009). Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodivers Conserv*, 18: 1161 - 1170.