

## INTERVENSI MANUSIA TERHADAP KOMUNITAS RHIZOSFIR : REVIEW (*Human Disturbance on Rhizosphere Communities : Review*)

**Enny Widyati\***

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan, Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor, 16610.

\*Korespondensi. Tel: 085691496245. Email: enny\_widyati@yahoo.com.

Diterima: 31 Mei 2018

Disetujui: 9 September 2018

### Abstrak

Walaupun tersembunyi di dalam tanah komunitas rhizosfir merupakan penentu kehidupan di muka bumi dan berperan penting pada pelestarian alam. Rhizosfir merupakan daerah di sekitar perakaran tanaman yang dihuni oleh berbagai mikrobia tanah yang berperan dalam menentukan pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Struktur dan komposisi komunitas mikrobia sangat dipengaruhi oleh macam, konsentrasi dan komposisi eksudat akar. Perubahan yang terjadi pada tanaman (umumnya sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia) mempengaruhi komunitas rhizosfir, sebaliknya komunitas rhizosfir akan menentukan struktur tumbuhan dan fungsi ekosistem. Review ini membahas pengaruh aktivitas manusia yang mempengaruhi kualitas lingkungan terhadap komunitas mikrobia di rhizosfir, yang merupakan hasil kajian dari berbagai sumber terbaru yang dianalisis secara induktif. Aktivitas manusia yang dikaji meliputi praktek pertanian intensif, deforestasi hutan menjadi perkebunan serta perubahan iklim. Hasil kajian menunjukkan bahwa praktek monokulturisasi telah menurunkan biodiversitas mikrobia rhizosfir, menurunkan kinerja enzim tanah dan menurunkan keragaman dan konsentrasi senyawa glukosinolat untuk melawan patogen. Pengolahan tanah, pemupukan anorganik dan penggunaan pestisida telah menurunkan biodiversitas mikrobia rhizosfir. Sebaliknya pemupukan organik tidak berpengaruh terhadap biodiversitas mikrobia tanah. Perubahan fungsi hutan menjadi kebun intensif telah merubah dominansi kelompok mikrobia serta kemampuan mikrobia sesuai fungsinya di ekosistem. Perubahan iklim berdampak pada peningkatan suhu tanah, hal ini telah mengubah komposisi mikrobia rhizosfir. Perubahan komposisi, dominansi dan kemampuan mikrobia di rhizosfir tersebut dapat merubah komposisi populasi tumbuhan di atasnya. Hal ini dapat mengubah keseimbangan dan fungsi ekosistem yang berakibat pada berubahnya kesejahteraan manusia.

**Kata kunci:** deforestasi, komunitas mikrobia, rhizosfir, pertanian intensif, perubahan iklim.

### Abstract

*Even though it is hidden underground, rhizosphere communities define the life in this earth planet and has an important role on nature preservation. Rhizosphere is the zone of soil adjacent immediately to plant roots which inhabited by varies species of beneficial soil microbes for facilitating plants growth and health. Human activities are strongly influence on plant performance. Alteration on plant growth and health statues determine rhizosphere communities that will define the vegetation structures and ultimately ecosystem functions. This paper discuss the negative influences of human activities (anthropogenic factors) on the environment to the rhizosphere communities. Especially the impacts of intensive farming, deforestation and climate changes. It is sourced from current referrences in inductive analysis. One of intensive farming management is monoculture that is not only drastically depleted microbes diversity in the rhizosphere hence decresed soil enzymes activities, but also reduced glucocynolates production, a crucial compound against pathogen. Whereas, tillage, fertilizers and pesticide application significantly diminished microbe biodiversity. Organic fertilizers, on the other hand, did not give crucial impacts this biodiversity. Modify forest into estate have changed domination of groups and lessened capability of phosphate solubilizers. While climate changes, that enhance soil temperature escalation, have altered rhizosphere microbes composition and structure. Replacement of composition, domination, abundance and capability of rhizosphere communities will modify composition and structure of vegetation aboveground. Eventually, will alter the ballance and functions of the ecosystem, which determine the wealth of human population in the earth.*

**Keywords:** climate changes, deforestation, intensive agriculture, rhizosphere, microbes community.

### PENDAHULUAN

Rhizosfir merupakan daerah dalam tanah di sekitar akar tanaman yang secara langsung dipengaruhi oleh aktivitas tanaman. Tanaman secara terus menerus mengeluarkan eksudat akar yang dapat memfasilitasi mikrobia tanah datang

dan menghuni daerah tersebut (Lakshmanan dkk., 2014). Karena tanaman memerlukan mikrobia tanah untuk membantu melarutkan mineral dan molekul anorganik lainnya yang diperlukan untuk pertumbuhan, bertahan terhadap kekeringan dan kadar garam serta pertahanan terhadap serangan patogen. Adapun mikrobia memperoleh eksudat

akar yang diperlukan sebagai sumber energi dalam bentuk gula dan asam-asam organik (Mahoney dkk., 2017). Tanaman sangat memerlukan kontribusi mikrobial tanah karena mereka tidak dapat berpindah tempat untuk menjangkau sumber-sumber nutrisi.

Sebagian besar populasi mikrobial di dalam tanah terkonsentrasi di daerah yang kaya nutrisi yang secara konstan mendapat pasokan nutrisi yang siap dimanfaatkan. Dengan demikian rhizosfir merupakan merupakan tempat berkumpulnya mikrobial tanah yang disebut sebagai '*hot spot*' dengan aktivitas yang tinggi (Prashar dan Sachdeva, 2014). Mikrobial tanah di rhizosfir akan secara mutualistik mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan cara menghasilkan senyawa-senyawa pemacu pertumbuhan tanaman (Lakshmanan dkk., 2014).

Mikrobial tanah yang berasosiasi dengan tanaman berperan penting dalam ekosistem tanah, mempengaruhi proses biokimia dan menentukan kesehatan serta produktivitas tanaman. Kelompok mikrobial yang paling melimpah adalah bakteri tanah. Mereka terlibat dalam proses mineralisasi bahan organik, berasosiasi secara langsung dengan tanaman dan menghasilkan senyawa untuk melindungi tanaman dari serangan patogen (Sanguin dkk., 2009). Schneider dkk. (2015), menerangkan bahwa komunitas mikrobial tanah dengan keragaman tinggi akan mengendalikan hampir semua proses biogeokimia di ekosistem daratan dan berperan dalam proses transformasi unsur hara.

Dengan demikian, komunitas mikrobial di rhizosfir memegang peranan penting dalam mengendalikan fungsi ekosistem di bumi yang menentukan kehidupan seluruh makhluk hidup termasuk manusia. Namun demikian, keberadaan mikrobial di rhizosfir sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor yang paling utama adalah jenis dan status kesehatan tanaman serta kondisi tanah. Pertumbuhan dan kesehatan tanaman sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal misalnya stres, kondisi iklim, dinamika pertumbuhan mikrobial serta faktor manusia (Lakshmanan dkk., 2014). Hal ini karena eksudat akar yang menjadi sumber makanan mikrobial sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah dan pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu berbagai intervensi yang dilakukan oleh manusia diduga juga mempengaruhi aktivitas mikrobial di rhizosfir yang akan menentukan kualitas lingkungan dan kesejahteraan manusia pada umumnya.

Budidaya intensif umumnya dilakukan melalui pengolahan tanah yang ditujukan untuk memberi aerasi tanah sehingga diharapkan tanaman budidaya tumbuh lebih baik. Namun pembalikan tanah

diduga dapat membunuh organisme anaerob maupun kelompok lain yang memerlukan habitat di dalam tanah. Di lain sisi pemupukan dengan pupuk kimia yang dilakukan secara terus menerus diduga juga dapat meracuni tanah. Demikian juga penggunaan pestisida yang ditujukan untuk membunuh hama dan penyakit memberi dampak terhadap kehidupan organisme di rhizosfir.

Keragaman mikrobial dalam tanah dapat digunakan sebagai indikator dampak dari praktek pertanian yang berlangsung secara terus-menerus dalam jangka panjang. Hal ini dikarenakan mikrobial tanah memiliki peran yang sangat penting dalam memelihara, memungsikan dan melestarikan agroekosistem (Silva dkk., 2013). Mikrobial tanah berperan terutama dalam proses siklus C dan siklus N yang secara langsung menentukan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman. Mereka mempengaruhi proses-proses dalam tanah, seperti mendekomposisikan bahan organik, menstabilkan struktur tanah, serta menjaga kualitas dan kesehatan tanah (Yang dkk., 2013). Dengan demikian dampak dari praktek pertanian intensif dalam jangka panjang dapat mengubah keragaman dan aktivitas biota tanah (Silva dkk., 2013). Struktur komunitas yang memadai, keragaman yang melimpah dan aktivitas mikrobial yang tinggi merupakan faktor penting untuk memelihara kelestarian dan produktivitas ekosistem tanah (Fu dkk., 2017).

Menurut Tiquia dkk. (2002) praktek-praktek pengelolaan lahan seperti pemupukan, pergiliran tanaman, penggunaan bahan organik dan pengolahan tanah dapat mempengaruhi komunitas mikrobial tanah. Pertumbuhan mikrobial dalam tanah selalu dibatasi oleh kandungan bahan organik, penambahan bahan organik akan meningkatkan pertumbuhan secara cepat. Ketersediaan dan komposisi bahan organik merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap biomas dan komposisi komunitas mikrobial. Karena mereka menggunakan sumber bahan organik dengan C/N tinggi, maka ketika C/N di bawah 30 akan menghambat pertumbuhan populasi mikrobial.

Di masa depan, kedaulatan negara ditentukan oleh kecukupan pangan, energi dan air bersih bagi seluruh warganya. Ketiga kebutuhan tersebut sangat terkait dengan kelestarian lingkungan. Untuk memenuhi kebutuhan pangan salah satu upaya yang dilakukan pemerintah adalah mengkonversi lahan hutan menjadi lahan pertanian. Di lain sisi konversi lahan hutan yang berlebihan dapat mengancam kelestarian hutan dan penyediaan air. Oleh karena itu peningkatan produktivitas tanaman pangan diupayakan tanpa menambah luasan lahan, sehingga diperlukan usaha pengolahan tanah, pemupukan dan pengendalian hama dan penyakit tanaman. Sampai saat ini, pemanfaatan energi

hampir di sebagian negara masih bertumpu pada bahan bakar minyak juga telah mendorong terjadinya perubahan iklim. Dengan demikian, masalah lingkungan yang dihadapi adalah deforestasi hutan, pertanian intensif dan perubahan iklim. Review ini mengkaji dampak aktivitas manusia di bidang pertanian intensif, deforestasi hutan dan perubahan iklim terhadap komunitas mikrobia yang terdapat di rhizosfir yang ditelaah dari berbagai sumber terbaru dengan metode induktif.

### **PRAKTEK PERTANIAN INTENSIF DAN KOMUNITAS RHIZOSFIR**

Sudah menjadi pemahaman umum bahwa pertanian intensif mengubah sifat-sifat fisik (melalui pengolahan tanah) dan kimia tanah (melalui pemupukan dan penggunaan pestisida), yang dapat mempengaruhi komunitas mikrobia tanah secara langsung. Di samping itu, pertanian intensif umumnya dilakukan secara monokultur. Komunitas mikrobia tanah menjalankan peranan penting dalam proses-proses siklus hara yang mempengaruhi kualitas tanah, produktivitas tanaman dan kelestarian lingkungan. Berikut akan dirinci dampak masing-masing kegiatan terhadap komunitas mikrobia di rhizosfir.

#### **Monokulturisasi**

Sistem monokultur dalam pertanian intensif dilakukan untuk mempermudah pengelolaan, karena jenis yang sama memerlukan pemeliharaan yang sama dan waktu panen serempak. Tumbuhan ternyata membangun kehidupan sosial di antara mereka melalui isyarat kimia dengan mengeluarkan senyawa, misalnya glukosinolat yang berfungsi untuk merespon kehadiran tetangga. Glukosinolat merupakan metabolit sekunder yang mengandung sulfur yang sangat toksik terhadap patogen dengan daya tekan sesuai dengan komposisi kimia dan konsentrasinya (Lin dkk., 2015). Jumlah glukosinolat akan makin menurun ketika suatu tegakan tanaman memiliki biodiversitas yang rendah. Makin seragam jenis tumbuhan yang dibudidayakan (monokultur) macam dan konsentrasi glukosinolat makin rendah sehingga makin rentan terhadap kehadiran patogen. Oleh karena itu pada tanaman yang dibudidayakan secara monokultur setelah beberapa rotasi akan menjadi mudah terserang penyakit.

Berubahnya produksi eksudat akar akibat monokulturisasi akan memberi dampak terhadap komunitas mikrobia di rhizosfir. Hasil penelitian Fu dkk. (2017) menunjukkan adanya perubahan dinamika populasi mikrobia rhizosfir tanaman tomat yang dibudidayakan secara monokultur

selama 7–13 tahun secara terus menerus. Demikian juga pada tanaman kapas dan mentimun. Dalam kurun waktu tersebut terjadi perubahan total mikrobia tanah, kemelimpahan bakteri, fungi dan aktinomisetes tanah, serta rasio bakteri/fungi. Hal ini karena budidaya monokultur secara terus menerus memacu kerusakan sifat-sifat kimia tanah. Padahal aktivitas mikrobia tanah sangat berkorelasi dengan ketersediaan bahan organik, kandungan N dan K. Karena kandungan nutrisi tanah akan mengatur populasi mikrobia tanah (Fu dkk., 2017). Menurut Silva dkk. (2013) pergiliran tanaman dapat sedikit mengurangi dampak menurunnya keragaman mikrobia tanah.

Penelitian Lin dkk. (2015) selama beberapa dekade terakhir menunjukkan bahwa budidaya monokultur secara terus menerus telah mendorong terjadinya ketidakseimbangan unsur hara dalam tanah, meningkatkan kandungan autotoksin sehingga mengubah struktur komunitas rhizosfir. Tanaman merupakan fihak yang menentukan struktur komunitas rhizosfirnya melalui eksresi eksudat akar, di mana produksi eksudat akar ke dalam tanah dipengaruhi oleh jenis dan umur tanaman. Pada lahan monokultur maka jenis dan umur tanaman sama, sehingga akan terjadi penumpukan suatu senyawa dan kekurangan senyawa yang lain di rhizosfir. Hal ini tentu saja akan mengubah struktur komunitas rhizosfir (Lin dkk., 2015).

Perubahan struktur komunitas rhizosfir akan mengubah aktivitas enzim-enzim tanah yang dihasilkan oleh mikrobia tersebut. Sehingga aktivitas enzim dalam tanah juga merupakan salah satu indikator potensial yang sensitif untuk menggambarkan kualitas tanah. Fu dkk. (2017) menyatakan bahwa perubahan indikatif kualitas tanah dapat terjadi akibat praktek pengelolaan tanaman dan dapat digunakan untuk memonitor aktivitas mikrobia tanah yang berkaitan dengan transformasi unsur hara. Aktivitas enzim-enzim utama tanah seperti invertase, urease, alkalin fosfatase meningkat pada praktek pergiliran tanaman, sebaliknya urease dan alkalin fosfatase akan menurun pada pertanian monokultur. Hal ini sejalan dengan penelitian (Lin dkk., 2015), bahwa pada lahan monokultur tanaman *Pseudostelaria heterophylla* aktivitas enzim invertase, polifenol-oksidasase dan urease lebih rendah 180%, 120% dan 150% dibanding lahan yang dirotasi dengan padi dan 140%, 105% dan 190% lebih rendah dibanding dirotasi dengan kacang-kacangan.

Penelitian Marais dkk. (2012) menunjukkan varietas tanaman memiliki pengaruh yang signifikan terhadap asosiasi dengan komunitas rhizosfir. Pada lahan monokultur gandum secara terus menerus dan yang dirotasi dengan legum

pakannya terdapat perbedaan yang mencolok. Pada lahan monokultur terjadi penurunan protozoa dan bakteri tanah secara signifikan pada bulan basah dan dingin (Agustus) sebaliknya pada lahan yang dirotasi populasi protozoa relatif konstan (Marais dkk., 2012). Hasil penelitian Lin dkk. (2015) menunjukkan bahwa terdapat 4 kelompok bakteri fungsional yang mengalami penurunan secara signifikan akibat budidaya monokultur *P. heterophylla*. Kelompok-kelompok bakteri tersebut adalah yang terlibat siklus N (*Selenomonas ruminantium* dan *Frankia*), terlibat dalam siklus S (*Sulfobacillus*), terlibat dalam sintesis karbohidrat (*Rhodopila globiformis*), dan berfungsi sebagai probiotik (*Desulfitobacterium dehalogenans* dan *Sphingomonas*).

Hasil penelitian pada budidaya tanaman lada secara monokultur di China selama 12, 18, 28 dan 38 tahun menunjukkan bahwa budidaya monokultur dalam jangka panjang telah menurunkan kualitas lahan, menurunkan produktivitas, serta meningkatkan terjadinya serangan hama dan penyakit tular tanah yang serius (Li dkk., 2016). Patogen yang teridentifikasi mengalami peningkatan populasi misalnya penyebab layu *Phytophthora* spp dan *Fusarium* spp akibat hilangnya bakteri antagonis *Pseudomonas* spp dan *Bacillus* spp. Adapun hama yang banyak ditemukan adalah nematoda yang menyerang akar tanaman (Li dkk., 2016).

### **Pengolahan Tanah (Tillage)**

Pengolahan tanah umumnya dilakukan dengan pembajakan yang ditujukan untuk mengemburkan tanah serta membalikkan lapisan olah tanah (umumnya sedalam 20 cm). Namun pembalikan lapisan atas tanah akan membunuh organisme tanah yang berada di lapisan dalam tanah. Pengolahan tanah juga dapat merusak porositas tanah akibat penggaruan.

Penelitian yang dilakukan oleh Silva dkk. (2013) pada lahan pertanian intensif selama 26 tahun dan 10 tahun menunjukkan bahwa pengolahan tanah menurunkan keragaman mikrobiota tanah. Ketika dianalisis menggunakan Index Shannon menunjukkan adanya keseragaman pada daerah yang diperlakukan dengan pengolahan tanah. Beberapa kelompok mikrobiota fungsional yang bertanggung jawab terhadap fungsi-fungsi tanah tidak ditemukan. Dengan demikian komunitas mikrobiota hanya didominasi oleh beberapa kelompok saja. Hal ini sejalan dengan penelitian (De Quadros dkk., 2012), bahwa secara keseluruhan keragaman komunitas tanah selalu lebih tinggi (pada tingkat ordo, family, genus dan species) pada lahan tanpa olah dibanding dengan sistem pengolahan tanah apapun. Bakteri anaerob

merupakan kelompok yang dimusnahkan akibat pengolahan tanah karena masuknya oksigen ke dalam lapisan tanah.

Salah satu contoh kelompok fungsional yang penting adalah mikoriza terutama Arbuskula Mikoriza (AM) yang berasosiasi dengan 90% tanaman terestrial. Menurut Mirás-Avalos dkk. (2011) pertanian Tanpa Olah Tanah (TOT) dapat meningkatkan kolonisasi AM pada akar tanaman. Hal ini diduga TOT memiliki keragaman propagul tinggi sehingga kemungkinan terjadinya asosiasi ketika ditanami bibit menjadi lebih tinggi. Pengolahan tanah dapat mengubah keragaman propagul. Hal ini penting karena secara umum telah difahami bahwa simbiosis AM memberikan dampak terhadap fungsi ekosistem tanah, misalnya membantu menstabilkan agregat tanah, memacu perombakan dan penyimpanan karbon, serta membantu tanaman bertahan terhadap patogen dan kekeringan. Pada tanah dengan olah tanah minimal atau TOT disinyalir memiliki metabolisme lebih baik terhadap N, P, S dan malat dalam tanah demikian juga senyawa-senyawa anti mikrobiota (Mahoney dkk., 2017).

Penurunan komunitas mikrobiota menurut Yang dkk. (2013) karena pengolahan tanah dapat menghilangkan residu pemanenan sebagai sumber Bahan Organik Tanah (BOT) sebesar 8-12%. Bahkan untuk daerah non rhizosfir hilangnya bisa mencapai 15%. Mikrobiota non rhizosfir menggantungkan sumber BOT dari serasah, adapun mikrobiota rhizosfir tergantung pada aktivitas tanaman inangnya yang juga dipengaruhi oleh aktivitas mikrobiota dan sistem perakaran. Mirás-Avalos dkk. (2011) menyatakan bahwa pengolahan tanah mengakibatkan tanah memiliki kelembaban, kandungan amonium dan nitrat serta emisi N<sub>2</sub>O yang berbeda yang akan menyeleksi populasi komunitas mikrobiota.

### **Pemupukan**

Untuk mendapatkan produktivitas yang tinggi pada budidaya monokultur yang dilakukan terus menerus harus ditempuh melalui pemupukan. Hal ini karena pada lahan tersebut akan mengalami pengurusan hara. Pupuk yang ditambahkan dapat berupa pupuk organik atau anorganik. Pupuk anorganik akan meningkatkan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dengan segera. Tetapi penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan dan tidak tepat akan menyebabkan serangkaian masalah lingkungan dan degradasi tanah (Zhu dkk., 2016).

Penggunaan pupuk anorganik dalam waktu yang lama juga akan memberikan dampak negatif bagi tanah. Hal ini seperti yang dilaporkan oleh Dermiyati dkk. (2011) bahwa penggunaan pupuk

urea pada lahan tanpa olah ternyata dapat menurunkan populasi mikrobial menguntungkan. Hal ini diduga pada tanah yang tidak diolah akan mengalami kompaksi sehingga menurunkan jumlah oksigen ( $O_2$ ) dalam tanah sehingga akan menurunkan populasi mikrobial tanah. Kompaksi tanah terjadi karena bahan campuran pada pupuk urea telah terbukti dapat memadatkan tanah.

Hasil penelitian Ai dkk. (2013) menunjukkan bahwa pemberian pupuk N secara besar-besaran dapat meningkatkan potensial Aktivitas Nitrifikasi (PAN) dan melimpahnya Bakteri Pengoksidasi Ammonia (BPA). Mikrobial pengoksidasi ammonia merupakan organisme yang pertama kali berperan pada proses nitrifikasi yang memegang kunci siklus N di alam yang menyediakan N dari pupuk, melepaskan  $NO_3$  dan  $NO_2$  yang dapat digunakan oleh tanaman tetapi sekaligus melepaskan gas  $N_2O$  (yang merupakan gas rumah kaca) dan  $N_2$ . Hasil penelitian (Zhu dkk., 2015) menyatakan bahwa penambahan pupuk N dapat menurunkan biomas mikrobial, aktivitas enzim ekstraseluler, dan laju mineralisasi N dari bahan organik serta komposisi struktur komunitas mikrobial pada tanaman padi di China. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian (Phillips dan Fahey, 2007) di Tompkins, Amerika Serikat, bahwa penambahan pupuk N di hutan tanaman ternyata menurunkan aktivitas mikrobial tanah baik pada daerah rhizosfir maupun non rhizosfir, tetapi daerah rhizosfir lebih terdampak. Pemupukan dapat menurunkan populasi mikrobial 16–19% pada tegakan oak merah (*Quercus rubra*) umur 65 tahun, maple (*Acer saccharum*) umur 65 tahun, dan birch (*Betula allegheniensis*) umur 85 tahun. Pada tanaman oak pemupukan juga menekan populasi mikoriza 18% dan aktivitas mikrobial rhizosfir sebesar 43%. Sedangkan pada tegakan maple pemupukan menurunkan biomas akar 22%, kolonisasi mikoriza 16% serta aktivitas mikrobial rhizosfir 46%. Pada tanaman birch hanya menurunkan aktivitas mikrobial sebesar 36%.

Sebaliknya penggunaan pupuk organik akan memberikan dampak positif terhadap populasi mikrobial tanah. Hasil penelitian Zhu dkk. (2016) menunjukkan bahwa mikoriza arbuskular (endomikoriza) pada akar tanaman jagung akan berubah secara drastis pada perbedaan regim pemupukan. Penambahan pupuk kandang akan memperbaiki aktivitas MA, diikuti oleh pupuk N dan pupuk P anorganik. Penggunaan pupuk kandang dapat meningkatkan kandungan BOT sehingga akan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, terutama memperbaiki populasi dan keragaman mikrobial tanah (Zhu dkk., 2016).

## Penggunaan Pestisida

Seperti telah dibahas pada sub bab monokultur di atas, bahwa salah satu kendala budidaya intensif melalui pola monokultur adalah meningkatnya serangan hama dan penyakit akibat tanaman menjadi lebih rentan. Hal ini memerlukan upaya penanganan yang serius. Upaya yang paling umum dilakukan adalah menggunakan pestisida atau menggunakan organisme pengendali (biokontrol). Pestisida merupakan senyawa atau campuran senyawa yang digunakan untuk mencegah, menghancurkan, mengusir atau menekan hama, penyakit atau gulma. Kelompok utama pestisida adalah fungisida, herbisida dan insektisida (Newman dkk., 2016a).

Sudah difahami bahwa kesuburan tanah tidak hanya tergantung pada sifat fisik seperti tekstur tetapi juga ditentukan oleh mikrobial menguntungkan yang ada di dalam tanah. Keragaman mikrobial tanah kemungkinan berubah mengikuti penggunaan pestisida. Karena pestisida kimia umumnya bersifat membunuh sehingga juga mempengaruhi komunitas rhizosfir. Perubahan struktur komunitas mikrobial tanah akan berdampak pada kesuburan tanah. Mikrobial tanah berperan penting pada proses-proses yang menentukan kesuburan tanah maka penggunaan pestisida untuk melindungi tanaman akan berdampak secara langsung maupun tidak langsung terhadap proses tersebut.

Glifosat merupakan salah satu bahan aktif herbisida yang paling banyak digunakan di sektor pertanian. Jumlah glifosat bahan organik tanah mencapai 1,35 juta metrik ton per tahun pada tahun 2017. Glifosat banyak digunakan karena terbukti selama 10 tahun tidak membunuh tanaman selain gulma. Namun perlu diperhatikan dampak negatifnya terhadap organisme non sasaran di dalam tanah misalnya mikrobial yang terpapar secara terus menerus. Karena mikrobial tanah berperan penting dalam menentukan fungsi tanah, produktivitas tanaman dan kesehatan ekosistem (Newman dkk., 2016a).

Dampak dari penggunaan pestisida terhadap populasi mikrobial tanah dan kaitannya dengan siklus unsur hara telah dilakukan oleh Lo (2010) di lahan pertanian di Taiwan yang telah memanfaatkan 21 jenis pestisida selama 20 tahun. Beberapa pestisida ditemukan memacu tetapi sebagian yang lain menekan populasi mikrobial tanah. Karbofuran dapat meningkatkan populasi mikrobial penambat nitrogen asosiatif maupun yang hidup bebas, seperti *Azospirillum* tetapi butaklor bahkan menekan populasi mikrobial tersebut. Contoh lain pestisida berbahan aktif diuron dan kloroturon tidak mempengaruhi populasi mikrobial

**Tabel 1.** Dampak penggunaan pestisida terhadap mikrobia tanah

Bahan aktif (jenis pestisida)	Asal tanah	Dampak terhadap mikrobia tanah
Butaklor (Herbisida) Carbary (Insektisida) Carbofuran (Insektisida)	Padi sawah	Butaklor (20 µg/g) dan karbofuran (2 µg/g) menurunkan populasi <i>Azospirillum</i> dan bakteri penambat N anaerob. Karbofuran (4 µg/g) meningkatkan populasi <i>Azospirillum</i> dan bakteri penambat N anaerob.
Diflubenzuron (Insektisida)	Ladang jagung	Diflubenzuron (100~500 µg/g) meningkatkan aktivitas bakteri penambat dinitrogen ( <i>Azotobacter vinelandii</i> ).
Metilpyrimifos (Insektisida) Chlorpyrifos (Insektisida)	Ladang jagung	Methylpyrimifos (100~300 µg/g) atau chlorpyrifos (10~300 µg/g) menekan secara drastis bakteri penambat N aerob
Metsulfuron metil (Herbisida), Klorsulfuron (Herbisida), Thifensulfuron metil (Herbisida)	Tanah pertanian	Menekan populasi bakteri antagonis <i>fluorescent pseudomonads</i> (77 strains).
Fenamifos (Insektisida)	Tanah kosong	Tidak toksik terhadap aktivitas enzim dehidrogenase dan urease tetapi merusak proses nitrifikasi dalam tanah.

(Sumber: Lo, 2010)

tanah. Namun pestisida organo fosfat seperti glyfosat dan metamidofos akan memacu pertumbuhan mikrobia tanah. Sebaliknya organofosfat yang lain, fenamifos bahkan menghancurkan populasi bakteri nitrifikasi (Tabel 1). Hasil penelitian (Newman dkk., 2016b) pada tanah yang diperlakukan dengan herbisida glifosat populasi bakteri gram positif, aktinobakteria, mikoriza, dan jamur tanah menurun secara signifikan. Lebih lanjut menurut (Newman dkk., 2016)<sup>b</sup> menurunnya populasi tersebut karena dari hasil analisis ekspresi DNA menggunakan *RNA-sequence* menunjukkan bahwa beberapa fungsi gen mengalami penurunan fungsi. Yaitu gen-gen yang mengendalikan metabolisme: karbohidrat menurun 22%, asam amino 16%, *clustering-based subsystems* (11%), respirasi (9%), asam lemak dan metabolisme lemak (7%), protein (7%), *membrane transport* (4%), senyawa aromatis (4%), pembelahan sel (2%), pembentukan dinding sel dan kapsul (2%), cofactor dan vitamin (2%), akuisisi besi (2%), nitrogen (2%), fosfor (2%), dan yang mengatur fotosintesis (2%).

Sebaliknya pengendalian hama penyakit menggunakan agen biologis (biokontrol) misalnya menggunakan *Pseudomonas fluorescence* yang dapat menghasilkan senyawa anti mikrobia 2,4-diacetylphoroglucinol (2,4-DAPG) sinyalarir dapat meningkatkan populasi di rhizosfir. Bakteri dari genus *Arthrobacter*, *Chryseobacterium*, dan *Flavobacterium* akan meningkat populasinya karea adanya senyawa 2,4-DAPG yang dihasilkan oleh *P. Fluorescence* (Mahoney dkk., 2017).

Penelitian perubahan fungsi hutan juga telah dilakukan di hutan Amazon, Brazil oleh Fracetto dkk. (2013) bahwa terjadi pergeseran filum jamur yang mendominasi areal yang tadinya hutan diubah menjadi lahan pertanian dan padang penggembalaan. Di samping itu juga terjadi

penurunan populasi jamur yang diduga berkaitan dengan menurunnya tingkat tutupan lahan. Komunitas jamur yang diisolasi dari padang penggembalaan memiliki struktur dan komposisi yang paling berbeda dibandingkan dengan lingkungan lainnya. Hal ini berkaitan dengan aktivitas yang paling intensif pada lahan tersebut, baik aktivitas rumput, manusia maupun ternak yang hidup di atasnya. Fracetto dkk. (2013) menegaskan bahwa perubahan fungsi lahan akan merubah komposisi vegetasi, hal ini akan mengubah kualitas substrat dan ketersediaan nutrien bagi jamur tanah, sehingga akan mengubah struktur komunitas jamur tersebut. Jamur tanah sangat berperan pada proses dekomposisi dan mineralisasi unsur hara yang penting untuk kehidupan di ekosistem tersebut.

Penelitian dampak perubahan fungsi hutan alam menjadi lahan intensif (kebun karet, kebun kelapa sawit dan ladang tanaman pangan) di Sumatera telah dilakukan oleh Schneider dkk. (2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perubahan drastis komunitas mikrobia tanah akibat perubahan fungsi lahan tersebut. Kelompok bakteri yang paling banyak ditemukan pada lahan hutan yang telah dikonversi adalah *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, dan *Gammaproteobacteria*. Secara keseluruhan komunitas bakteri berganti dari kelompok proteobacterial pada hutan alam menjadi kelompok *Acidobacteria* pada lahan perkebunan. Anggota arkaea yang ditemukan adalah *Thaumarchaeota* dan *Euryarchaeota*.

*Thaumarchaeota* mendominasi ekosistem hutan hujan tropis dan *Thermoplasmata* banyak ditemukan di daerah perkebunan. Kelompok prokariotik alfa dan beta lebih banyak ditemukan di daerah yang diusahakan (perkebunan) dibandingkan di hutan alam. Kelompok bakteri sangat berkaitan dengan perubahan properti tanah,

misalnya pH, Ca dapat ditukar, kandungan Fe, C/N rasio dan kandungan P tersedia. Kelompok arkaea komposisi dan kemelimpahannya dipengaruhi oleh pH, Fe dapat ditukar, kandungan air dan N total. Kedua kelompok tersebut terlibat dalam siklus N, sehingga hal ini juga menunjukkan adanya pergeseran siklus tersebut selama terjadinya perubahan fungsi dari hutan menjadi perkebunan.

Salah satu aktivitas yang dilakukan pada budidaya intensif adalah pemangkasan (*pruning*), yang ditujukan untuk memperbaiki pertumbuhan pohon maupun untuk meningkatkan produktivitas komoditas yang dipanen daunnya seperti teh dan kilemo. Hasil penelitian Widyati, (2016) menunjukkan bahwa pemangkasan pada tanaman kilemo dapat menurunkan kandungan gula tanah secara drastis. Pada hari ke-10 setelah pemangkasan jumlah gula yang disekresikan ke daerah rhizosfir mengalami penurunan sebesar 22% dibanding tanaman yang tidak dipangkas. Penurunan tersebut makin menurun menjadi 29, 31, 41, and 40%, pada hari ke 30, 60, 90 dan 120 setelah dipangkas. Hal ini mendorong terjadinya penurunan populasi mikrob-mikrobia fungsional di rhizosfir seperti mikrobia pelarut fosfat, mikrobia penambat nitrogen dan mikrobia pendegradasi selulosa secara signifikan pada hari ke 30, 60, 90 dan 120 setelah perlakuan.

### Perubahan Iklim dan Komunitas Rhizosfir

Aktivitas deforestasi, penggunaan bahan bakar fosil untuk industri dan transportasi, serta penggunaan pupuk secara masiv di sektor pertanian ditengarai telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di udara. Hal ini telah menyebabkan adanya pemanasan global yang telah mengubah pola hujan dan kekeringan, tentu saja juga memberi dampak terhadap aktivitas makhluk hidup, termasuk mikrobia tanah. Menurut Classen dkk. (2015), perubahan iklim telah mengubah penyebaran species dan mempengaruhi interaksi antar makhluk hidup. Oleh karena itu dampak perubahan iklim terhadap interaksi tanaman-mikrobia tanah dan hubungan mikrob-mikrobia tanah juga perlu mendapat perhatian. Mengingat mikrobia tanah mengatur transformasi unsur hara, menyediakan nutrisi bagi tanaman, mengatur hubungan antar tetangga, dan mengendalikan populasi tanaman. Perubahan interaksi mikrobia tanaman dapat mengubah komposisi komunitas tanaman sehingga akan mengubah fungsi ekosistem secara keseluruhan.

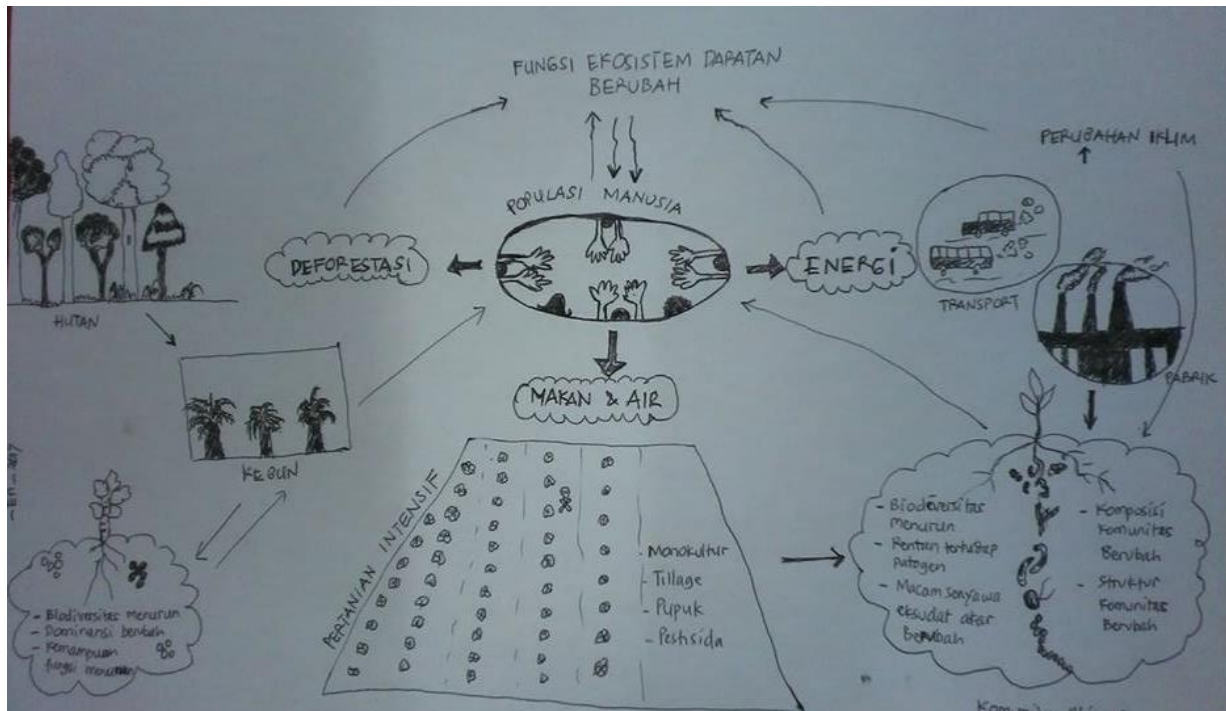
Perubahan iklim dapat merubah kemelimpahan relatif dan fungsi dari mikrobia tanah karena mereka mempunyai tingkat kerentanan suhu

terhadap fisiologis dan laju pertumbuhan yang berbeda-beda. Perubahan suhu mencapai 58 °C di hutan daerah *temperate*, mengubah rasio bakteri dan fungi di komunitas tersebut karena meningkatnya populasi bakteri secara drastis. Pergeseran komposisi komunitas mikrobia akan merubah fungsi ekosistem karena masing-masing organisme tanah membawa sifat fungsi mereka di ekosistem, mengendalikan faktor pembatas atau mengendalikan tahapan proses. Sebagai contoh golongan mikrobia yang berfungsi di ekosistem sebagai penyedia N bagi tanaman terdiri atas 4 kelompok; penambat N dari udara, nitrifikasi, denitrifikasi dan metanogenesis. Perubahan kemelimpahan relatif salah satu kelompok mikrobia dapat memberikan dampak langsung terhadap proses penyediaan N yang seimbang bagi tanaman dan ekosistem (Classen dkk., 2015).

Menurut Beier dkk. (2015) peningkatan suhu tanah telah meningkatkan laju respirasi tanah yang menjadi salah satu indikator populasi mikrobia tanah. Selama 3 tahun penelitian total respirasi tanah meningkat 38%, sehingga akan meningkatkan laju dekomposisi bahan organik. Peningkatan suhu tanah ternyata meningkatkan populasi bakteri tanah dan jamur tanah. Hal ini sejalan dengan Classen dkk. (2015) bahwa mikrobia tanah sensitif terhadap perubahan suhu tanah. Metabolisme mikrobia tanah, termasuk respirasi dan pertumbuhan biomasnya akan meningkat sejalan dengan meningkatnya suhu, sehingga proses dekomposisi bahan organik juga akan meningkat. Berubahnya komunitas mikrobia rhizosfir yang berasosiasi dengan tanaman, akan mengubah pertumbuhan dan keragaan tanaman inangnya. Perubahan iklim mengubah komunitas mikrobia rhizosfir di dalam tanah, akan menentukan komposisi jenis tumbuhan yang ada di atas tanah, pertumbuhan dan keragaannya serta pengaruhnya terhadap fungsi ekosistem. Salah satu contoh yang nyata adalah terjadinya persemakan (*shrubification*) di ekosistem *arctic*. Karena awalnya berupa padang rumput kemudian berubah menjadi semak berkayu hal ini akan mengubah populasi hewan di lingkungan tersebut. Hal ini menjadi berbahaya apabila tumbuhan yang sukses berkembang adalah yang memiliki sifat invasif sehingga akan mengubah ekosistem setempat. Dampak aktivitas manusia terhadap komunitas rhizosfir diringkas pada Gambar 1.

### PERTANIAN ORGANIK DAN TANPA OLAH TANAH

Pertanian organik mulai populer pada akhir abad ke – 20 karena meningkatnya kesadaran



**Gambar 1.** Ringkasan dampak aktivitas manusia terhadap populasi mikrobia tanah

masyarakat akan dampak negatif praktek pertanian intensif (pemupukan, pengolahan tanah, pestisida, dan lain-lain) dan kebutuhan akan makanan yang aman dan sehat. Gardner dkk. (2011) menyatakan bahwa, praktek pertanian organik menjaga keanekaragaman hayati melalui penganekaragaman jenis tanaman serta menghindari penggunaan bahan kimia melalui material organik sisa panen sebagai kompos. Fokus utama pertanian organik adalah untuk memelihara dan memperbaiki kesehatan tanah, kemampuan tanah untuk berfungsi vital dalam sistem kehidupan yang tergantung pada aktivitas mikrobia tanah sebagai pendekomposisi bahan organik dan siklus nutrisi. Komunitas mikrobia merupakan aktor kunci utama berfungsi dan lestarnya ekosistem karena mereka menghasilkan enzim-enzim yang diperlukan untuk mendekomposisikan bahan organik. Hasil penelitian Gardner dkk. (2011) di Alabama menunjukkan bahwa pada pertanian organik memiliki diversitas mikrobia yang beragam serta aktivitas enzim yang berbeda-beda tergantung jenis tanaman yang diusahakan. Mikrobia yang memiliki keragaman yang tinggi tersebut selain meningkatkan pertumbuhan juga akan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen karena sebagian dari mereka ada yang berperan sebagai agen biokontrol.

Selain pertanian organik, praktek pertanian lain yang dikenal ramah lingkungan adalah TOT. De Quadros dkk. (2012) membuktikan pada pertanian TOT dapat menjadi salah satu upaya

konservasi tanah terbaik. Hasil kajian di Amerika Serikat, Argentina dan Brazil menunjukkan bahwa residu hasil panen pada sistem pertanian TOT selain meningkatkan kandungan N dan C organik juga meningkatkan kandungan BOT, menjaga kelembaban tanah dan menurunkan suhu tanah pada musim panas. Di samping itu, sistem ini juga meningkatkan kandungan Karbon Organik Tanah (KOT) sehingga meningkatkan biomas mikrobia pada permukaan tanah dibandingkan dengan sistem pertanian konvensional yang menurunkan KOT serta menekan biomas mikrobia tanah.

### KESIMPULAN

Sebelum mengenal budidaya intensif kearifan lokal telah diterapkan di berbagai budaya bangsa Indonesia dalam menjaga kelestarian makhluk hidup di dalam tanah yang diyakini membantu petani memelihara kesuburan tanah. Di Jawa Tengah petani akan membenamkan rumput ke dalam lumpur ketika melakukan kegiatan penyiangan tanaman padi. Di beberapa daerah petani akan membiarkan jerami padi yang telah dibabat membusuk di sawah sambil menunggu masa bera. Hal ini akan menjadikan jerami tersebut sebagai sumber pakan bagi berbagai meso fauna tanah yang selanjutnya akan membusuk menjadi BOT yang dimanfaatkan oleh berbagai mikrobia tanah. Di Sumatera Barat petani menggunakan cangkul bertangkai panjang dengan mata yang tipis, hal ini akan mencegah kerusakan fisik tanah



sehingga dapat menjaga populasi mikrobia tanah. Di Kalimantan terdapat kearifan lokal pada peladangan berpindah, ketika sudah 3 siklus maka peladangan akan berpindah ke lokasi lain sehingga ladang yang ditinggalkan akan kembali subur. Dengan demikian, manusia memegang kendali dalam menjaga keseimbangan kehidupan di bumi. Tetapi di lain sisi, kecerobohan dan ketidakpedulian manusia juga yang akan menyebabkan alam mengendalikan populasi manusia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ai, C., Liang, G., Sun, J., Wang, X., He, P., and Zhou, W., 2013. Different Roles of Rhizosphere Effect and Long-Term Fertilization in The Activity And Community Structure of Ammonia Oxidizers in A Calcareous Fluvo-Aquic Soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 57(30771256):30–42.
- Beier, C., Ambus, P., Arndal, M.F., Christensen, S., Holmstrup, M., Larsen, K.S., and Pilegaard, K., 2015. *Impacts of Climate Change on Terrestrial Ecosystem Functioning – An Overview. Department of Chemical and Biochemical Engineering, Søtøfts Plads, Building 229, DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark (Vol. CLIMA!TE).*
- Classen, A., Sundqvist, M.K., Henning, J.A., Newman, G.S., Moore, J.A., Cregger, M.A., and Patterson, C.M., 2015. Direct and Indirect Effects of Climate Change on Soil Microbial and Soil Microbial-Plant Interactions: What Lies Ahead? *Ecosphere*, 6(8):art130.
- De Quadros, P.D., Zhalnina, K., Davis-Richardson, A., Fagen, J.R., Drew, J., Bayer, C., and Triplett, E.W., 2012. The effect of Tillage System and Crop Rotation on Soil Microbial Diversity and Composition In A Subtropical Acrisol. *Diversity*, 4(4):375–395.
- Dermiyati, E.F., Utomo, M., Arif, M.A.S., dan Nugroho, S G., 2011. Soil Microbial Biomass Carbon Under Rhizosphere and Non-Rhizosphere of Maize After A Long-Term Nitrogen Fertilization and Tillage Systems. *Journal of Tropical Soils*, 16(1):63–68.
- Fracetto, G.G.M., Azevedo, L.C.B., Fracetto, F.J.C., Andreote, F.D., Lambais, M R., and Pfenning, L.H., 2013. Impact of Amazon Land Use on The Community of Soil Fungi. *Scientia Agricola*, 70(2):59–67.
- Fu, H., Zhang, G., Zhang, F., Sun, Z., Geng, G., and Li, T., 2017. Effects of Continuous Tomato Monoculture on Soil Microbial Properties and Enzyme Activities in a Solar Greenhouse. *Sustainability*, 9(2):317.
- Gardner, T., Acosta-Martinez, V., Senwo, Z., and Dowd, S.E., 2011. Soil Rhizosphere Microbial Communities and Enzyme Activities Under Organic Farming in Alabama. *Diversity*, 3(3):308–328.
- Kesumadewi A.A.I., Iswandi, A., Santosa, D.A., dan Sisworo, E.L., 2000. Contribution Level of Nitrogen by Soil, Fertilizers and Pseudomonas Putida Like on Sorghum Planted in Inceptisol Soil, South Sumatra (Indonesia). *Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, Jakarta*
- Lakshmanan, V., Selvaraj, G., and Bais, H.P., 2014. Functional Soil Microbiome: Belowground Solutions to An Aboveground Problem. *Plant Physiology*, 166(2):689–700.
- Li, Z., Zu, C., Wang, C., Yang, J., Yu, H., and Wu, H., 2016. Different Responses of Rhizosphere and Non-Rhizosphere Soil Microbial Communities to Consecutive Piper nigrum L. monoculture. *Scientific Reports*, 6(10):35825.
- Lin, S., Huangpu, J.J., Chen, T., Wu, L.K., Zhang, Z.Y., and Lin, W.X., 2015. Analysis of Soil Microbial Community Structure and Enzyme Activities Associated with Negative Effects of Pseudostellaria Heterophylla Consecutive Monoculture on Yield. *Pakistan Journal of Botany*, 47(2):761–769.
- Lo, C.C., 2010. Effect of Pesticides on Soil Microbial Community. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 45(4):348–359.
- Mahoney, A.K., Yin, C., and Hulbert, S.H., 2017. Community Structure, Species Variation, and Functional Characterization of Rhizosphere-Associated Bacteria of Different Winter Wheat (*Triticum aestivum*) Cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 8(2):132.
- Marais, A., Hardy, M., Booyse, M., and Botha, A., 2012. Effects of Monoculture, Crop Rotation, and Soil Moisture Content on Selected Soil Physicochemical and Microbial Parameters in Wheat Fields. *Applied and Environmental Soil Science*, <https://doi.org/10.1155/2012/593623>
- Mirás-Avalos, J.M., Antunes, P.M., Koch, A., Khosla, K., Klironomos, J.N., and Dunfield, K.E., 2011. The Influence of Tillage on The Structure of Rhizosphere and Root-Associated Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities. *Pedobiologia*, 54(4), 235–241.
- Newman, M.M., Hoilett, N., Lorenz, N., Dick, R.P., Liles, M.R., Ramsier, C., and Kloepper, J.W., 2016a. Glyphosate Effects on Soil Rhizosphere-Associated Bacterial

- Communities. *Science of the Total Environment*, 543:155–160.
- Newman, M.M., Lorenz, N., Hoilett, N., Lee, N.R., Dick, R.P., Liles, M.R., and Kloepper, J.W., 2016b. Changes in Rhizosphere Bacterial Gene Expression Following Glyphosate Treatment. *Science of the Total Environment*, 553:32–41.
- Phillips, R.P., and Fahey, T.J., 2007. Fertilization Effects on Fineroot Biomass, Rhizosphere Microbes and Respiratory Fluxes in Hardwood Forest Soils. *New Phytologist*, 176(3):655–664.
- Prashar, P., Kapoor, N., and Sachdeva, S., 2014. Rhizosphere: Its Structure, Bacterial Diversity and Significance. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 13(1):63–77.
- Sanguin, H., Sarniguet, A., Gazengel, K., Moënnelocoz, Y., and Grundmann, G.L., 2009. Rhizosphere Bacterial Communities Associated with Disease Suppressiveness Stages of Take-All Decline in Wheat Monoculture. *New Phytologist*, 184(3):694–707.
- Schneider, D., Engelhaupt, M., Allen, K., Kurniawan, S., Krashevskaya, V., Heinemann, M., and Daniel, R. 2015. Impact of Lowland Rainforest Transformation on Diversity and Composition of Soil Prokaryotic Communities in Sumatra (Indonesia). *Frontiers in Microbiology*, 6(12):1–12.
- Silva, A.P., Babujia, L.C., Matsumoto, L.S., Guimarães, M.F., and Hungria, M., 2013. Bacterial Diversity Under Different Tillage and Crop Rotation Systems in An Oxisol of Southern Brazil. *The Open Agriculture Journal*, 7:40–47.
- Tiquia, S.M., Lloyd, J., Herms, D.A., Hoitink, H.A.J., and Michel, F.C. 2002. Effects of Mulching and Fertilization on Soil Nutrients, Microbial Activity and Rhizosphere Bacterial Community Structure Determined by Analysis of TRFLPs of PCR-amplified 16S rRNA genes. *Applied Soil Ecology*, 21(1):31–48.
- Widyati, E., 2016. Microbial Community Behaviour in The Rhizosphere of Kilemo ( *Litsea cubeba* L . Pers ) After Pruning. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 22(3):149–157.
- Yang, Q., Wang, X., and Shen, Y. 2013. Comparison of Soil Microbial Community Catabolic Diversity Between Rhizosphere and Bulk Soil Induced by Tillage or Residue Retention. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(1), 187–199.
- Zhu, B., Panke-Buisse, K., and Kao-Kniffin, J., 2015. Nitrogen Fertilization Has Minimal Influence on Rhizosphere Effects of Smooth Crabgrass ( *Digitaria ischaemum* ) and Bermudagrass ( *Cynodon dactylon* ). *J. Plant Ecol.*, 8(4):390–400.
- Zhu, C., Ling, N., Guo, J., Wang, M., Guo, S., and Shen, Q., 2016. Impacts of Fertilization Regimes on Arbuscular Mycorrhizal Fungal (AMF) Community Composition Were Correlated with Organic Matter Composition in Maize Rhizosphere Soil. *Frontiers in Microbiology*, 7(11):1–12.