

Prospek dan Tantangan Pengembangan *Biofertilizer* untuk Perbaikan Kesuburan Tanah

Biofertilizer Development Prospects and Challenges for Improved Soil Fertility

¹ Subowo, Jati Purwani, dan Sri Rochayati

¹ Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114, e-mail : sub_gito@yahoo.com

Diterima 19 Februari 2013; Disetujui dimuat 16 Juli 2013

Abstrak. Sebagai negara megabiodiversitas, Indonesia selanjutnya memberdayakan sumberdaya hayati tanah untuk meningkatkan efisiensi pengolahan tanah dan produksi tanaman pangan yang berkelanjutan. Pemberdayaan hayati tanah dapat dilakukan dengan pengkayaan jenis dan populasi organisme tanah melalui aplikasi pupuk hayati berupa organisme fungsional tunggal ataupun konsorsia (majemuk). Sejalan dengan kondisi tanah pertanian yang memiliki heterogenitas tinggi, maka pengembangan produksi pupuk hayati hendaknya dilakukan secara spesifik lokasi dengan mempertimbangkan keberadaan organisme fungsional native yang telah tersedia di lapangan. Pilihan formulasi konsorsia *biofertilizer* adalah jenis organisme fungsional yang memiliki kompatibilitas tinggi dan jenis media pembawa/*carrier* yang mampu menjaga nilai fungsionalnya. Selain memiliki kemampuan meningkatkan ketersediaan hara N, P, dan K mikroba fungsional juga memiliki kemampuan dalam menyediakan hara mikro yang penting dalam mendukung produksi dalam hal kuantitas maupun kualitas. Tantangan dalam aplikasi pupuk hayati adalah penetapan kriteria kandungan C-organik, enzim nitrogenase, dan enzim fosfatase tanah. Penetapan ini perlu segera dilakukan sebagai acuan untuk pembuatan "*soil biotest kit*" agar dalam implementasinya efektif dan bernilai guna.

Kata kunci: Biofertilizer / Mikroba fungsional / Spesifik lokasi / Kesuburan tanah

Abstract. As mega-biodiversity country, Indonesia should empower soil biological resources to improve soil tillage efficiency and sustainable crop production. The empowerment can be done by the enrichment of the soil with species and population of soil organisms through the application of biofertilizer in the form of a single organism or consortia. In line with the heterogeneity of agricultural land, the development of biofertilizer production should be done taking into account the presence of specific functional native organisms that have been exist in the field. The selection of consortia biofertilizer formulation is the functional types of organisms that have a high compatibility and kinds of carriers that is able to maintain its functional value. In addition to having the ability to increase the availability of N, P and K, the functional microbes should have the ability to provide essential micronutrients to support of quantity and quality production. Challenges in biofertilizer application are the determination of criteria for C-organic content, nitrogenase and soil phosphatase enzymes. This determination needs to be made as a reference to the making of "*soil biotest kit*" so that it is effective and valuable in the implementation.

Keywords: Biofertilizer / Functional microbia / Site specific / Soil fertility

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan program utama Kabinet Indonesia Bersatu II (KIB II) dengan pengembangan tanaman pangan sebagai komoditas utama yang harus dipenuhi. Sejalan dengan itu eksploitasi sumberdaya lahan pertanian terus meningkat melalui peningkatan indek pertanaman, pemberdayaan sumberdaya iklim melalui pengembangan kalender tanam, perbaikan produktivitas serta pengendalian hama-penyakit. Tingginya intensitas pertanaman dengan tingkat produktivitas yang tinggi mengakibatkan terjadinya pengurasan hara alami. Kemampuan produksi maupun

daya dukung lahan (kandungan bahan organik, hara mikro, maupun hayati tanah) mengalami penurunan. Efisiensi pemupukan dengan berbasis hara makro (N, P, dan K) semakin menurun. Kegiatan usahatani menjadi semakin mahal dan bahkan beberapa lahan telah mengalami jenuh produksi (*levelling off*). Sementara, daya dukung hayati tanah yang merupakan pengawal kesuburan tanah alami yang dinamik sesuai perkembangan habitatnya belum secara optimal diberdayakan. Selain itu Indonesia yang merupakan salah satu negara megabiodiversitas selanjutnya memberdayakan sumberdaya hayati tanah untuk meningkatkan efisiensi pengolahan tanah dan produksi tanaman pangan berkelanjutan.

Pengkayaan hayati tanah dapat dilakukan dengan menambah jenis dan populasi organisme tanah melalui aplikasi *biofertilizer* yang merupakan jenis pupuk dengan kandungan organisme hidup yang mampu memperbaiki kesuburan tanah. Jumlah dan jenis organisme dalam *biofertilizer* dapat berasal dari organisme tunggal ataupun beberapa jenis (konsorsia). Agar organisme hidup ini dapat aktif maka diperlukan energi dan hara. Selain itu organisme ini juga dapat berinteraksi secara positif ataupun negatif di antara organisme natif yang ada dalam subsistem tersebut. Dalam jangka panjang, aplikasi pupuk organik dengan dikombinasi pupuk buatan merupakan langkah terbaik dalam meningkatkan C-organik dan N-tanah serta bermanfaat dalam memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Ayukea *et al.* 2011)

Pada prinsipnya kesuburan tanah juga dipengaruhi oleh sifat fisika tanah yang juga dapat diperankan oleh makrofauna/mesofauna tanah, seperti cacing tanah, rayap, uret, dan lain-lain. Makrofauna dan mesofauna tanah ini juga dapat didayagunakan sebagai organisme untuk *biofertilizer* tanah. Subowo *et al.* (2002) mendapatkan bahwa aplikasi cacing tanah endogaesis *Pheretima hupiensis* dewasa pada Ultisol Banten dapat menurunkan kepadatan tanah lapisan olah dan meningkatkan produksi kedele. Aplikasi cacing tanah selain dalam bentuk cacing dewasa pada prinsipnya juga dapat dilakukan melalui kokon hasil reproduksi cacing tanah dewasa.

Dalam aplikasi *biofertilizer* hendaknya diperhatikan faktor-faktor yang menjadi pembatas kesuburan tanah. Pilihan jenis organisme yang diharapkan dapat memperbaiki kesuburan tanah mampu tumbuh dan berkembang di lapangan. Agar aktivitas organisme dari *biofertilizer* dapat berperan aktif hendaknya juga disediakan hara dan energi untuk mendukung kehidupannya.

POTENSI BIOFERTILIZER DALAM MENINGKATKAN KESUBURAN TANAH DAN HASIL TANAMAN

Sebagai negara kepulauan megabiodiversitas terbesar ketiga di dunia, Indonesia selayaknya memberdayakan sumberdaya hayati tanah dalam pemanfaatan sumberdaya tanah untuk produksi tanaman. Sebagian besar keanekaragaman hayati ekosistem pertanian terletak pada tanah yang memiliki

pengaruh langsung dan tidak langsung terhadap pertumbuhan dan kualitas tanaman (Estrade *et al.* 2010). Petani yang melakukan pengolahan tanah, sengaja atau tidak sengaja telah melakukan pengelolaan keanekaragaman hayati tanah. Populasi mikroorganisme heterotrof tanah di kawasan hutan tropika basah lebih tinggi dibanding di kawasan subtropika. Masing-masing bakteri tanah ± 5 kali lebih banyak dan fungi ± 2 kali lebih panjang, namun untuk fauna tanah terjadi sebaliknya dengan populasi 3-7 kali lebih rendah dibanding kawasan subtropika (Swift *et al.* 1979, dalam Deshmukh 1986). Selanjutnya Giller *et al.* (1997) menyatakan bahwa dalam upaya pengembangan pertanian intensif kawasan tropika yang petaninya memiliki kemampuan memberikan *input/* pupuk lemah, pemberdayaan sumberdaya hayati tanah relevan untuk diupayakan. Anas (2010) mengelompokkan jenis *biofertilizer* meliputi: (1) mikroba penambat N_2 -udara baik secara simbiotik maupun non simbiotik, (2) mikroba pelarut fosfat (bakteri maupun fungi), (3) mikroba penghasil senyawa pengatur tumbuh, (4) mikroba yang dapat memperluas permukaan akar, (5) mikroba perombak bahan organik (dekomposer), dan (6) mikroba pelindung tanaman terhadap hama-penyakit. Beberapa organisme tanah penting dalam mendukung kesuburan dan produktivitas tanah pertanian seperti pada Tabel 1.

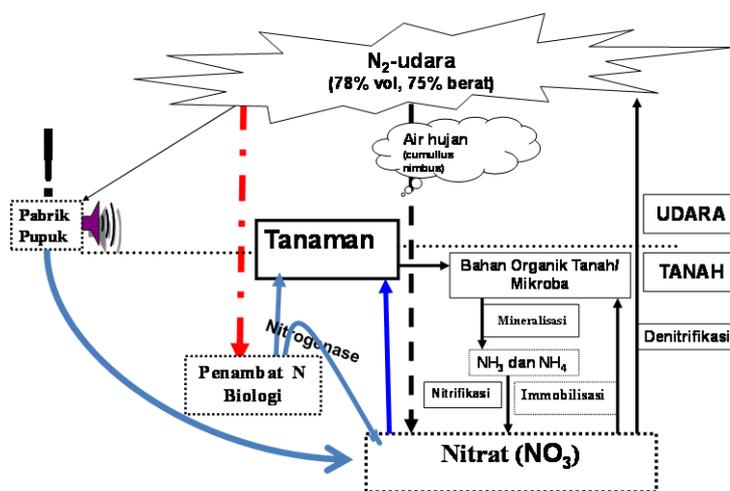
Sebagaimana organisme fungsional dalam tanah yang memiliki peranan penting untuk mendukung kesuburan tanah tropika yang kahat hara makro N dan P akibat tingginya laju pencucian N dan penyematan P oleh bahan tanah, maka pemberdayaan organisme tanah yang mampu menambat N_2 -bebas dan atau mampu melepaskan sematan P-tanah akan sangat memberikan manfaat dalam mendukung kesuburan tanah untuk tanaman. Organisme tanah yang mampu melakukan penambatan N_2 -udara pada prinsipnya dapat dilakukan oleh beberapa jenis mikroorganisme melalui enzim nitrogenase yang dihasilkan (Gambar 1). Kandungan enzim nitrogenase dalam tanah akan dapat diketahui potensi kemampuan penambatan N oleh organisme tanah. Sementara untuk pelepasan sematan P dalam tanah oleh enzim fosfatase dihasilkan oleh beberapa jenis mikroorganisme tanah. Apabila kandungan enzim fosfatase dan kandungan P dalam tanah diketahui, maka potensi pelepasan P oleh mikroorganisme tanah dapat diketahui.

Tabel 1. Beberapa organisme tanah yang berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah

Table 1. Some soil organism that have important role in increasing of soil fertility

No.	Jenis organisme tanah	Peranan dalam kesuburan tanah	Tanaman sasaran/target	Indikator populasi
1.	Bakteri : - <i>Rhizobium</i> - <i>Azotobacter</i> sp. - <i>Azospirillum</i> sp. - <i>Nitrosomonas</i> sp. - <i>Nitrococcus</i> sp. - <i>Bacillus</i> sp. - <i>Pseudomonas</i> sp.	- Penambat N-simbiotik - Penambat N hidup bebas. - Penambat N hidup bebas. - Penambat N hidup bebas. - Penambat N hidup bebas. - Pelarut fosfat hidup bebas - Pelarut fosfat hidup bebas	- Tanaman legume - Aneka tanaman - Aneka tanaman - Aneka tanaman - Aneka tanaman - Aneka tanaman - Aneka tanaman	>10 ³ cfu/g tanah >10 ³ cfu/g tanah
2.	Fungi : - <i>Endomikoriza (VMA)</i> - <i>Ectomikoriza</i> - <i>Aspergillus niger</i> - <i>Trichoderma</i>	- Pemasok fosfat tanaman lahan kering - Pemasok fosfat tanaman lahan kering - Pelarut fosfat tanah kering - Perombak bahan organik	- Aneka tanaman semusim lahan kering - Aneka tanaman tahunan lahan kering. - Aneka tanaman lahan kering (pangan, hortikultura, perkebunan, hutan, dan pekarangan)	Ditemukan Ditemukan Ditemukan Ditemukan
3.	<i>Blue Green Algae</i> : - <i>Nostoc</i> - <i>Anabaena</i> - <i>Oscillatoria</i>	- Penambat N bebas/simbiotik - Penambat N bebas/simbiotik - Penambat N bebas/simbiotik	- Aneka tanaman lahan basah dan sebagai sumber pupuk organik	Ditemukan Ditemukan Ditemukan
4.	Fauna tanah : - <i>Cacing tanah</i> - <i>Rayap</i> - <i>Collembola</i>	- Perbaiki fisik dan perombak bahan organik tanah kering - Perombak bahan organik tanah lahan kering - Perombak bahan organik tanah lahan kering	- Aneka tanaman (pangan, hortikultura, perkebunan, hutan, dan pekarangan)	>10 ekor/m ² Ditemukan Ditemukan

Sumber: Subowo *et al.* (2010)



Sumber: Rao (1994)

Gambar 1. Daur hara N dalam tanah dan tanaman

Figure 1. N nutrient recycle in soil and plant

Efisiensi penambatan *Azotobacter* lebih rendah dibandingkan bakteri penambat N simbiosis yang disebabkan oleh adanya faktor pembatas berupa ketersediaan karbon organik dalam tanah (Marschner 1993). Faktor eksternal lainnya yang dapat mempengaruhi penambatan nitrogen adalah kelembaban tanah, pH tanah, sumber karbon, cahaya dan penambahan nitrogen.

Besarnya populasi bakteri penambat nitrogen perakaran, potensial redoks dan konsentrasi oksigen yang tinggi dapat meningkatkan aktivitas penambatan nitrogen (Trooldenier 1977 dalam Hindersah dan Simarmata 2004). Inokulas *Azotobacter* menaikkan 15-100% hasil tanaman pada ekosistem lahan kering dan mengurangi pupuk hingga 30% (Kader *et al.* 2002). Aplikasi bakteri penambat N (*Azospirillum*) mampu memacu peningkatan hasil pertanian sebesar 30-50% pada kondisi tanah dan iklim yang berbeda pada jangka waktu 20 tahun (Katupitiya and Vlassak 1990). Sementara pemanfaatan bakteri pelarut P sebagai pupuk hayati mempunyai keunggulan antara lain hemat energi, tidak mencemari lingkungan, membantu meningkatkan kelarutan P yang terjerap, dan menghalangi jerapan pupuk P oleh Al^{3+} , Fe^{3+} , dan Mn^{+2} pada tanah masam. Pada jenis-jenis tertentu mikroba pelarut P ini dapat memacu pertumbuhan tanaman, karena menghasilkan zat pengatur tumbuh, menahan penetrasi patogen akar karena cepat mengkolonisasi akar dan menghasilkan senyawa antibiotik (Elfiati 2009). Subowo *et al.* (2011) mendapatkan bahwa aplikasi pupuk hayati pada tanah Ultisol dengan populasi mikroba fungsional tanah yang sudah cukup

tinggi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap produksi kedelai (Tabel 2).

PERMASALAHAN APLIKASI BIOFERTILIZER PADA LAHAN PERTANIAN

Kepemilikan lahan pertanian tanaman pangan yang sempit (<0,2 ha KK^{-1}), memaksa petani memanfaatkan lahan secara intensif dan terus menerus dengan sirkulasi pola tanam dan komoditi yang relatif sama sepanjang tahun. Tekanan keseimbangan hara dalam tanah menjadi sangat rentan, utamanya hara makro (NPK). Sementara bahan organik sisa panen tidak sempat dikembalikan ke lahan untuk mengejar pertanaman berikutnya. Hara N dan K yang tidak memiliki penyanggaan yang kuat di dalam tanah akan mudah tercuci, sementara hara P yang mudah terfiksasi oleh bahan tanah akan mengalami immobilisasi. Rendahnya kandungan bahan organik tanah juga menekan populasi sumberdaya hayati tanah yang berperan penting sebagai agen pengendali kesuburan tanah alami. Selain itu dalam sistem budidaya pertanian intensif sering kali dilakukan aplikasi bahan-bahan pestisida, sehingga dapat mengganggu populasi organisme tanah bukan target. Aplikasi herbisida paraquat untuk persiapan tanam menekan populasi *Rhizobium* tanah, namun tidak menekan populasi jamur *Aspergillus, sp., Penicillium, sp.* dan *khamir* (Jatmiko, *et al.* 2006). Akibatnya kegiatan budidaya pertanian tanaman pangan semusim harus selalu diberikan pupuk/hara segar ataupun *biofertilizer* untuk mendukung produksi tanaman.

Tabel 2. Bobot brangkas dan bobot kering biji kedelai (kadar air 12%) di Lebak, Banten

Table 2. Dry weight of soybean biomass and seed (water content 12%) at Lebak, Banten

No.	Perlakuan	Bobot brangkas kering panen t ha ⁻¹	Bobot kedelai kering (kadar air 12%)
1.	Kontrol	0,66 a	1,09 a
2.	R	0,49 a	1,01 a
3.	R + CT	0,61 a	1,00 a
4.	R + CT + BP	0,66 a	1,37 a
5.	R + CT + BP + A	0,46 a	0,83 a
6.	R + CT + BP + A + FP	0,51 a	1,01 a
7.	CT + A + FP	0,65 a	0,93 a

Sumber: Subowo *et al.* (2011)

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT 5%.

Pupuk dasar 5 t pupuk kandang per ha, 1 t kapur ha⁻¹, dan NPK (Urea, SP-36, dan KCl) rekomendasi berdasarkan uji tanah.

R: *Rhizobium* sp, CT: cacing tanah *endogaesis*, BP: Bakteri P, A: *Azotobacter* sp, FP: fungi P.

Masalah yang harus dihadapi dalam aplikasi *biofertilizer* adalah kesiapan tanah/habitat untuk mendukung kehidupan organisme pupuk hayati. Alexander (1977) menyatakan bahwa organisme tanah alami/natif yang telah beradaptasi dengan habitatnya lebih mewarnai aktivitas metabolik komunitasnya. Sementara organisme introduksi hanya mampu hidup dalam waktu singkat dan tidak memiliki kemampuan mengubah kondisi komunitas secara signifikan. Untuk itu pemberdayaan organisme tanah natif menjadi sangat penting, selain telah beradaptasi dengan lingkungannya, sehingga tidak mengganggu keseimbangan lingkungan dan juga murah dalam aplikasinya. Aplikasi *biofertilizer* hendaknya memperhatikan faktor pembatas daya dukung tanah, terutama C-organik tanah sebagai sumber energi bagi

kehidupan organisme heterotrof. Apabila di dalam tanah telah tersedia agensia hayati yang memadai, cukup dilakukan pembenahan kondisi habitat dengan pemberian amelioran ataupun pupuk. Sementara apabila belum cukup tersedia dapat dilakukan pengkayaan agensia hayati tanah dengan *biofertilizer* ataupun ameliorasi.

Hasil uji efektivitas pada tanaman caisim di rumah kaca, aplikasi *biofertilizer* pada tanah Inceptisol Bogor yang telah memiliki populasi organisme fungsional tanah natif cukup tidak memberikan pengaruh lebih baik dibanding pemupukan NPK rekomendasi (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa organisme fungsional dari *biofertilizer* yang diaplikasikan memiliki efektivitas dalam meningkatkan ketersediaan hara tanaman caisim lebih rendah dibanding organisme

Tabel 3. Pengaruh *biofertilizer* terhadap jumlah daun tanaman caisim saat umur 1, 2, dan 3 minggu setelah tanam (MST), dan berat daun segar saat panen

Table 3. The effects of *biofertilizer* to leaf number of caisim at 1, 2, and 3 week after planting, and leaf fresh weight at harvesting time

No.	Kode	Perlakuan	Jumlah daun			Panen g pot ⁻¹
			1 MST	2 MST	3 MST	
1.	P1	Kontrol lengkap	3,83 a	6,17 a	7,67 a	10,33 a
2.	P2	NPK-rekomendasi	4,50 c	6,33 b	9,17 b	13,67 c
3.	P3	<i>Biofertilizer</i>	4,00 a	6,00 a	8,00 a	10,67 a
4.	P4	¼ NPK-rekmds + <i>biofertilizer</i>	4,17 b	5,50 a	8,33 a	11,33 a
5.	P5	½ NPK-rekmds + <i>biofertilizer</i>	4,00 a	5,67 a	8,83 b	13,00 b
6.	P6	¾ NPK-rekmds + <i>biofertilizer</i>	4,17 b	5,50 a	8,33 a	13,50 b

Sumber : Anonim (2012)

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama dalam kolom yang sama tidak berbeda nyata sampai taraf nyata DMRT 5%.

Tabel 4. Pengaruh pemberian N dan inokulasi *Bradyrhizobium japonicum* terhadap jumlah bintil akar dan produksi kedelai dan kacang hijau

Table 4. The effect of N application and *Bradyrhizobium japonicum* to root nodule number and soybean and mungbean yield

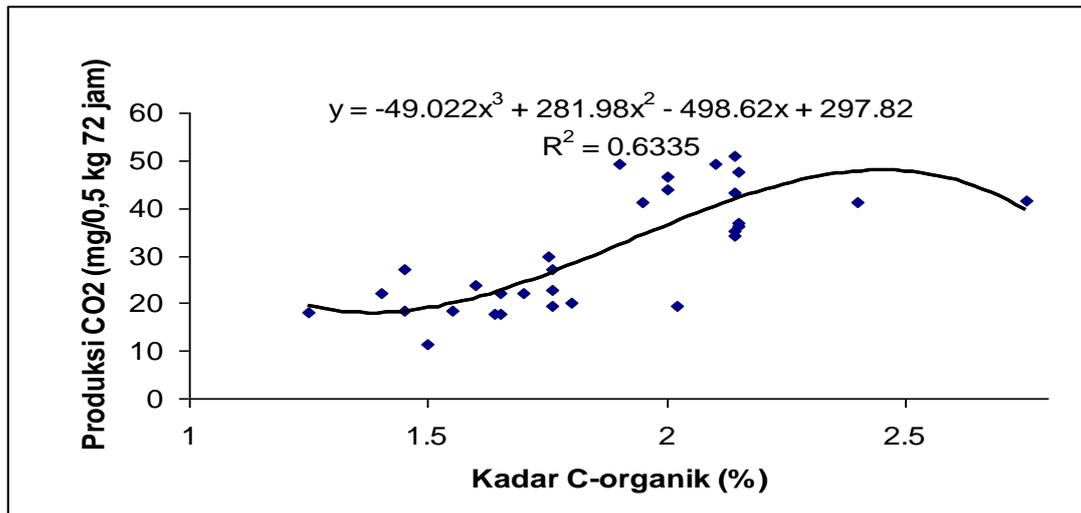
Perlakuan				Kedelai		Kacang hijau	
P	K	N	Inokulasi	Jumlah bintil	Hasil biji	Jumlah bintil	Hasil biji
kg ha ⁻¹				t ha ⁻¹		t ha ⁻¹	
0	0	0	-	13	0,88	13	1,46
0	0	100	-	8	1,18	10	1,51
0	0	0	+	51	1,36	15	1,47
100	100	0	-	26	0,95	21	1,88
100	100	100	-	26	1,25	15	1,99
100	100	0	+	58	1,40	29	1,92

Sumber : Gunarto *et al.* (1987)

Keterangan:

- = tidak dilakukan inokulasi

+ = dilakukukan inokulasi campuran 3 strain *Bradyrhizobium japonicum*: TAL 102, 377, dan 379



Gambar 2. Hubungan antara aktivitas pelepasan CO₂ oleh biomasa organisme tanah dengan kandungan C-organik tanah (%) (Santosa, 2009).

Figure 2. Relationship between CO₂ released by soil organism biomass with soil C-organic content

fungsional tanah natif. Gunarto *et al.* (1987) juga mendapatkan bahwa inokulasi *Bradyrhizobium japonicum* tanpa pemupukan NPK memberikan pengaruh positif terhadap jumlah bintil akar dan produksi kedelai. Sebaliknya inokulasi *Bradyrhizobium japonicum* tanpa pemupukan NPK pada tanaman kacang hijau tidak memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah bintil akar maupun produksi dibanding kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa *Bradyrhizobium japonicum* hanya memiliki kompatibilitas/kecocokan dengan tanaman kedele, sedang untuk kacang hijau tidak kompatibel. Sementara pemberian NPK tanpa inokulasi *Bradyrhizobium japonicum* pada tanaman kacang hijau mampu memberikan produksi lebih tinggi (Tabel 4).

Aplikasi EM-4 yang hanya memberikan mikroba fungsional tanpa pemupukan NPK memberikan populasi mikroba fungsional ataupun produksi jagung lebih rendah, bahkan dengan kontrol tanpa inokulasi tidak jauh berbeda (Tabel 5). Untuk itu pemberdayaan organisme tanah natif fungsional positif (bakteri-P, fungi-P maupun penambat N) dengan pemupukan sebagai sumber hara ataupun pemberian bahan organik sebagai sumber energi akan lebih efektif dan bernilai guna dibanding dengan pendekatan introduksi semata. Pada tanah yang belum memiliki kondisi yang memadai untuk mendukung aktivitas hayati tanah perlu kiranya dilakukan perbaikan habitat agar

organisme target dapat berkembang sesuai rencana pengembangan komoditi yang akan dikembangkan.

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PRODUKSI BIOFERTILIZER

Pada prinsipnya kandungan organisme fungsional dalam *biofertilizer* adalah dari jenis-jenis organisme tanah (makroorganisme maupun mikroorganisme) yang memiliki fungsi dapat memperbaiki kesuburan tanah, baik untuk meningkatkan ketersediaan hara ataupun perbaikan sifat fisik tanah dan ketahanan tanaman. Organisme tanah yang merupakan sel hidup, memiliki sensitivitas terhadap lingkungan/habitat sangat tinggi, sehingga aplikasi di lapangan sering kali tidak mampu memberikan respon sesuai yang diharapkan. Demikian pula dengan tingginya diversitas sumberdaya tanah juga menambah gangguan terhadap keberhasilan aplikasi *biofertilizer* di Indonesia. Pilihan *biofertilizer* dapat berisikan organisme tunggal ataupun organisme majemuk/konsorsia.

Dalam proses produksi *biofertilizer* tunggal relatif lebih mudah, namun potensi memperbaiki kesuburan tanah dan cakupan target di lapangan lebih sempit. Sebaliknya *biofertilizer* majemuk (konsorsia) memiliki kemampuan memperbaiki kesuburan tanah lebih luas namun proses produksinya relatif lebih sulit. Antar

Tabel 5. Pengaruh pemupukan dan ameliorasi terhadap populasi organisme tanah dan produksi jagung pada tanah *Plinthic Kandiudult* LampungTable 5. The effect of fertilization and amelioration to soil organism population and corn yield on *Plinthic Kandiudult* soil of Lampung

Perlakuan: pupuk/inokulasi	Populasi organisme tanah setelah panen			Produksi jagung (kg ha ⁻¹)
	Bakteri-P (x 10 ⁴ cfu g ⁻¹)	<i>Azotobacter</i> (x 10 ³ cfu g ⁻¹)	<i>Actinomycetes</i> (x 10 ³ cfu g ⁻¹)	
Tanpa pupuk:				
Kontrol	44	104	103	4,05
Bahan Organik (BO)	70	106	119	6,49
Bokashi	62	142	83	6,61
EM-4	55	96	58	5,86
Pupuk NPK				
Kontrol	49	51	70	6,35
Bahan Organik (BO)	82	56	78	7,35
Bokashi	83	87	63	7,60
EM-4	52	65	62	6,60

Sumber: Hamzah dan Nasution (1999)

individu organisme fungsional yang terkandung didalamnya harus tidak bersifat antagonis. Untuk itu dalam proses produksi *biofertilizer* majemuk, uji kompatibilitas di antara organisme fungsional target harus dilakukan sebelum digabungkan dalam produk pupuk hayati. Selain itu uji kompatibilitas hendaknya juga dilakukan terhadap organisme natif yang ada di lapangan, agar nilai fungsional organisme target dapat lebih optimal dan bernilai guna. Demikian pula dengan media/karier yang digunakan perlu mempertimbangkan kondisi daya dukung tanah yang akan dipupuk, baik populasi organisme eksisting maupun sifat fisik dan kimia tanahnya. Apabila daya dukung kurang memadai dapat dilakukan pengkayaan dengan pemupukan maupun ameliorasi.

Keragaan hasil produk pupuk hayati konsorsia yang mengandung jamur *mikoriza arbuskula* (*Glomus mosseae* atau intraradices *Glomus*) dengan atau tanpa mikroba penambat N (*Azotobacter chroococcum*) dan pelarut P (*Bacillus megaterium*) dan pelarut K (*Bacillus mucilaginosus*) menunjukkan pengaruh nyata meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung (tinggi tanaman dan produksi biomas), kandungan N total, P dan K pada tanaman, kandungan bahan organik dan N total tanah, jamur *mikoriza arbuskula* (JMA) memiliki tingkat infeksi akar yang lebih tinggi. Sebaliknya, JMA berpengaruh menghambat bakteri pelarut P. Kekurangan hara dalam tanah mengakibatkan populasi bakteri penambat N dan kolonisasi JMA lebih tinggi (Wu et al. 2005).

Hasil penelitian Santosa (2009) menunjukkan bahwa penambahan kadar C-organik tanah Ultisols dapat meningkatkan aktivitas bakteri pelarut fosfat (BPF) dan mikroba tanah lainnya yang ditunjukkan peningkatan aktivitas dehidrogenase, produksi CO₂-tanah, kadar P-tersedia (Bray I) dan penurunan kadar Al₂O₃ (Gambar 2). Pada tanah yang berkadar C-organik 1,5%, sterilisasi tanah tidak berpengaruh terhadap aktivitas BPF yang ditunjukkan tidak adanya perbedaan aktivitas dehidrogenase, produksi CO₂-tanah dan kadar P-Bray I. Pada kadar C-organik 1,7% isolat BPF pada tanah steril nyata meningkatkan kadar P-Bray I. Pada tanah yang berkadar C-organik >2,1% sterilisasi tanah tidak memberikan perbedaan yang nyata tetapi inokulasi BPF nyata meningkatkan aktivitas dehidrogenase, produksi CO₂-tanah, kadar P Bray I dan menurunkan kadar Al₂O₃. Dari gambaran di atas menunjukkan bahwa kandungan C-organik tanah sangat menentukan keberhasilan dalam aplikasi *biofertilizer* untuk memperbaiki kesuburan tanah. Perlu kiranya dilakukan evaluasi ambang batas C-organik tanah yang layak untuk aplikasi *biofertilizer*. Demikian juga untuk kandungan enzim nitrogenase ataupun fosfatase tanah untuk digunakan sebagai ambang batas kelayakan aplikasi *biofertilizer*.

Perkembangan teknologi pengkayaan/pemupukan hayati tanah:

Teknologi pengkayaan hayati tanah pada awalnya dilakukan dengan memindahkan tanah yang kaya hayati tanah fungsional (*soil transfer*). Teknologi ini

Tabel 6. Contoh mikrobial konsorsia biofertilizer dengan jenis dan populasi mikroorganisme dominan mikroorganisme pada

Table 6. Sample of biofertilizer consorcium microorganism and the specific kind and population of dominant microorganism

No.	Jenis mikro	Populasi (cfu mi ⁻¹)	Jenis fungsional
1.	<i>Rhizobium, sp</i>	5,0 x 10 ⁷	Bakteri penambat N ₂ -udara simbiotik
2.	<i>Azotobacter, sp</i>	2,3 x 10 ⁷	Bakteri penambat N ₂ -udara non simbiotik
3.	<i>Azospirillum, sp</i>	1,4 x 10 ⁶	Bakteri penambat N ₂ -udara non simbiotik
4.	<i>Bacillus, sp.</i>	2,5 x 10 ⁶	Bakteri pelarut P
5.	<i>Aspergillus niger</i>	3,1 x 10 ⁴	Fungi pelarut P
6.	<i>Lactobacillus, sp</i>	2,7 x 10 ⁷	Bakteri perombak bahan organik
7.	<i>Trichoderma</i>	2,0 x 10 ³	Fungi perombak bahan organik

Tabel 7. Pengaruh pemberian pupuk hayati kombinasi dengan sumber energi dan hara serta bahan ikutan lain

Table 7. The effect of biofertilizer application combined with source of energy and nutrient and others additional material

No	Perlakuan	Produksi GKG (t ha ⁻¹)	Kandungan antioksidan beras pecah kulit (ppm)*)			
			Fe	Zn	Ca	Mg
1.	Biofertilizer 1	8,94 bc	237 ab	32 b	0,14 b	0,17 b
2.	Biofertilizer 2	8,80 b	486 d	30 b	0,19 b	0,17 b
3.	Biofertilizer 3	9,14 c	415 c	35 b	0,16 b	0,16 b
4.	Biofertilizer 4	8,62 b	180 a	37 b	0,14 b	0,17 b
5.	P e t a n i	7,18 a	378 bc	15 a	0,01 a	0,10 a

Keterangan: *) Hasil analisa Laboratorium Kimia, Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Biofertilizer 1: pupuk hayati murni

Biofertilizer 2: pupuk hayati murni + energi

Biofertilizer 3: pupuk hayati murni + energi + hara

Biofertilizer 4: pupuk hayati murni + energi + hara + protektan

Sumber: Anonim (2012).

dilakukan dengan memindahkan sejumlah tanah yang diyakini mengandung organisme tanah fungsional untuk memperbaiki kesuburan tanah. Melalui teknologi ini terjadi pengkayaan organisme tanah beserta habitat alamnya (hara dan energi). Kondisi keseimbangan ekosistem tanah relatif tidak terganggu, namun memerlukan biaya yang besar untuk pengangkutan tanah dan nilai perbaikan tidak maksimal.

Pengembangan *biofertilizer* secara kultur. Teknologi ini dilakukan dengan mengekstrak (menginokulasi) organisme tanah yang memiliki kemampuan memperbaiki kesuburan tanah yang diperbanyak menggunakan media spesifik. Selanjutnya inokulan hasil perbanyak ini diaplikasikan di lapangan untuk pengembangan komoditi tertentu tanpa mempertimbangkan kondisi daya dukung tanah. Jaminan aktivitas organisme fungsional target tidak dapat dipertanggungjawabkan dan sangat tergantung kesiapan tanah menyediakan hara dan energi dan daya adaptasi organisme. Teknologi produksi *biofertilizer* makroorganisme dari cacing tanah dilakukan dengan

melakukan budidaya (*rearing*). Bahan hayati cacing tanah yang digunakan berupa kokon maupun cacing tanah dewasa. Nurlaily dan Subowo (2011) mendapatkan media budidaya (*rearing*) cacing tanah endogasis adalah 6 bagian bahan tanah mineral dan 1 bagian bahan organik pupuk kandang.

Pengembangan *biofertilizer* secara kultura ini dapat dilakukan dengan menggunakan organisme tunggal ataupun campuran dari beberapa jenis mikroba (konsorsia). *Biofertilizer* dengan organisme tunggal memiliki kemudahan dalam memilih media pembawa (*carrier*) serta dalam aplikasinya mudah diarahkan sesuai target fungsional yang diperlukan. Namun nilai fungsional yang diperoleh terbatas hanya untuk fungsional organisme tersebut. Sementara *biofertilizer* konsorsia di buat dengan target mampu memberikan nilai fungsional yang lebih lengkap sesuai permasalahan lapangan dan komoditi target. Masalah yang dihadapi adalah perpaduan/kompatibilitas di antara organisme yang dipadukan serta pilihan media yang tepat, sehingga organisme yang ada dapat tetap

hidup dan mampu memberikan fungsinya dengan baik (Tabel 6).

Belakangan ini berkembang teknologi aplikasi *biofertilizer* dengan diikuti pengkayaan hara dan energi serta bahan amelioran yang mampu meningkatkan ketahanan tanaman dari serangan hama penyakit. Dengan teknologi ini diharapkan aktivitas hayati tanah target memiliki jaminan/dukungan untuk dapat berfungsi sebagai mana seharusnya. Masalah yang mungkin timbul adalah terdesaknya organisme tanah fungsional positif natif oleh organisme baru (introduksi), dan pada saat lain apabila pasokan hara dan energi yang dibutuhkan untuk organisme baru ini tidak tersedia akan mengalami kemerosotan populasi. Hasil aplikasi pupuk hayati diikuti bahan amelioran sebagai sumber energi dan hara serta bahan ikutan lain dapat meningkatkan produksi dan kandungan antioksidan Zn, Ca dan Mg beras pecah kulit (Tabel 7).

Melihat permasalahan di atas, ke depan aplikasi *biofertilizer* ke dalam tanah hendaknya juga mempertimbangkan kelestarian organisme fungsional positif natif yang telah ada dan juga disediakan habitat yang sesuai untuk mendukung aktivitas organisme target.

TANTANGAN DAN SOLUSI APLIKASI BIOFERTILIZER UNTUK PENINGKATAN KESUBURAN TANAH

Pemberdayaan *biofertilizer* adalah dalam rangka memperbaiki populasi hayati tanah fungsional positif, baik jumlah maupun jenisnya untuk meningkatkan kesuburan tanah. Indonesia yang merupakan negara kepulauan (± 17.000 pulau) di kawasan tropika basah dengan jalur cincin api (*ring of fire*) memiliki diversifikasi sumberdaya lahan sangat lebar. Munir (1996) menyatakan bahwa Indonesia memiliki nilai erupsi indeks $>99\%$ tertinggi di dunia. Pasokan mineral selain berasal dari aktivitas vulkanik juga dapat berasal dari deposit marine di sepanjang pantai. Pada saat erupsi, terjadi pengkayaan mineral, namun juga terjadi sterilisasi hayati tanah di kawasan-kawasan tertentu. Akibatnya diversitas sumberdaya hayati tanah secara spasial dan waktu sangat tinggi. Untuk itu teknologi aplikasi *biofertilizer* hendaknya juga memperhatikan kemampuan daya dukung yang bersifat spesifik lokasi.

Untuk mengantisipasi kondisi ini, sistem produksi *biofertilizer* umumnya diarahkan ke bentuk universal dengan formula bentuk konsorsia dengan berbagai jenis organisme fungsional dalam satu kemasan agar memiliki spektrum pemakaian luas. Hasil aplikasi menjadi sangat bervariasi, pada tempat-tempat tertentu positif dan pada tempat lainnya tidak nyata dan bahkan dapat memberikan hasil negatif. Aplikasi *biofertilizer* sebaiknya dilakukan pada habitat tanah dengan kandungan bahan organik sebagai sumber energi dan hara yang mencukupi untuk mendukung aktivitasnya. Sementara kesuburan tanah pertanian di Indonesia rendah akibat rendahnya kandungan bahan organik dan ketersediaan hara. Las dan Setiorini (2010) menyatakan bahwa lahan pertanian di Indonesia $\pm 73\%$ memiliki kandungan C-organik tanah $<2,00\%$ (rendah – sangat rendah). Aplikasi *biofertilizer* tanpa diikuti pemberian bahan organik sebagai sumber energi untuk mendukung kehidupannya kurang memberikan pengaruh nyata terhadap target yang diharapkan. Penetapan parameter kunci untuk memberikan jaminan keberhasilan aplikasi *biofertilizer* menjadi penting, seperti kandungan C-organik tanah, kandungan enzim nitrogenase, dan kandungan fosfatase.

Untuk itu tantangan dan solusi dalam aplikasi hayati tanah dalam rangka pemulihan kesuburan tanah dapat dilakukan langkah sbb:

Pemberian pupuk organik sebagai sumber hara dan energi bagi organisme tanah yang memiliki nilai fungsional untuk kesuburan tanah perlu ditetapkan. Pemberian bahan organik ke dalam tanah juga membantu mengurangi erosi, mempertahankan kelembaban tanah, mengendalikan pH tanah, memperbaiki drainase, mencegah pegerasan dan retakan, meningkatkan kapasitas pertukaran ion, dan meningkatkan aktivitas biologi tanah (Vidyarthi and Misra 1982). Semua peran tersebut dapat berlangsung setelah bahan organik mengalami perombakan oleh aktivitas organisme tanah. Tanpa adanya aktivitas organisme tanah bahan organik akan tetap utuh (tidak terurai) di dalam tanah dan dapat mengganggu sistem produksi tanaman. Lal (1995) menyatakan penurunan jumlah dan kualitas bahan organik serta aktivitas biologi maupun keanekaragaman spesies fauna tanah merupakan bentuk degradasi tanah yang penting untuk tanah tropika basah. Sebagai wilayah megabiodiversitas

selayaknya memberdayakan potensi sumberdaya hayati tanah tersebut untuk memberikan sumbangan yang besar dalam upaya meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah.

Aplikasi *biofertilizer* untuk memperbaiki kesuburan tanah dapat dilakukan dengan pengkayaan populasi hayati tanah yang belum tersedia pada tanah tersebut dan memiliki fungsional tinggi. Apabila populasi hayati tanah target telah tersedia di dalam tanah (natif) dapat dilakukan uji efektivitasnya. Apabila memiliki nilai efektivitas rendah, maka dapat diperkaya dengan jenis lain yang memiliki efektivitas lebih tinggi. Pilihan organisme selain kemampuan fungsional perombak bahan organik, penambat N dan pelarut fosfat perlu juga dilakukan pengujian terhadap peluang peningkatan ketersediaan hara mikro lainnya yang penting dalam meningkatkan produksi tanaman (kuantitas maupun kualitas)

Penetapan enzim fosfatase dalam tanah yang memiliki peranan penting dalam menyediakan P tanah penting untuk dilakukan, sehingga aplikasi organisme pelarut P akan efektif apabila tanah tersebut memang membutuhkan. Disamping itu, perlu ditetapkan besaran kandungan P-potensial yang layak untuk dilepaskan oleh mikroba. Keberhasilan aplikasi organisme pelarut P menjadi efektif sesuai dengan daya dukung tanahnya. Apabila kandungan P-potensial dalam tanah rendah, aplikasi P-alam juga perlu ditambahkan.

Untuk pengkayaan hara N, aplikasi *biofertilizers* penambat N juga perlu ditetapkan karena organisme yang aktif melakukan penambatan N cukup banyak seperti *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, BGA, dll (Tabel 1). Untuk menetapkan pola aplikasinya menjadi sulit. Pada prinsipnya bahan aktif penambatan N₂-bebas oleh mikroorganisme diperankan oleh enzim nitrogenase. Diketuainya besaran enzim nitrogenase dalam tanah akan lebih mudah dalam menetapkan perlu tidaknya aplikasi *biofertilizer* penambat N₂. Selanjutnya dapat dipilih organisme penambat N mana yang masih perlu ditingkatkan sesuai daya dukung tanahnya. Namun apabila aplikasi biofertilizer untuk mikroba simbiotik pertimbangan kandungan enzim nitrogenase tanah dapat diabaikan dan pertimbangan lebih pada hubungan komoditi target dan jenis mikroba penambat N yang digunakan.

Untuk menjamin adanya peran aktivitas hayati fungsional dari *biofertilizer* yang diaplikasikan perlu dilakukan penambahan hara maupun energi untuk mendukung kehidupannya. Selain itu agar aplikasi *biofertilizer* sesuai dengan sasaran, maka penetapan pilihan jenis *biofertilizer* perlu disesuaikan dengan kondisi daya dukung tanah meliputi kandungan C-organik, enzim nitrogenase, dan enzim fosfatase. Agar mudah dalam aplikasinya bahan-bahan penera kandungan tersebut dapat dibuat dalam bentuk penera biologi tanah (*soil biotest kit*).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Sejalan dengan kondisi tanah pertanian di Indonesia yang memiliki heterogenitas tinggi, pengembangan produksi *biofertilizer* hendaknya dilakukan secara spesifik lokasi dengan mempertimbangkan keberadaan organisme fungsional natif.
2. Formulasi konsorsia *biofertilizer* dipilih dari jenis organisme fungsional yang memiliki kompatibilitas tinggi dengan media pembawa (*carrier*) yang mampu melindungi populasi masing-masing maupun kompetisi dengan organisme natif.
3. Dalam evaluasi mikroba fungsional, perlu juga ditambahkan kemampuannya dalam menyediakan hara selain NPK, termasuk hara mikro yang penting dalam mendukung kuantitas maupun kualitas produksi.
4. Penetapan kriteria kesesuaian tanah untuk aplikasi *biofertilizer* perlu segera ditetapkan agar efektif dalam penerapannya, seperti kandungan C-organik tanah, enzim nitrogenase, dan enzim fosfatase.

Saran

Metode analisis enzim nitrogenase dan enzim fosfatase tanah sampai saat ini masih sangat terbatas, perlu dilakukan inventarisasi metode analisis untuk mengetahui hubungannya dengan aktivitas penyediaan hara N dan P yang tepat untuk tanaman dan sesuai kondisi tanah tropika basah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. 1977. *Introduction of Soil Microbiology*. John Wiley and Sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore, 467 p.
- Anas I. 2010. Peranan pupuk Organik dan Pupuk Hayati dalam Peningkatan Produktivitas Beras Berkelanjutan. Seminar Nasional Peranan Pupuk NPK dan Organik dalam Meningkatkan Produktivitas dan Swasembada Beras Berkelanjutan, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 24 Februari 2010, 20 p.
- Anonim. 2012. Pengujian pupuk HYT a+b+c+d terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi sawah. Laporan akhir, kerjasama Balai Penelitian Tanah dan PT. Agrinos Indonesia. Belum dipublikasi, 34p.
- Ayukea, F.O, L. Brussaarda, B. Vanlauweb, J. Sixd, D.K. Lelei, C.N. Kibunjae, and M.M. Pullemana. 2011. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology* 48 (2011) 53–62
- Deshmukh, I. 1986. *Ecology and Tropical Biology*. Blackwell Scientific Publications, Inc. Palo Alto, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Victoria. 387p.
- Elfiati. D. 2009. Peranan Mikroba pelarut fosfat terhadap pertumbuhan tanaman. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. [http://library.usu.ac.id/download /fp/hutan-deni%20elfiati.pdf](http://library.usu.ac.id/download/fp/hutan-deni%20elfiati.pdf). 5 Pebruari 2009.
- Estrade, J.R., C. Anger , M. Bertrand ,and G. Richard. 2010. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil & Tillage Research* 111 (2010) 33–40.
- Giller K.E., M.H. Beare, P. Lavelle, A.M.N. Izac, and M.J. Swift. 1997. Agricultural Intensification, Soil Biodiversity and Agroecosystem Function. *Applied Soil Ecology* 6: 3 -16.
- Gunarto L., F.A. Bahar, dan H. Taslim. 1987. Pengaruh Pemberian N dan Inokulasi Rhizobium terhadap Pembintilan Akar serta Hasil Tanaman Kedelai dan Kacang Hijau. *Agrikan* 2: 33 – 37.
- Hamzah A. dan I. Nasution. 1999. Pengaruh Pemupukan N, P, K, Pupuk Hayati dan Bahan Organik Terhadap Populasi Mikroba Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Pros. Semnas SD Tanah, Iklim, dan Pupuk, Buku II, 191- 203.
- Hindersah, R. dan Simarmata, T. 2004. Artikel kilas balik: Potensi Rizobacterium Azotobacter dalam meningkatkan kesehatan tanah. *Jurnal Natur Indonesia* 5 (2): 127 - 133.
- Jatmiko S.Y., N. Sutrisno dan A. Ichwan. 2006. Pengaruh persiapan lahan dengan herbisida terhadap mikroorganisme tanah dan hasil padi. Pros. Semnas Sumberdaya Lahan Pertanian (Buku III). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, p: 163 – 176.
- Kader,M.A,M.H. Mianand M.S. Hoque. 2002.Effect of Azotobacterinoculanton yield and nitrogen uptake.On Line J.bio. Sci.2 : 259-251.
- Katupitiya S, Vlassak. 1990. Colonization of Weed Roots by Azospirillum brasilense. In. *Organic Recycling in Asia and Pasific*. Rappa Bull.6-8
- Lal R. 1995. *Sustainable Management of Soil Resources in the Humic Tropics*. United nations University Press, Tokio-New York-Paris, p: 25 – 29.
- Marscher, H. 1993. *Mineral Nutrition of Higher Plant*. Academic Press, 96p.
- Munir. 1996. *Geologi dan Mineralogi Tanah*. Pustaka Jaya. 290 hal.
- Nurlaily, R. dan Subowo.. 2011. Evaluasi Media Rearing Cacing Tanah Endogaesis (*Pheretima hupiensis*). Pros. Semnas Sumberdaya Lahan Pertanian (Buku I). Inovasi Teknologi Pengelolaan Sumberdaya Tanah dan tanaman. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, p: 233 – 244.
- Rao, N.S.B. 1994. Mikroorganisme tanah dan pertumbuhan tanaman. Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta. 353p.
- Santosa, E. 2009. Aktifitas beberapa isolat bakteri pelarut fosfat pada berbagai kadar C-organik di tanah Ultisols. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Inovasi Sumberdaya Lahan, Bogor, 24-25 Nopember 2009 Buku II: Teknologi Konservasi, Pemupukan, dan Biologi Tanah. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Subowo, E. Santosa, dan I. Anas. 2010. Peranan Biologi Tanah Dalam Evaluasi Kesesuaian Lahan Pertanian Kawasan Megabiodiversity Tropika Basah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, Vol. 4, No. 2, p: 57-68.
- Subowo, E.K. Anwar, J. Purwani, dan R. Nurlaily. 2011. Penelitian dan Pengembangan Potensi Sumberdaya Hayati Tanah untuk Perbaikan Produktivitas Tanah dan Peningkatan Efisiensi Pemupukan. Laporan Hasil Kegiatan Penelitian DIPA 2011, Satker Balai Penelitian Tanah, 2011. Belum dipublikasikan.
- Subowo. 2011. Pengaruh aplikasi formula pupuk hayati terhadap produksi caisim pada tanah Inceptisol Bogor. Pros. Semnas Sumberdaya Lahan Pertanian (Buku I). Inovasi Teknologi Pengelolaan

Sumberdaya Tanah dan Tanaman. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, p: 125 – 133.

Vidyarthi, G.S. and R.V. Misra. 1982. The Role and Importance of Organic Materials and Biological Nitrogen Fixation in Rational Improvement of Agricultural Production. FAO Soils Bulletin, No. 45.

Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z. G., Cheung, K. C., Wong, M. H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Soil Biology and Biochemistry. Vol. 125. March 2005. 155-166.