

PENTINGNYA KERAGAMAN FUNGSIONAL ORGANISME TANAH TERHADAP PRODUKTIVITAS LAHAN

The Importance of Soil Organisms Functional Diversity on Land Productivity

Enny Widyati

Pusat Penelitian dan Pengembangan Peningkatan Produktivitas Hutan
Kampus Balitbang Kehutanan, Jl. Gunungbatu No. 5, Po. Box 311 Bogor 16118.
Telp. (0251) 8631238, Fax. (0251) 7520005

Naskah masuk : 12 September 2012 ; Naskah diterima : 27 Februari 2013

SUMMARY

Soil organisms (microorganisms and soil fauna) play an important role to support the growth of plants. On the other hand, soil organisms also strongly depend on the vigour of vegetation. Soil organisms act as organic matter (OM) decomposition, OM distribution and mixing in soil, and pathogens control. While plants contribute to OM supply to the soil both by root exudates secretion and by litter production. Soil organisms were classified based on their taxonomy or their functions (roles) in the soil ecosystem. Regarding to their functions soil organisms were grouped into chemical engineer that responsible in organic matter decomposition, ecosystem engineer that responsible in soil aggregation, and biological regulator that responsible in pathogen control. Functional diversity was strongly determined by climates, soil properties, vegetation, and land use pattern. Key of ecosystem performance is vegetation, furthermore it is important to conserve forest in proportional size.

Keywords : *Organic matter, ecosystem engineer, soil fauna, microorganisms*

RINGKASAN

Organisme tanah terdiri atas mikroorganisme dan fauna tanah. Mereka memegang peranan yang sangat penting terhadap kelangsungan kehidupan tumbuhan di atasnya. Sebaliknya aktivitas organisme tanah juga sangat tergantung pada kondisi vegetasi. Organisme tanah berperan dalam proses dekomposisi bahan organik, distribusi dan pencampuran bahan organik serta menjadi musuh bagi patogen yang menyerang tanaman. Oleh karena itu keberadaan organisme tanah sangat penting dalam membantu pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Sedangkan tanaman berperan menyuplai bahan organik ke dalam tanah baik melalui produksi serasah maupun eksudat akar. Masing-masing peranan organisme tanah diduduki oleh berbagai organisme, oleh karena itu penggolongan organisme tanah bukan didasarkan pada kelompok taksonomi tetapi lebih berdasarkan fungsinya di ekosistem. Berdasarkan fungsinya organisme tanah digolongkan menjadi *chemical engineer* yang bertanggungjawab terhadap dekomposisi bahan organik, *ecosystem engineer* yang mempengaruhi agregasi dan pembentukan tanah dan *biological regulator* yang bertanggung jawab mengendalikan patogen. Peranan keragaman fungsional sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim, kondisi tanah, kondisi vegetasi dan pola penggunaan lahan. Kunci berlangsungnya ekosistem secara optimal adalah tumbuhan, oleh karena itu untuk setiap wilayah diperlukan keberadaan hutan dalam luasan yang proporsional.

Kata kunci : *Bahan organik, ecosystem engineer, fauna tanah, mikroorganisme*

I. PENDAHULUAN

Tanah merupakan media tempat tumbuhnya tanaman. Tanah juga merupakan habitat bagi berbagai organisme yang hidup di dalamnya. Antara tanaman dengan organisme dalam tanah terjadi suatu hubungan saling ketergantungan yang sangat erat. Oleh karena itu populasi organisme tanah ditentukan oleh kualitas vegetasi di atasnya. Sebaliknya, aktivitas organisme dalam tanah juga akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang pada akhirnya akan menentukan produktivitas lahan tempat mereka hidup.

Menurut BIS (2010) organisme penghuni ekosistem tanah diperkirakan sejumlah seperempat dari seluruh organisme di bumi. Diilustrasikan bahwa dalam satu sendok teh tanah kebun yang subur dapat ditemukan ribuan spesies, milyaran individu bakteri dan ratusan meter jaringan hifa jamur. BIS (2010) memperkirakan total biomassa bakteri pada tanah padang rumput di daerah *temperate* mencapai 1-2 ton/ha yang setara dengan berat 1-2 ekor sapi. Walaupun ukurannya sangat kecil, menurut Breure (2004) mikroorganisme tanah bertanggung jawab terhadap sebagian besar proses-proses biologis (60-80%) yang berkaitan dengan siklus unsur hara dan dekomposisi bahan organik.

Untuk dapat berlangsungnya suatu ekosistem secara harmonis dan dinamis masing-masing individu dan spesies harus dapat memainkan peranannya di ekosistem tersebut secara optimal. Peran yang sama dapat dimainkan oleh kelompok organisme yang berbeda. Peran sebagai produsen tentu saja hanya dimainkan oleh kelompok tumbuhan. Namun organisme yang berperan di tingkat tropik yang lebih tinggi dapat dimainkan oleh golongan fauna yang berbeda-beda. Oleh karena itu, Lavelle and Beare (2009) menggolongkan organisme tanah berdasarkan fungsinya di ekosistem.

Pada setiap ekosistem dihuni oleh berbagai organisme yang memiliki peran tertentu. Ketika masing-masing kelompok fungsional dapat berperan dengan optimal maka ekosistem berjalan secara dinamis dan produktif. Masing-masing kelompok tidak berdiri sendiri, tetapi terjadi suatu ikatan saling ketergantungan. Oleh karena itu gangguan yang terjadi pada suatu kelompok akan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur dan fungsi ekosistem.

Sejak perkembangan industri sektor kehutanan secara pesat mengakibatkan pasokan bahan baku tidak mampu dicukupi oleh kayu yang dipanen dari hutan alam. Sehingga pembangunan hutan tanaman mulai berkembang untuk memenuhi bahan baku tersebut. Supaya keragaman fungsional tanah tetap terjaga, pembangunan hutan tanaman harus tetap memperhatikan keragaman, termasuk keragaman habitat, komunitas species dan keragaman genetik dalam satu spesies. Sebab menurut Griffiths *et al.* (2001), hilangnya suatu spesies akan menyebabkan hilangnya fungsi-fungsi dalam tanah. Makalah ini membahas konsep keragaman fungsional tanah, peranannya dalam ekosistem tanah dan dampaknya terhadap produktivitas lahan.

II. APAKAH YANG DIMAKSUD DENGAN KERAGAMAN FUNGSIONAL TANAH

Sampai saat ini belum ada yang memberi definisi yang tepat mengenai keragaman fungsional. Namun dari berbagai literatur dapat disintesis bahwa yang dimaksud keragaman fungsional adalah penggolongan organisme berdasarkan fungsinya di dalam ekosistem tempat mereka hidup dan beraktivitas. Tilman (2001) mendefinisikan keragaman fungsional (*functional diversity*) sebagai komponen keragaman hayati yang mempengaruhi bekerjanya suatu ekosistem. Dengan demikian keragaman fungsional mempengaruhi dinamika, stabilitas dan produktivitas ekosistem, termasuk menentukan keseimbangan unsur hara dan aspek-aspek lain yang menentukan ekosistem berfungsi secara optimal. Dari keterangan di atas, keragaman fungsional tanah dapat didefinisikan sebagai komponen keragaman hayati yang mempengaruhi dinamika, stabilitas dan produktivitas ekosistem dalam tanah dan ekosistem di atasnya.

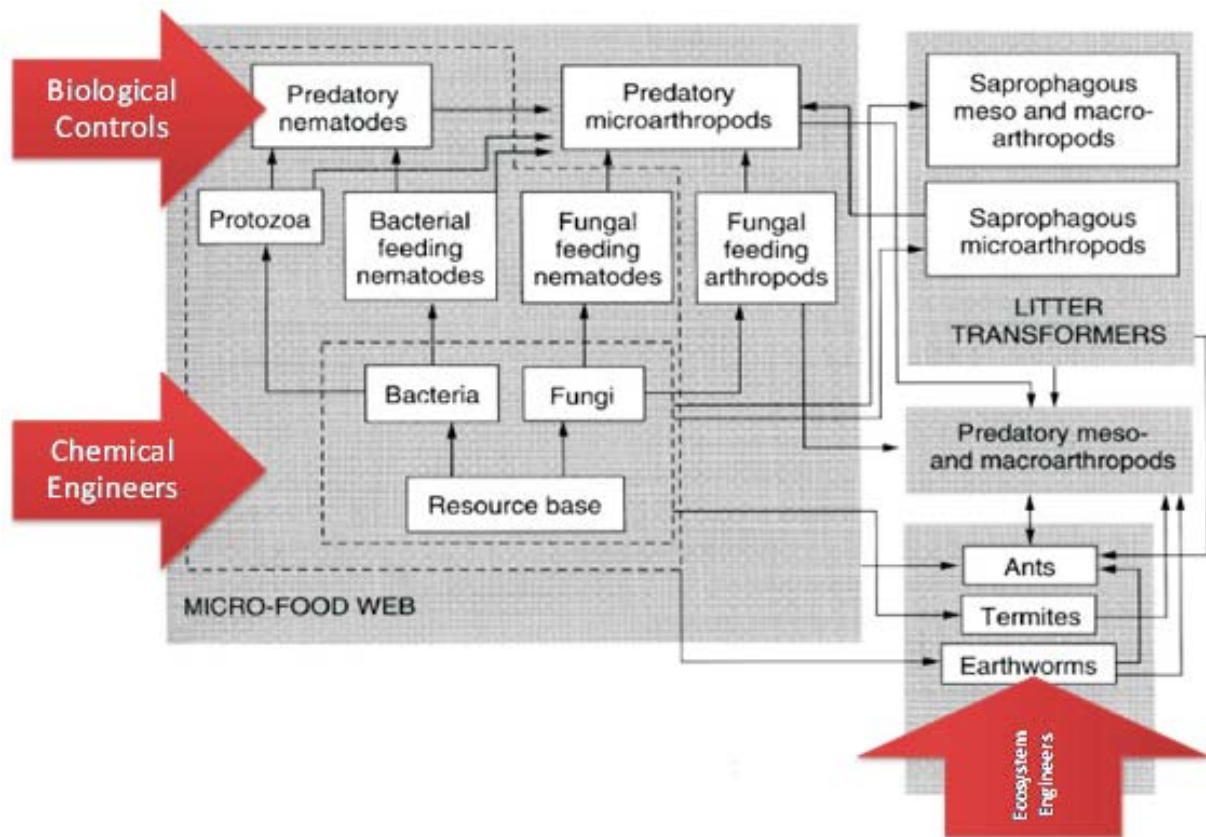
Keragaman fungsional tanah penting dalam berlangsungnya ekosistem tanah karena mereka berperan dalam pembentukan dan stabilitas struktur, kesuburan dan penyanggaan (*buffering*) tanah. Organisme tanah merupakan komponen utama dalam semua ekosistem tanah (Breure, 2004). Walaupun total biomassa organisme tanah lebih rendah dibandingkan fraksi humus atau fraksi mineral tetapi aktivitas mereka sangat penting dalam menentukan berfungsinya ekosistem tanah. Organisme tanah dapat dianalogikan sebagai “mesin biologis bumi” karena mereka memegang “peranan kunci” dalam ekosistem tanah yang memfasilitasi berfungsinya ekosistem di atasnya. Karena organisme tanah mengendalikan proses daur nutrisi, dinamika struktur tanah, degradasi polutan tanah, dan lain-lain yang mempengaruhi dinamika populasi tumbuhan yang tumbuh di atasnya.

III. KERAGAMAN FUNGSIONAL DALAM TANAH

A. Penggolongan Organisme Tanah Berdasarkan Fungsinya di Ekosistem

Sampai saat ini tidak ada penggolongan yang betul-betul tegas terhadap organisme dalam tanah berdasarkan perannya di ekosistem. Menurut Breure (2004) yang memfokuskan pada fauna tanah, bahwa peranan/fungsi fauna tanah ditentukan oleh ukuran tubuhnya. Fauna tanah dibedakan menjadi dua kelompok fungsional yaitu pengendali biologi dan perekayasa lingkungan. Kelompok mikro dan mesofauna (*protozoa, nematoda, collembola, dan mites*) merupakan pengendali kehidupan yang menentukan populasi bakteri dan fungi di ekosistem. Mereka memangsa bakteri dan fungi sehingga penting untuk mengendalikan populasi patogen. Adapun golongan makrofauna (cacing tanah, rayap dan semut) berperan sebagai perekayasa lingkungan dalam proses dekomposisi dan distribusi bahan organik. Partikel-partikel tanah diangkut ke berbagai tempat oleh aktivitas cacing tanah. Sedangkan BIS (2010) menggolongkan organisme tanah ke dalam tiga kelompok besar berdasarkan fungsinya di dalam ekosistem tanah. Mereka adalah perekayasa kimia (*chemical engineers*), pengatur kehidupan (*biological regulators*) dan perekayasa lingkungan (*ecosystem engineers*).

Organisme yang digolongkan ke dalam perekayasa kimia meliputi bakteri, jamur dan protozoa yang bertanggung jawab terhadap proses dekomposisi bahan organik menjadi unsur-unsur hara yang siap digunakan oleh tanaman. Organisme yang digolongkan ke dalam pengendali kehidupan adalah organisme yang dapat mengatur dinamika populasi organisme lainnya. Organisme yang termasuk ke dalam kelompok ini pada umumnya dalam taksonomi tergolong ke dalam invertebrata tanah seperti nematoda, *springtails, mites*, laba-laba dan semut. Pengendali kehidupan berperan sebagai pemakan tanaman, pemakan invertebrata lain dan pemakan mikroorganisme. Sedangkan organisme digolongkan sebagai perekayasa lingkungan ketika dalam aktivitasnya akan berakibat menyediakan sumberdaya atau memperbaiki habitat organisme lainnya (BIS, 2010). Hubungan antara ketiga kelompok fungsional tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Hubungan antara kelompok perekayasa kimia, pengendali biologi dan perekayasa lingkungan (dimodifikasi dari www.directscience.com)

IV. PENTINGNYA KERAGAMAN FUNGSIONAL TANAH TERHADAP PRODUKTIVITAS LAHAN

Salah satu fungsi penting tanah adalah menjadi habitat berbagai organisme tanah dan memelihara keragamannya (Emmerling *et al.*, 2002). Aktivitas perekayasa kimia, pengendali kehidupan dan perekayasa lingkungan memberi dampak terhadap ekosistem tanah menurut luasan area dan waktu. Hal ini sehubungan dengan ukuran tubuh, wilayah jelajah dan umur (*life time*) dari masing-masing kelompok organisme tersebut (BIS, 2010). Organisme yang memiliki ukuran kecil tentu saja memiliki wilayah jelajah yang lebih sempit dibandingkan dengan yang memiliki ukuran besar. Kelompok *chemical engineers* secara spesifik mempengaruhi ekosistem setempat, berkisar antara mikrometer sampai meter, dalam waktu yang singkat hanya berkisar detik sampai menit. Sedangkan dua kelompok lainnya, memberi dampak pada ekosistem berkisar antara beberapa meter sampai ratusan meter dalam waktu yang berkisar harian sampai tahunan.

A. Kelompok Fungsional Perekayasa Kimia (*Chemical Engineers*)

Sudah menjadi pemahaman umum bahwa mikroorganisme tanah (bakteri, fungi, aktinomisetes) memainkan peranan yang sangat penting pada proses humifikasi, mineralisasi bahan organik tanah, sehingga menjadi unsur-unsur hara yang tersedia untuk pertumbuhan tanaman. Sehingga mikroorganisme digolongkan ke dalam perekayasa kimia (*chemical engineer*), karena mereka berperan menguraikan sisa-sisa tumbuhan yang sudah mati menjadi unsur-unsur hara yang siap diserap oleh tanaman.

Sebagai perekayasa kimia, mikroorganisme tanah memainkan beberapa peranan, antara lain mendekomposisikan bahan organik. Salah satu proses dalam tanah yang sangat tergantung pada keberadaan mikroorganisme tanah adalah proses daur ulang bahan organik. Bahan organik tanah (BOT) merupakan produk langsung dari gabungan aktivitas kimia tumbuhan, mikroorganisme, fauna dan berbagai faktor abiotik. BOT berperan dalam proses penting dalam tanah, seperti kesuburan dan aerasi tanah (Breure, 2004). Dalam proses pedogenesis (pembentukan tanah) mikroorganisme membantu melepaskan unsur hara menjadi bentuk tersedia bagi tanaman dan mempengaruhi pelapukan batuan dan melarutkan mineral, serta berkontribusi terhadap pembentukan struktur dan agregasi tanah (Breure, 2004).

B. Kelompok Fungsional Pengendali Kehidupan (*Biological Control*)

Kelompok fungsional pengendali biologis (*biological control*) berpengaruh secara langsung dalam menentukan produktivitas lahan. Produktivitas lahan (tanaman) dapat diturunkan karena adanya serangan patogen tular tanah. Beberapa fauna tanah merupakan predator patogen, sehingga sangat penting dalam menjaga kestabilan produktivitas lahan. Dalam beberapa kejadian, patogen dapat berperan sebagai *biological control* yang menguntungkan bagi keragaman hayati ketika mereka menyerang tanaman invasif (BIS, 2010). Mikroorganisme tanah juga dapat berperan sebagai pengendali biologi karena ketika mereka membangun simbiosis dengan akar tanaman dan bersifat antagonis terhadap patogen (Breure, 2004) sehingga dapat memperbaiki kesehatan tanaman dan meningkatkan produktivitas.

C. Kelompok Fungsional Perekayasa Lingkungan (*Ecosystem Engineers*)

Organisme digolongkan ke dalam perekayasa lingkungan ketika mereka dapat menciptakan atau memodifikasi habitat bagi organisme lain. Pada umumnya yang berperan sebagai perekayasa lingkungan secara taksonomi umum tergolong sebagai fauna tanah. Peranan fauna tanah terhadap produktivitas lahan bersifat tidak langsung.

Sebagai perekayasa lingkungan fauna tanah terbagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok pertama adalah yang berperan langsung dalam proses perombakan bahan organik secara mekanik, termasuk di dalamnya adalah siput, cacing tanah, kaki seribu, semut dan rayap. Dalam aktivitasnya mereka menggigit dan mengunyah serasah menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga akan mempermudah proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah (Emmerling *et al.*, 2002).

Kelompok yang kedua adalah fauna yang berperan menciptakan struktur tanah misalnya cacing tanah dan rayap. Kelompok ini juga berperan dalam pendistribusian bahan organik ke dalam lapisan tanah

yang lebih dalam (bioturbasi) dan bertanggungjawab terhadap proses pencampuran bahan organik dengan tanah (Emmerling *et al.*, 2002). Cacing tanah berperan dalam proses inkorporasi bahan organik dari permukaan tanah ke lapisan tanah yang lebih dalam. Akibat dari aktivitas cacing tanah ini dapat meningkatkan ketersediaan air tanah, memperbaiki agregasi tanah dan meningkatkan populasi mikroorganisme tanah (Breure, 2004). Peranan kedua kelompok tersebut akan berpengaruh positif terhadap sifat fisik dan kimia tanah sehingga akan memperbaiki kesuburan dan kualitas tanah. Meningkatnya kualitas dan kesuburan tanah akan meningkatkan produktivitas lahan.

Perekayasa lingkungan juga bertanggungjawab terhadap ketersediaan sumberdaya (makanan/nutrisi, sumber energi, dan sebagainya) bagi organisme lain karena struktur tanah merupakan *hotspot* bagi aktivitas mikroorganisme. Cacing tanah, misalnya, dapat menghasilkan kotoran yang disebut “*casting*” dengan kecepatan beberapa ratus ton per tahun per hektar (BIS, 2010). Menurut Breure (2004) cacing tanah merupakan komponen utama biomassa fauna tanah di daerah *temperate*. Karena pada daerah tersebut biomass cacing tanah mencapai 50% di ekosistem padang rumput dan 60% di ekosistem hutan.

V. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KERAGAMAN FUNGSIONAL DALAM TANAH

Keragaman fungsional dan aktivitas organisme tanah sangat dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik setempat. Faktor biotik meliputi kondisi vegetasi, sedangkan faktor abiotik meliputi kondisi iklim dan kondisi tanah (BIS, 2010). Breure (2004) menyatakan bahwa pola penggunaan lahan merupakan bentuk intervensi manusia terhadap keragaman fungsional dalam tanah. Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi keragaman organisme tanah.

A. Kondisi Iklim

Faktor iklim terutama suhu dan kelembaban tanah (dipengaruhi oleh curah hujan) sangat menentukan keragaman fungsional organisme tanah. Secara keseluruhan iklim akan mempengaruhi fisiologi organisme tanah, misalnya aktivitas dan pertumbuhan mereka akan meningkat ketika suhu dan kelembaban tanah meningkat (BIS, 2010). Karena kondisi iklim di muka bumi berbeda pada daerah yang memiliki perbedaan letak lintang atau pada daerah lintang yang sama tetapi pada musim yang berbeda maka akan memiliki keragaman fungsional yang berbeda pula. Sehingga keragaman fungsional berbeda menurut tempat (spasial) dan waktu (temporal).

B. Kondisi Tanah

Tekstur, struktur, salinitas dan kemasaman tanah serta kandungan unsur hara sangat mempengaruhi keragaman fungsional tanah (BIS, 2010). Pada tanah bertekstur lempung dan liat sedang akan cocok untuk pertumbuhan cacing dan organisme tanah. Sebaliknya pada tanah bertekstur pasir yang memiliki kapasitas menahan air rendah tidak cocok untuk pertumbuhan organisme tanah. Kadar garam (salinitas) tanah yang lebih tinggi pada bagian dekat permukaan tanah akan menyebabkan “*stress*” pada organisme tanah. Namun demikian tingkat sensitivitas terhadap kadar garam berbeda-beda diantara spesies yang berbeda. Perubahan pH tanah dapat mengganggu ketersediaan nutrisi dan metabolisme (dapat mengganggu kerja enzim) yang dapat mengakibatkan kematian bagi organisme tanah.

C. Kondisi Vegetasi dan Populasi Organisme Tanah

Organisme tanah mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan organisme lain yang hidup di atas tanah dan sebaliknya. Tanaman dapat mempengaruhi secara kuat aktivitas dan komposisi komunitas mikroorganisme rizosfir (Rodriguez-Lionaz *et al.*, 2008). Sebaliknya, pertumbuhan tanaman dapat dibatasi atau dipacu oleh keberadaan mikroorganisme tanah. Tumbuhan menentukan komposisi, kemelimpahan dan aktivitas pengendali biologi (*biological regulator*) dan perekayasa ekosistem (*ecosystem engineers*), sedangkan keragaman fungsional menentukan produktivitas dan komposisi vegetasi di atasnya.

Diantara organisme tanah terjadi suatu interaksi membangun jejaring makanan. Dalam jejaring makanan tersebut masing-masing kelompok fungsional dikendalikan oleh interaksi biotik “*bottom-up*”

atau “*top-down*”. Interaksi “*top-down*” dikendalikan oleh hubungan pemangsa (*predation*), penggembalaan (*grazing*), dan mutualisme. Sedangkan interaksi “*bottom-up*” tergantung pada interaksi kompetisi dalam mengakses sumberdaya (BIS, 2010).

D. Pola Penggunaan Lahan

Lahan yang menjadi padang rumput memiliki keragaman fungsional yang paling tinggi. Hal ini karena padang rumput yang didominasi oleh tumbuhan berdaur pendek dengan jarak tumbuh yang rapat terjadinya pengembalian bahan organik ke dalam tanah melalui produksi eksudat akar dan tumbuhan yang mati berlangsung secara cepat. Pada ekosistem hutan yang klimaks keragaman fungsional lebih rendah karena cahaya matahari tidak dapat menembus lantai hutan yang rapat. Pada lahan pertanian dan hutan tanaman keragaman fungsional juga rendah karena keragaman vegetasinya sangat rendah (monokultur). Disamping itu, pengelolaan yang dilakukan secara intensifikasi dengan melalui pemupukan, aplikasi pestisida dan pengolahan lahan dengan alat berat dapat mengganggu keragaman fungsional dalam tanah.

Namun demikian, Zhangfeng *et al.* (2007) berpendapat bahwa tidak semua pengelolaan lahan berdampak negatif terhadap keragaman fungsional tanah. Penggunaan mulsa, penambahan kompos dan rotasi tanaman merupakan praktek pengelolaan lahan yang dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan ketersediaan air tanah dan rosot karbon.

Rodriguez-Loinas *et al.* (2008) menyatakan bahwa salah satu konsekuensi yang diakibatkan dari perubahan pola penggunaan lahan dari ekosistem hutan atau padang rumput menjadi lahan pertanian modern adalah menurunnya keragaman fungsional tanah. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa populasi cacing tanah dan keragaman organisme pemakan patogen akar menurun secara drastis. Penggunaan bahan kimia, pengolahan tanah ekstensif dan penanaman jenis monokultur telah merusak jejaring interaksi komunitas antara hama dengan musuh alaminya sehingga akan memacu terjadinya ledakan hama dan penyakit. Selain itu, penggunaan mesin dalam pengolahan lahan akan menurunkan keragaman kelompok perekayasa kimia tanah sehingga dapat mengganggu proses-proses tanah yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Hilangnya ekosistem hutan menurut Rodriguez-Loinas *et al.* (2008) berdampak langsung terhadap populasi fauna tanah seperti rayap, cacing tanah, semut dan larva serangga, karena kelompok ini sangat tergantung pada serasah yang dihasilkan oleh pohon.

VI. HUBUNGAN TIMBAL BALIK ANTARA KERAGAMAN FUNGSIONAL DAN PERTUBUHAN TANAMAN

Tumbuhan merupakan jembatan antara ekosistem yang ada di atas dan di dalam tanah. Oleh karena itu menurut Tilman *et al.* (2001) perubahan keragaman vegetasi tentu saja akan mengubah fungsi ekosistem di atas dan di dalam tanah. Perubahan struktur vegetasi akan mempengaruhi fungsi ekosistem dalam tanah (Hooper *et al.*, 2001) termasuk proses-proses pembentukan tanah, struktur tanah dan komunitas biota tanah (Heemsbergen *et al.*, 2004).

Interaksi antara keragaman tanaman dengan komunitas bawah tanah sampai saat ini belum dilakukan penelitian secara intensif. Carney and Matson (2005) menyatakan bahwa terdapat interaksi yang erat antara keragaman tanaman dengan keragaman mikroorganisme tanah, diduga tanaman menjadi mediator perubahan komunitas mikroorganisme tanah yang berdampak terhadap fungsi ekosistem. Sebagian besar mikroorganisme tanah bersifat heterotrof (tidak dapat menghasilkan makanannya sendiri) sehingga menggunakan eksudat akar atau bahan organik sebagai sumber makanannya. Sumber bahan organik utama di ekosistem terestrial adalah tanaman sehingga tanaman mempunyai peranan yang sangat penting dalam mengendalikan komunitas mikroorganisme tanah, terutama di rizosfir. Oleh karena itu, perubahan kualitas dan kuantitas makanan yang disebabkan karena perubahan diversitas tumbuhan akan mengubah jumlah, aktivitas dan keragaman mikroorganisme tanah (Hooper *et al.*, 2001).

Kaitan antara keragaman tanaman di atas tanah dengan aktivitas mikroorganisme di bawah tanah telah dilakukan untuk mengetahui peranan keragaman tumbuhan tingkat tinggi terhadap stabilitas, resiliensi dan fungsi ekosistem (Kowalchuk *et al.*, 2002). Hasilnya menunjukkan bahwa keragaman mikroorganisme tanah memberikan dampak positif (Broughton and Gross, 2000) atau netral (Wardle *et al.*, 1997) terhadap keragaman dan produktivitas tumbuhan di atasnya.

Menurut Zhangfeng *et al.* (2007) tumbuhan memberikan pengaruh terhadap komunitas organisme tanah melalui suplai karbon yang diberikan oleh eksudat akar. Sehingga aktivitas dan jumlah mikroorganisme di rizosfir akan jauh lebih besar dibandingkan dengan tanah di sekitarnya. Tumbuhan yang berbeda akan menghasilkan jenis dan komposisi eksudat yang berbeda. Perbedaan jenis dan komposisi eksudat yang diproduksi oleh akar akan menentukan komposisi keragaman komunitas mikroorganisme rizosfir. Dengan demikian pergiliran tanaman (*crop rotation*) juga menentukan komunitas mikroorganisme rizosfir karena berkaitan dengan jenis dan komposisi eksudat yang dihasilkan oleh tanaman yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan pergiliran tanaman dapat merubah agresivitas patogen terhadap tanaman yang baru. Hal ini karena patogen tidak mampu menggunakan eksudat akar tanaman dari jenis yang baru atau karena tanaman yang baru mengundang mikroorganisme yang menjadi pengendali bagi patogen tersebut.

VII. DAMPAK KERAGAMAN FUNGSIONAL TERHADAP PRODUKTIVITAS LAHAN

Berbagai fungsi yang diperankan oleh organisme tanah dapat memberikan keuntungan terhadap produktivitas lahan. Aktivitas yang dilakukan oleh organisme tanah dapat secara langsung mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Misalnya aktivitas organisme yang berperan dalam siklus unsur hara dan proses pembentukan tanah akan mempengaruhi ketersediaan unsur-unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Keragaman organisme tanah selanjutnya akan mempengaruhi berbagai proses yang terjadi di atasnya. Hal ini karena keragaman organisme tanah akan mempengaruhi keragaman vegetasi di atasnya yang akan berakibat terhadap kualitas dan kuantitas air, berperan dalam menghambat laju perubahan iklim, dan menentukan produktivitas pertanian dan kehutanan.

1. Mempengaruhi struktur, kandungan bahan organik dan kesuburan tanah

Organisme tanah mempengaruhi pembentukan struktur tanah. Bahan organik tanah merupakan *building block* yang penting dalam pembentukan struktur tanah (BIS, 2010). Karena bahan ini menentukan aerasi tanah, kapasitas tanah dalam menyimpan air dan menahan unsur hara. Kelompok fungsional perekayasa (kimia dan ekosistem) memberikan kontribusi dalam proses pembentukan dan dekomposisi bahan organik tanah sehingga berperan dalam proses pembentukan tanah. Misalnya beberapa spesies fungi menghasilkan suatu protein yang merekat butir-butir tanah sehingga penting dalam pembentukan agregat tanah.

Proses dekomposisi bahan organik dalam tanah akan melepaskan unsur-unsur yang dapat langsung digunakan oleh tumbuhan dan organisme lainnya. Sisa-sisa bahan organik dalam tanah akan membentuk humus yang menentukan kualitas dan kesuburan tanah (BIS, 2010). Sehingga organisme tanah secara tidak langsung menentukan kualitas dan kemelimpahan tumbuhan dan produktivitas lahan. Satu hal yang harus difahami bahwa bahan organik tanah hanya dapat diproses oleh komunitas organisme dalam tanah, tidak dapat dibuat oleh manusia. Ketika bahan organik tanah tidak tersedia dalam tanah dapat mengancam produktivitas lahan pertanian dan kehutanan di atasnya yang secara langsung atau tidak langsung akan mengancam kehidupan di bumi. Karena semua kehidupan di bumi sangat tergantung pada produktivitas tumbuhan, seperti suplai makanan, energi, oksigen, air bersih, dan lain-lain.

2. Mempengaruhi kualitas air dalam tanah

Menurut Breure (2004) keberadaan organisme perekayasa ekosistem tanah mempengaruhi infiltrasi dan distribusi air dalam tanah. Mereka menciptakan agregat dan pori-pori tanah sehingga akan mempengaruhi komposisi dan struktur vegetasi di atasnya. Tumbuhan akan menurunkan erosi tanah dan aliran permukaan melalui produksi serasah dan sistem perakaran tanaman akan mempengaruhi infiltrasi air. Hasil penelitian Breure (2004) menunjukkan bahwa menurunnya populasi cacing tanah akibat kontaminasi tanah dapat menurunkan laju infiltrasi air ke dalam tanah, bahkan pada beberapa kasus penurunan dapat mencapai 93%. Keragaman mikroorganisme dalam tanah berkontribusi terhadap proses pemurnian air. Beberapa mikroorganisme mempunyai kemampuan untuk melakukan proses bioremediasi terhadap polutan yang terdapat dalam air.

Tumbuhan merupakan agen penting yang berperan dalam menentukan siklus air di atmosfer melalui aktivitas evapotranspirasi. Hilangnya komunitas tumbuhan akan mempengaruhi kualitas dan kuantitas air permukaan dan air dalam tanah sehingga akan mempengaruhi kehidupan di muka bumi. Oleh karena itu keberadaan komunitas tumbuhan (dalam bentuk hutan) tidak dapat ditawar sebagai salah satu kunci penentu kualitas kehidupan di muka bumi.

3. Menekan populasi species invasif

Spesies eksotik dapat disebut sebagai invasif ketika kelimpahan mereka di habitat yang baru menjadi melebihi spesies aslinya (BIS, 2010). Urbanisasi, perubahan pola penggunaan lahan dan perubahan iklim dapat meningkatkan kemungkinan ekspansi spesies invasif yang dapat mengancam keragaman hayati setempat. Menurut BIS (2010) spesies invasif dapat memberikan dampak yang besar baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap organisme tanah dan keragaman hayati. Spesies invasif akan mengubah dinamika siklus unsur hara karena berubahnya dominansi spesies kunci sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan kelimpahan mikroorganisme dalam tanah. Jenis-jenis invasif umumnya sukses membangun simbiosis dengan mikroba tertentu (umumnya mikoriza) sehingga akan mengganggu keragaman mikroorganisme dalam tanah karena unsur hara banyak dikuras oleh mikoriza dan diberikan kepada spesies invasif. Menurut Breure (2004) kehadiran spesies invasif dapat menurunkan populasi *biological regulator*, terutama ketika kelompok fungsional tersebut memiliki hubungan khusus (*species-specific relationship*) dengan tanaman tertentu.

Perananan keragaman fungsional dalam mengendalikan spesies invasif tidak bersifat langsung. Mereka mempengaruhi kepadatan, kelimpahan dan distribusi tumbuhan di atasnya. Ketika ekosistem berada dalam kondisi optimal maka populasi spesies invasif tidak akan dapat tumbuh dan menginvasi ekosistem yang stabil. Hal ini karena spesies invasif umumnya memerlukan cahaya yang penuh (*shading intoleran*).

VIII. PENUTUP

Organisme tanah meskipun memiliki ukuran yang kecil tetapi menentukan kelangsungan ekosistem di muka bumi. Kondisi keragaman fungsional organisme tanah yang stabil akan menghasilkan ekosistem tumbuhan yang optimal sehingga menghasilkan produktivitas lahan (baik barang maupun jasa) yang optimal. Kondisi keragaman fungsional sangat dipengaruhi oleh iklim, kondisi tanah dan kondisi vegetasi di atasnya. Kondisi tanah dan iklim juga terpengaruh oleh kondisi vegetasi. Oleh karena itu, kondisi tegakan hutan yang sehat dan dalam jumlah luasan yang proporsional akan menjamin kestabilan keragaman fungsional tanah yang muaranya adalah kestabilan ekosistem di bumi. Jadi pembangunan hutan tanaman walaupun unsur keseragaman merupakan pola yang paling ekonomis disarankan untuk tetap memelihara keragaman untuk mendukung kelestarian ekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Bio Intelligence Service (BIS), Europe Commission. 2010. Soil Biodiversity: Functions, Threats and Tools for Policy Makers. Technical Reports 2010. Tersedia di : www.biois.com/soilbiodiversity/231_html.
- Breure, A.M. 2004. Soil Biodiversity: Measurements, Indicators, Threats and Soil Functions. September 15th 17th 2004, León Spain. www.intl'conf/soil_compost_ectersedia di: obiology_2004/breure/paper_oral.
- Carney, K.M. and P.A. Matson. 2005. Plant Communities, Soil Microorganisms, and Soil Carbon Cycling: Does Altering the World Belowground Matter To Ecosystem Functioning? *Ecosystems* 8:928-940.
- Emmerling, C., M. Schloter, A. Hartman and E. Kandeler. 2002. Functional Diversity of Soil organisms- a Review of Recent Research in Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* (2002), 165, 408-420.

- Griffiths, B.S., K. Ritz, R. Wheatley, H.I. Kuan, B. Boag, S. Christensen, F. Ekelund, S.J. Soerensen, S. Muller and J. Bloem. 2001. An Examination of the Biodiversity-ecosystem Functions Relationship in Arable Soil Microbial Communities. *Soil Biol. Biochem.* 33, 1713-1722.
- Heemsbergen D.A, M.P. Berg, M. Loreau, J.R. van Hal, J.A. Faber and H.A. Verhoef. 2004. Biodiversity Effects on Soil Processes Explained by Site-specific Functional Dissimilarity. *Science* 306:1019-1020.
- Hooper, D.U., D.E. Bignell, V.K. Brown, L. Brussaard, J.M. Dangerfield, D.H. Wall, G.W. Korthals, P. Smilauer, C. van Dijk and W.H. van der Putten. 2001. Linking Above and Below-ground Biodiversity: Abundance and Trophic Complexity in Soil as a Response to Experimental Plant Communities on Abandoned Arable Land. *Funct Ecol* 15:506-514.
- Kowalchuk, G.A., D.S. Buma, W. de Boer, P.G.L. Klinkhamer and J.A. van Veen. 2002. Effects of Aboveground Plant Species Composition and Diversity on the Diversity of soil-borne Microorganisms. *Antonie Van Leeuwenhoek* 81:509-520.
- Rodriguez-Lionaz, G., M. Onaindia, I. Amezaga, I. Mijangos and C. Garbisu. 2008. Relationship between Vegetation Diversity and Soil Functional Diversity in Native Mixed-oak Forests. *Soil Biol Biochem* Vol 40 issue 1 (2008) 49-60. olicy makers.
- Tilman, D., P.B. Reich, J. Knops, D. Wedin, T. Mielke and C. Lehman. 2001. Diversity and Productivity in a Long-term Grassland Experiment. *Science* 294:843-845.
- Tilman, D. 2001. Functional Diversity. *Encyclopedia of Biodiversity* Vol 3. Academic Press. Tersedia di : <http://docs.google.com>.
- Wardle, D.A., K.I. Bonner and G.M. Barker. 2002. Linkages between Plant Litter Decomposition, Litter Quality, and Vegetation Responses to Herbivores. *Funct Ecol* 16:585-595.
- Wardle, D.A., K.I. Bonner and K.S. Nicholson. 1997. Biodiversity and Plant Litter: Experimental Evidence which does not Support the View that Enhanced Species Richness Improves Ecosystem Function. *Oikos* 79:247-258.
- Zhanfeng L., L. Guohua, F. Bojie and Z. Xiaoxuan. 2007. Relationship between Plant Species Diversity and soil Microbial Functional Diversity along a Longitudinal Gradient in Temperate Grasslands of Hulunbeir, Inner Mongolia, China. *Ecol Res* (10): 1172-1179.