

Teknologi Budidaya Tanaman Tomat Melalui *Inverted Gardening* dan *Conventional Gardening* Berbasis Pemanfaatan Bakteri Indigenus

Widawati, S¹⁾, Sudiana, IM²⁾, Sukara, E³⁾, dan Muharam, A³⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Biologi, LIPI, ²⁾ Pusat Penelitian Bioteknologi, LIPI, Jl. Raya Jakarta-Bogor Km 46, Bogor

³⁾ Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 10, Bogor 16114

Naskah diterima tanggal 25 Juni 2012 dan disetujui untuk diterbitkan tanggal 12 Agustus 2012

ABSTRAK. Inokulan padat Azzofofor-wd3 merupakan campuran 16 isolat bakteri indigenus lahan gambut (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan bakteri pelarut fosfat) masing-masing empat isolat digunakan sebagai pupuk hayati untuk meningkatkan produksi tomat dalam *inverted* dan *conventional gardening*. Penelitian bertujuan mengetahui peran potensial inokulan padat Azzofofor-wd3 sebagai *plant growth promoter* dalam kondisi lingkungan ekstrim, khususnya pada lahan gambut. Penelitian dilaksanakan di Pusat Penelitian Biologi, LIPI, dari Bulan Januari sampai dengan Desember 2011 Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan 28 perlakuan penambahan media pupuk pada media tanam dengan tiga ulangan atau pot. Media dasar ialah gambut (50%) dan tambahan pupuk hayati (50%). Perlakuan tambahan media pupuk mencakup : (1) gambut sebagai kontrol, (2) sekam kotoran ayam, (3) kompos, (4) pasir halus, (5) kapur, (6) Azzofofor-wd3, (7) sekam kotoran ayam + pasir halus, (8) sekam kotoran ayam + kapur, (9) sekam kotoran ayam + Azzofofor-wd3, (10) kompos + pasir halus, (11) kompos + kapur, (12) kompos + Azzofofor-wd3, (13) pasir halus + kapur, (14) pasir halus + Azzofofor-wd3, (15) kapur + Azzofofor-wd3, (16) sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus, (17) sekam kotoran ayam + kompos + kapur, (18) sekam kotoran ayam + kompos + Azzofofor-wd3, (19) sekam kotoran ayam + pasir halus + kapur, (20) sekam kotoran ayam + pasir halus + Azzofofor-wd3, (21) sekam kotoran ayam + kapur + Azzofofor-wd3, (22) kompos + pasir halus + kapur, (23) kompos + kapur + Azzofofor-wd3, (24) pasir halus + kapur + Azzofofor-wd3, (25) sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus, (26) sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus + Azzofofor-wd3, (27) kompos + pasir halus + kapur + Azzofofor-wd3, dan (28) sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus + kapur + Azzofofor-wd3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi tomat tertinggi setelah 3 bulan ialah pada perlakuan media gambut + sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus + kapur + Azzofofor-wd3 pada *inverted* dan *conventional gardening*, masing-masing sebesar 63,9 dan 65,9 g/pot. Terdapat perbedaan pengaruh perlakuan yang nyata antara *inverted* dan *conventional gardening* dalam hal P-tersedia, populasi bakteri, dan aktivitas PME-ase. Namun demikian, tidak ada pengaruh perlakuan yang nyata terhadap produksi tomat antara *inverted* dan *conventional gardening*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Azzofofor-wd3 merupakan bakteri pendorong pertumbuhan tanaman yang potensial untuk tanaman tomat yang dibudidayakan pada lahan gambut. Aplikasi jenis bakteri tersebut sangat bermanfaat dalam pengayaan tanah gambut untuk pembudidayaan tanaman sayuran.

Katakunci: Tomat; Azzofofor -wd3; *Inverted gardening*; *Conventional gardening*; Bakteri indigenus; *Plant growth promoter*

ABSTRACT. Widawati, S, Sudiana, IM, Sukara, E, and Muharam, A 2012. The Technology of Tomato Plant Cultivation Through *Inverted* and *Conventional Gardening* Based on Utilization of Indigenous Bacteria. Azzofofor-wd3 is a solid inoculant consisted of 16 peat indigenous bacteria isolates i.e. *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, and PSB four isolates respectively were used as biofertilizers to stimulate tomato production on *inverted* and *conventional gardening*. An experiment was conducted at the Research Center for Biology, Indonesian Institute of Sciences from January until December 2011. The research was aimed to determine the potential role of Azzofofor-wd3 solid inoculant as a plant growth promoter in extremely environmental conditions. The treatments of growth media mixture were arranged in a completely randomized design with three replications. The based media was peat for 50% of mixture. The treatments were the addition of biofertilizers with the same volume of the based media (50%). The treatments were (1) peat only as the control, (2) chicken dunk, (3) compost, (4) fine sand, (5) lime, (6) Azzofofor-wd3 inoculant, (7) chicken dunk + fine sand, (8) chicken dunk + lime, (9) chicken dunk + Azzofofor-wd3, (10) compost + fine sand, (11) compost + lime, (12) compost + Azzofofor-wd3, (13) fine sand + lime, (14) fine sand + Azzofofor-wd3, (15) lime + Azzofofor-wd3, (16) chicken dunk + compost + fine sand, (17) chicken dunk + compost + lime, (18) chicken dunk + compost + Azzofofor-wd3, (19) chicken dunk + fine sand + lime, (20) chicken dunk + fine sand + Azzofofor-wd3, (21) chicken dunk + lime + Azzofofor-wd3, (22) compost + fine sand + lime, (23) compost + lime + Azzofofor-wd3, (24) fine sand + lime + Azzofofor-wd3, (25) Chicken dunk + compost + fine sand, (26) chicken dunk + compost + fine sand + Azzofofor-wd3, (27) compost + fine sand + lime + Azzofofor-wd3, and (28) chicken dunk + compost + fine sand + lime + Azzofofor-wd3. The results showed that the highest production of tomato in *inverted gardening* was 63.9 g/pot and in *conventional gardening* was 65.9 g/pot produced by the plants grown on peat + chicken dunk + compost + sand + lime + Azzofofor wd3 inoculant, 3 months after planting. There was significant difference of available-P, bacterial population, and PME-ase activity in *inverted* and *conventional gardening* before and after fertilization, whereas there was no significant difference of tomato yield between *inverted* and *conventional gardening*. It can be concluded that Azzofofor-wd3 is potential as a plant growth promoting bacteria for tomato plants grown in peat soil. The application of the bacteria is very helpful to enrich peat soil for growing vegetable crops.

Keywords : Tomato; Azzofofor-wd3; *Inverted gardening*; *Conventional gardening*; Indigenous bacteria; Plant growth promoter

Lahan gambut merupakan lahan yang mengandung bahan organik tinggi yang merupakan hasil akumulasi sisa tanaman yang terbentuk pada kondisi anaerob di rawa pasang surut (Las *et al.* 2009). Meningkatnya

kebutuhan pangan serta sempitnya lahan menyebabkan petani membuka lahan gambut. Proporsi lahan gambut yang mengalami kerusakan akibat eksploitasi hampir mencapai 70% dari luas total (Sudiana *et al.* 2010).

Lahan gambut merupakan lahan yang miskin unsur hara, kemasaman tinggi, mudah amblas, drainase kurang baik, bersifat kering, dan memiliki daya sangga lahan rendah, sehingga jika dimanfaatkan untuk lahan pertanian cenderung menyebabkan tanaman berproduksi rendah. Para petani lahan gambut biasanya menggunakan bahan kimia berupa zat penyubur tanah yang membawa pengaruh negatif pada sistem makro dan mikro tanah (Simanungkalit 2006, Tejada *et al.* 2006, Wijebandara *et al.* 2009). Hal tersebut mengakibatkan hilangnya fauna dan mikroba fungsional tanah yang terkait dengan sistem ekologi tanah, sehingga tanah sebagai media tumbuh tanaman menjadi miskin hara (Diaz-Ravina & Baath 2000, Wijebandara *et al.* 2009).

Penggunaan pupuk kimia sintetik oleh para petani menyebabkan peningkatan laju degradasi senyawa organik dan emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida. Dengan demikian, penggunaan pupuk Urea perlu dibatasi, dan selanjutnya digantikan dengan pupuk hayati berbasis mikroba fungsional penambat nitrogen bebas, penghidrolisis fosfat organik, serta pemacu pertumbuhan akar dan pembentuk agregat tanah. Penambahan pupuk sintetik dengan dosis tidak tepat dapat mengakibatkan *leaching* dan evaporasi pada lahan gambut yang terbuka (Degrange 1995, Conrad 1996, Edwards 1996). Hal tersebut dapat berdampak terhadap produktivitas lahan gambut untuk budidaya tanaman pangan. Untuk itu, perlu dilakukan upaya perbaikan melalui pengembangan zona penyangga. Keberadaan mikroba fungsional dalam tanah menjadi penting dalam usaha perbaikan kualitas tanah secara biologis (Tisdale 1985, Wakelin *et al.* 2004, Wijebandara *et al.* 2009). Kuantitas bahan organik dalam tanah berpengaruh langsung terhadap jumlah mikroba dalam tanah (Rao 1984).

Pemanfaatan lahan gambut perlu dilakukan secara berkelanjutan mencakup pengawetan dan perlindungan ekosistem serta biodiversitasnya. Upaya lain ialah dengan aplikasi teknologi mikroba fungsional, seperti bakteri penambat nitrogen (BPN) dan bakteri pelarut fosfat (BPF) dengan metode *inverted* dan *conventional gardening*. *Inverted gardening* yaitu cara penanaman di mana pot-pot tanaman diletakkan secara terbalik, sedang *conventional gardening* yaitu cara penanaman yang biasa dilakukan oleh petani (Gambar 2). *Inverted gardening* dapat dimanfaatkan pada lahan-lahan sempit dengan memanfaatkan ruang secara vertikal.

Sejumlah mikroba tanah seperti BPF dan BPN mampu mensintesis substansi pengatur tumbuh seperti *indole acetic acid* (IAA) maupun vitamin seperti

thiamin dan *biotin* yang diketahui dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Koide 1991). Mikroba tersebut dapat berperan sebagai pupuk hayati (*biofertilizer*) dan aplikasinya dapat dalam bentuk inokulan cair ataupun padat (Widawati 2011a). Kelompok bakteri tersebut berperan untuk mensuplai bahan organik tanah dan penyedia hara dalam tanah, disamping sebagai stimulan pertumbuhan tanaman (Rao 1984, Simanungkalit & Saraswati 1993, Husen *et al.* 2007).

Bakteri pelarut P dan penambat N efektif sebagai *plant growth promoting rhizobacteria* diperoleh melalui proses penapisan dan pengujian fisiologi serta uji lapangan. Analisis kimia, biologi, dan molekuler di laboratorium merupakan metode sensitif untuk mengetahui pemulihan ekosistem tanah secara dini (Kpoblekou & Tabatabai 1994, Michael *et al.* 1994). Aktivitas mikroba tanah tersebut dapat diukur dari aktivitas enzim fosfatase (PME-ase) dan nitrogenase tanah (Vincent 1970, 1982, Tisdale *et al.* 1985), sehingga perbaikan dan pemulihan ekosistem dapat diketahui secara dini (Hayman 1970, 1974, Haque & Subramania 1982, Gianinazzi-Pearson & Gianinazzi 1983, Goto *et al.* 1987, Garbaya 1994, Gupta & Malik 1996, Joner *et al.* 2000).

Bakteri penambat N dan pelarut P yang potensial sebagai pupuk hayati berperan penting dalam pemulihan ekosistem tanah marginal. Namun demikian, kelompok bakteri tersebut mempunyai keterbatasan dalam menstimulasi kesuburan lahan gambut. Kemangkusannya sebagai pupuk hayati terpengaruh bila ada perubahan lingkungan seperti suhu, tekanan, ketersediaan oksigen, dan pH. Oleh karena itu, bakteri perlu disimpan atau diagregasikan dalam bentuk inokulan padat untuk menghindari penurunan keefektifannya. Bentuk inokulan tersebut memerlukan bahan pembawa (*carrier*) seperti gambut halus untuk dapat diinokulasikan pada tanaman. Salah satu produk hasil penelitian terdahulu ialah pupuk hayati Azzofor-wd3 yang merupakan campuran 16 isolat bakteri indigenus lahan gambut (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan bakteri pelarut fosfat), masing-masing empat isolat.

Penelitian bertujuan mengetahui efektivitas mikroba fungsional dalam memacu pertumbuhan tanaman tomat melalui teknologi *inverted* dan *conventional gardening*, serta memanfaatkan teknologi pupuk hayati berbasis mikroba fungsional sebagai agens pemacu pertumbuhan tanaman yang ditumbuhkan dalam media tanah gambut. Melalui penelitian ini, diharapkan ada komposisi media dengan media tanah gambut yang optimal untuk pertumbuhan tanaman tomat.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Pusat Penelitian Biologi LIPI, Cibinong dari Bulan Januari sampai dengan Desember 2011

Isolasi dan Seleksi Bakteri dari Sampel Gambut

Isolasi dan seleksi efektivitas bakteri penambat nitrogen simbiotik (BPNS), bakteri penambat nitrogen nonsimbiotik (BPNNNS), dan bakteri pelarut fosfat (BPF) dilakukan melalui tahap berikut: (1) 10 g gambut segar dimasukkan ke dalam 90 ml akuades steril dan dikocok dengan *shaker* selama 1 jam pada kecepatan 120 rpm, (2) satu ml ekstrak dimasukkan dalam tabung berisi 9 ml akuades steril, dikocok sampai homogen dan selanjutnya sebanyak 1 ml dipindahkan ke tabung berikutnya, demikian seterusnya hingga mencapai pengenceran 10^{-7} , (3) sebanyak masing-masing 0,2 ml ekstrak pengenceran 10^{-3} , 10^{-5} , dan 10^{-7} dimasukkan ke dalam cawan petri steril, kemudian tuangkan media selektif, yaitu media Yema merah *Congo* untuk *Rhizobium*, Pikovskaya untuk bakteri pelarut fosfat, *Mannitol ashby* untuk *Azotobacter*, dan Okon untuk *Azospirillum*, dan (4) biakan bakteri dalam masing-masing cawan petri diinkubasikan selama 3–7 hari pada suhu 28°C.

Jumlah populasi bakteri dari tiap-tiap media selektif dihitung menurut metode *plate count* (Rao 1994). Koloni dari masing-masing bakteri (BPNS, BPNNNS, dan BPF) dimurnikan dan dipindahkan ke dalam media pertumbuhan Pikovskaya, yaitu: 10 g glukosa; 5 g Ca_3PO_4 ; 0,5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 0,2 g KCl; 0,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,01 g $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 0,5 g yeast ekstrak; dan 0,01 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada pH 7 (Rao 1994). Proses pembiakan dan penapisan dilakukan untuk mendapatkan bakteri yang dapat menambat nitrogen dan sekaligus melarutkan fosfat terikat. Pengukuran rasio zona bening (*holozone*) yang dibentuk oleh suatu bakteri dilakukan dengan membandingkan diameter zona bening terhadap diameter koloni setelah diinkubasi selama 7 hari pada temperatur ruang.

Pembuatan Inokulan Padat Azzofor-wd3

Inokulan padat Azzofor-wd3 merupakan campuran 16 isolat bakteri indigenus lahan gambut (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan BPF) masing-masing empat isolat yang digunakan sebagai pupuk hayati. Isolat BPNS, BPNNNS, dan BPF murni dengan efektivitas teruji dalam melarutkan fosfat terikat yang ditandai dengan terbentuknya zona bening, ditumbuhkan pada media natrium agar cair dan diinkubasikan selama 7 hari sambil dikocok dengan *shaker* pada kecepatan 120 rpm. Jumlah populasi bakteri BPNS, BPNNNS, dan BPF dalam inokulan



Gambar 1. Isolat bakteri fungsional (*Functional of bacterial isolates*): (a) isolasi bakteri (*bacterial isolation*), (b) isolat murni (*pure isolates*), (c) inokulan cair (*liquid inoculant*), dan (d) inokulan padat (*Azzofor-wd3*) (*solid inoculant (Azzofor-wd3)*)

cair selanjutnya dihitung menggunakan metode pengenceran (Rao 1984). Gambut halus steril sebagai bahan pembawa dicampur dengan inokulan cair dengan perbandingan 100 g gambut dan 60 ml inokulan cair. Inokulan padat tersebut (Gambar 1) digunakan sebanyak 10 g per pot.

Analisis Kandungan PME-ase Asam dan Basa

Larutan induk p-nitrofenol, yaitu 1000 mg p-nitrofenol/l, disiapkan dengan melarutkan 0,1 g p-nitrofenol dalam akuades, kemudian diencerkan sampai volume 100 ml dalam labu takar. Selanjutnya larutan standar 20 mg p-nitrofenol disiapkan dengan cara memasukkan 2 ml larutan induk ke dalam labu takar 100 ml, lalu ditambahkan akuades sampai tanda tera. Untuk analisis kandungan PME-ase asam dan basa, sebanyak masing-masing 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 ml larutan standar tersebut dimasukkan ke dalam tabung reaksi, diencerkan dalam akuades sampai volume 5 ml. Selanjutnya ditambah 1 ml kalsium klorida 0,5 M dan 4 ml natrium hidroksida 0,5 M ke dalam masing-masing tabung reaksi, dan dikocok sampai homogen. Masing-masing larutan tersebut kemudian diukur absorbannya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm.

Pengujian aktivitas fosfomonoesterase dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut: (1) satu g tanah contoh dimasukkan ke dalam botol uji, kemudian ditambahkan 1 ml substrat p-nitrofenilfosfat 20 mg p-nitrofenol, dan 4 ml *buffer* dengan pH 6,5 untuk PME-ase asam dan pH 7,5 untuk PME-ase basa, (2) campuran tersebut dikocok, ditutup, dan diinkubasi selama 1 jam pada suhu 37°C, (3) tambahkan 1 ml CaCl_2 0,5 M dan 4 ml NaOH 0,5 M, lalu dikocok dan disaring, (4) ambil 1 ml filtrat dan masukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian tambahkan 9 ml akuades, dan (5) ukur absorban larutan

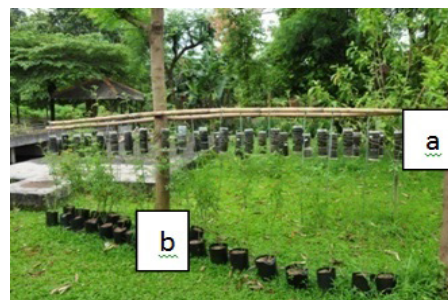
dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm. Setiap contoh diulang tiga kali. Contoh tanah steril digunakan sebagai kontrol.

Analisis P Tersedia dan pH

Sebanyak 100 ml media Pikovskaya cair yang berisi $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ sebagai sumber P dengan dosis 5 g/l (Gaur 1981) dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 ml. Besarnya pH media dinetralkan ($\text{pH} = 7,0$) sebelum diinokulasi. Masing-masing erlenmeyer diisi dengan sampel sebanyak 1 g dengan kepadatan kurang lebih 10^9 sel/ml. Media yang sama tanpa $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ digunakan sebagai kontrol. Semua erlenmeyer biakan tersebut dikocok dengan *shaker* pada kecepatan putar 120 rpm selama 1 minggu. Kultur selanjutnya dipanen dan disentrifugasi selama 10 menit, kemudian kandungan fosfat yang dapat larut diukur menggunakan metode Allen (1974), yaitu : (1) siapkan larutan A (14 ml H_2SO_4 +100 ml akuades), B (0,324 g $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ + 100 ml akuades), C (4 g $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ + 100 ml), dan D (1,76 g asam askorbat +100 ml), (2) siapkan campuran larutan ABCD, yaitu masing-masing sebanyak 10, 1, 3, dan 6 ml, (3) masukkan 3 ml supernatan hasil sentrifugasi ke dalam tabung reaksi, kemudian tambahkan 0,5 ml campuran larutan ABCD, dan (4) ukur absorbansi larutan untuk mengukur fosfat bebas menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Larutan KH_2PO_4 disiapkan berdasarkan konsentrasi ppm yang diinginkan untuk standardisasi.

Pengujian Efektivitas Azzofor-wd3 pada Budidaya Tanaman Tomat dengan *Inverted* dan *Conventional Gardening*

Pengujian dilakukan pada tanaman tomat Cherry di Kebun Pusat Penelitian Biologi, LIPI, Cibinong. Pengujian menggunakan media gambut pertanian dan pot berupa botol plastik bekas minuman kapasitas 1 l untuk *inverted gardening*, dan kantung plastik hitam diameter 15 cm untuk *conventional gardening*. Inokulan Azzofor-wd3 padat merupakan campuran dari 16 bakteri indigenus gambut (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan BPF, masing-masing empat isolat) ditambah gambut halus sebagai *carrier*. Semaian tomat ditanam dalam pot dengan komposisi media : gambut sebanyak 50% (vol) dan tambahan



Gambar 2. (a) *Inverted gardening* dan (b) *Conventional gardening*

bahan pupuk sesuai perlakuan sebanyak 50% (vol). Perlakuan tambahan media tanam mencakup : (1) gambut sebagai kontrol, (2) sekam kotoran ayam, (3) kompos, (4) pasir halus, (5) kapur, (6) Azzofor-wd3, (7) sekam kotoran ayam + pasir halus, (8) sekam kotoran ayam + kapur, (9) sekam kotoran ayam + Azzofor-wd3, (10) kompos+ pasir halus, (11) kompos + kapur, (12) kompos + Azzofor-wd3, (13) pasir halus + kapur, (14) pasir halus + Azzofor-wd3, (15) kapur + Azzofor-wd3, (16) sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus, (17) sekam kotoran ayam + kompos + kapur, (18) sekam kotoran ayam + kompos + Azzofor-wd3, (19) sekam kotoran ayam + pasir halus + kapur, (20) sekam kotoran ayam + pasir halus + Azzofor-wd3, (21) sekam kotoran ayam + kapur + Azzofor-wd3, (22) kompos + pasir halus + kapur, (23) kompos + kapur + Azzofor-wd3, (24) pasir halus + kapur + Azzofor-wd3, (25) sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus, (26) sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus + Azzofor-wd3, (27) kompos + pasir halus + kapur + Azzofor-wd3, dan (28) sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus + kapur + Azzofor-wd3. Setiap bahan pupuk diberikan dengan volume yang sama bergantung perlakuannya. Sebagai contoh, pada perlakuan nomor 26, sekam kotoran ayam, kompos, pasir halus, dan inokulan Azzofor-wd3, masing-masing diberikan sebanyak 12,5% (v). Kompos kotoran ayam yang dicampur dengan potongan rumput (1 : 1 v/v) yang dimatangkan selama 1 bulan. Penambahan inokulan Azzofor-wd3 ialah sebanyak 5 g/pot. Pot untuk cara tanam *inverted gardening*, diletakkan secara terbalik dan digantung setinggi 1,2 m, sedangkan yang *conventional gardening* diletakkan di bawahnya

Tabel 1. Analisis PME-ase asam dan basa serta pH dari sampel tanah gambut dari Kalimantan Tengah (Analysis of acid and base PME-ase of peat soil samples from Central Kalimantan)

Sampel tanah gambut (Peat soil sample)	PME-ase asam (Acid PME-ase)	PME-ase basa (Base PME-ase)	pH
Gambut Pertanian	3,9133 a	3,9133 a	3,88 a
Gambut Kering	3,9133 a	3,9133 a	3,46 a
Gambut di bawah 3 m	1,9543 b	1,1189 b	3,77 a
Gambut diberi pasir	0,2128 c	0,2074 c	4,90 b

Keterangan (Remark): Angka rerata yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf 5% (Mean followed with the same letter in the same column are not significantly different according to DMRT test at 5% level)

(Gambar 2). Percobaan ini menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Pengamatan dilakukan terhadap produksi tomat per tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap aktivitas enzim PME-ase dari beberapa jenis tanah gambut yang diambil dari Kalimantan Tengah dilakukan mengawali penelitian ini. Hasil analisis disajikan dalam Tabel 1.

Dalam Tabel 1 terlihat bahwa sampel gambut yang diuji menunjukkan status pH yang relatif rendah atau keasamaan tinggi, dengan PME-ase asam berkisar antara 0,2128 sampai 3,9133 ppm, sedangkan kandungan PME-ase basa berkisar antara 0,2074 sampai dengan 3,9133 ppm, pH rendah (asam), dan kandungan enzim PME-ase asam dan basa juga rendah. Hal tersebut mengindikasikan secara dini bahwa gambut merupakan media tanam yang kurang subur.

Penghitungan bakteri sebelum gambut dicampur pupuk dan sesudah penanaman dan pemupukan disajikan dalam Tabel 2. Populasi bakteri *Rhizobium* sebelum pemupukan ialah nol dan sesudahnya ialah 10^6 sel/ml. Bakteri *Azotobacter* dan *Azospirillum* yang diisolasi dari media dalam pot sebelum dan sesudah tanam secara statistik berbeda nyata, juga ada penambahan jumlah populasi dari metode *inverted* dan *conventional gardening*. Populasi bakteri relatif lebih banyak dalam media pada *conventional gardening* daripada *inverted gardening*.

Pemupukan dengan inokulan Azzofor-wd3 dengan jumlah bakteri 10^9 dan penambahan bahan lainnya ke dalam media tanam yang berisi tanah gambut terbukti cukup efektif, karena dapat menambah jumlah bakteri, meskipun hanya mencapai 10^7 . Menurut Obaton (1977) tanah yang subur harus mengandung mikroba indigenus sebagai agens pupuk hayati minimal sebesar 10^7 . Jumlah populasi mikroba juga bergantung pada jenis dan jumlah tanaman yang tumbuh pada habitat tersebut. Jumlah tersebut mungkin dipengaruhi juga oleh kondisi fisik dan kimia dari media dalam pot

tersebut, seperti ketersediaan hara makro, mikro, kelembaban tanah, pH, dan suhu. Faktor lainnya ialah jumlah populasi bakteri dalam tanah atau media yang sangat berpengaruh terhadap kesuburan tanah. Jumlah populasi tersebut dipengaruhi oleh pemupukan dan jenis tanaman.

Hasil pengukuran konsentrasi P tersedia, aktivitas enzim PME-ase asam dan basa serta kondisi pH dari media tanam sebelum dan sesudah tanam tomat ditampilkan dalam Tabel 3. Konsentrasi P tersedia serta aktivitas enzim PME-ase asam dan basa meningkat selama 3 bulan sejak tanam. Peningkatan aktivitas terjadi karena adanya proses induksi pada saat jumlah P terbatas dalam media tanam dan pada saat bakteri tumbuh, sehingga membutuhkan P yang tinggi (Savin *et al.* 2000). Selama pertumbuhan dalam media tanam, semua bakteri inokulan Azzofor-wd3 secara genetik mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam menghasilkan jumlah dan jenis dari asam-asam organik. Menurut Tatiek (1991), jumlah dan jenis asam-asam organik berperan dalam pelarutan P. Konsentrasi P tersedia hasil pelarutan P terikat dalam media tanam merata meningkat setelah tanam dibandingkan sebelum tanam, tetapi antarperlakuan tidak berbeda nyata. Bakteri yang ada di dalam media gambut, seperti *Azotobacter* dan *Azospirillum* (Tabel 2) kemungkinan sudah efektif melarutkan P terikat. Bakteri tersebut dapat menyediakan unsur N dan juga mampu menyediakan unsur P bagi tanaman (Widawati 2011) serta sekaligus sebagai bakteri pemantap agregat tanah (Miharja 2003). Keberadaannya pada rizosfer berasosiasi dan berinteraksi dengan perakaran, sehingga dapat mengubah morfologi dari akar seperti akar rambut yang semakin banyak, akar semakin panjang, dan permukaan akar semakin luas. Perubahan tersebut berdampak pada keberhasilan pertumbuhan dan produksi tanaman tomat (Tabel 4) serta sekaligus meningkatkan kesuburan tanah.

Efektivitas bakteri yang terkandung dalam Azzofor-wd3 sebagai mikroba fungsional penghasil *plant growth promoter* (PGP) terlihat seiring dengan

Tabel 2. Populasi bakteri dalam media tanam gambut sebelum dan sesudah tanam (*Bacterial population in peat growing media before and after planting*)

Sampel (Sample)*	Medium Yema (<i>Rhizobium</i>) sel/ml	Medium Okon (<i>Azospirillum</i>) sel/ml	Medium Mannitol Ashby (<i>Azotobacter</i>) sel/ml	Medium Pikovskaya Bakteri pelarut fosfat (<i>Phosphate solubilizing bacteria</i>) sel/ml
A1	10.000.000 a	80.160.000 a	50.600.000 a	10.200.000 a
B1	10.050.000 a	80.650.000 a	30.800.000 b	10.500.000 b
A0	0 b	2.000.000 b	3.700.000 b	0 b
B0	0 b	2.030.000 b	0 c	0 b

*A0 dan B0 = Sebelum tanam (*Before planting*); A1 dan B1 = Sesudah tanam (*After planting*); A = *Inverted gardening*; B = *Conventional gardening*

Tabel 3. Konsentrasi P tersedia, pH, PME-ase asam, dan basa pada media tanam sebelum dan sesudah panen tomat (*Concentrations of available P, pH, acid and base PME-ase on growing media before and after harvesting of tomato*)

Sebelum tanam (<i>Before planting</i>)				Setelah panen (<i>After harvesting</i>)			
pH	P tersedia (<i>Available P</i>)	PME-ase asam (<i>Acid PME-ase</i>)	PME-ase basa (<i>Base PME-ase</i>)	pH	P tersedia (<i>Available P</i>)	PME-ase asam (<i>Acid PME-ase</i>)	PME-ase basa (<i>Base PME-ase</i>)
	ppm	mg p-nitrofenol/ml			ppm	mg p-nitrofenol/ml	
5,24 a	1,0333 abcd	0,1032 ab	0,1743 a	4,30 a	3,1013 abcd	0,3110 ab	0,5245 a
5,79 a	0,9440 abcd	0,0929 ab	0,1686 a	4,57 ab	3,1013 abcd	0,2801 ab	0,5073 a
5,68 a	1,0470 abcd	0,1417 ab	0,1948 a	5,06 abc	2,8334 abcd	0,4267 ab	0,5860 a
5,49 a	0,9752 abcd	0,0870 ab	0,1641 a	5,20 abc	3,1237 abcd	0,2626 ab	0,4938 a
5,79 a	0,8560 abc	0,1166 ab	0,1763 a	5,22 abc	2,9273 abc	0,3514 ab	0,5305 a
5,47 a	1,1081 bcde	0,1130 ab	0,1799 a	5,30 abc	3,3260 bcde	0,3405 ab	0,5412 a
5,65 a	0,9736 abcd	0,1691 b	0,2031 a	5,35 bc	2,9226 abcd	0,5091 ab	0,6109 a
5,86 a	0,9300 abcd	0,0751 ab	0,1993 a	5,41 bc	2,7915 abcd	0,2270 ab	0,5990 a
5,78 a	0,9318 abcd	0,0479 a	0,2226 a	5,46 bc	2,7971 abcd	0,1448 ab	0,6692 a
5,62 a	0,7895 ab	0,0948 ab	0,1836 a	5,52 bc	2,3700 ab	0,2859 ab	0,5523 a
5,77 a	1,1745 cde	0,0746 ab	0,2313 a	5,55 bc	3,5250 cde	0,2252 ab	0,6953 a
5,90 a	1,4295 e	0,0698 ab	0,1535 a	5,37 bc	4,2900 e	0,2107 ab	0,4607 a
5,63 a	0,9658 abcd	0,0786 ab	0,1688 a	5,48 bc	2,8991 abcd	0,2374 ab	0,5078 a
5,73 a	0,7139 a	0,0770 ab	0,1726 a	5,46 bc	2,1434 a	0,2324 ab	0,5189 a
5,68 a	0,8575 abc	0,0898 ab	0,1913 a	5,50 bc	2,5744 abc	0,2709 ab	0,5753 a
5,91 a	0,9937 abcd	0,0733 ab	0,1834 a	5,54 bc	2,9826 abcd	0,2213 ab	0,5533 a
5,79 a	1,1047 bcde	0,1121 ab	0,1977 a	5,45 bc	3,3157 bcde	0,3378 ab	0,5945 a
5,65 a	0,9945 abcd	0,0867 ab	0,1880 a	5,49 bc	2,9850 abcd	0,2616 ab	0,5653 a
5,77 a	1,0455 abcd	0,0766 ab	0,1912 a	5,45 bc	3,1381 abcd	0,2312 ab	0,5750 a
5,69 a	0,9000 abcd	0,1175 ab	0,2106 a	5,53 bc	2,7015 abcd	0,3535 ab	0,6328 a
5,88 a	1,1326 bcde	0,0711 ab	0,1642 a	5,50 bc	3,3994 bcde	0,2147 ab	0,4941 a
5,80 a	1,1705 cde	0,1174 ab	0,2162 a	5,39 bc	3,5130 cde	0,3535 ab	0,6500 a
5,64 a	0,9752 bcd	0,0741 ab	0,1541 a	5,40 bc	2,9273 bcd	0,2238 ab	0,4638 a
5,49 a	0,7255 a	0,0906 ab	0,1538 a	5,43 bc	2,1781 a	0,2733 ab	0,4630 a
5,50 a	0,6847 a	0,1232 ab	0,1530 a	5,44 bc	2,0542 a	0,3695 ab	0,4590 a
5,99 a	0,9618 abcd	0,1256 ab	0,2045 a	5,62 c	2,8855 abcd	0,3768 ab	0,6134 a
6,00 a	1,2321 de	0,1063 ab	0,1992 a	5,66 c	3,6963 de	0,3189 ab	0,5975 a
6,12 a	1,2302 de	0,0843 ab	0,1335 a	5,68 c	3,6907 de	0,2529 ab	0,4005 a

adanya kenaikan nilai kandungan PME-ase, P tersedia, dan menurunnya pH media tanam pada hasil analisis sebelum pot dipupuk dan ditanami dengan hasil analisis setelah panen. Penurunan nilai pH (Tabel 3) disebabkan adanya absorpsi glukosa pada aktivitas bakteri pelarut P yang membebaskan asam-asam organik, seperti asam sitrat, glutamat, suksinat, laktat, oksalat, glikooksalat, malat, fumarat, tartarat, dan asam alfa ketobutirat, yang terus meningkat. Proses tersebut dapat mengakibatkan terjadinya pelarutan Ca-fosfat yang diikuti dengan pengkkelatan, yaitu kompleks stabil, dengan kation Al, Fe, dan Ca yang mengikat P, sehingga P tersedia dalam bentuk ion $H_2PO_4^-$ yang dapat diserap oleh tanaman (Kucey 1983). Hal tersebut sejalan penelitian Kim *et al.* (1997) yang mendapatkan adanya peningkatan pertumbuhan tanaman, aktivitas fosfatase asam dan basa, konsentrasi P pada tanah yang diberi perlakuan inokulasi bakteri pelarut fosfat.

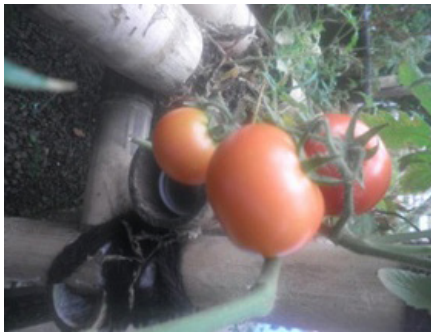
Aktivitas enzim PME-ase dalam tanah menurut Klose *et al.* (1999) berhubungan erat dengan aktivitas

mikrob, karena biomas mikrob menjadi syarat sebagai sumber utama enzim dalam tanah. Dari hasil penelitian ini dan beberapa hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa aktivitas enzim dipengaruhi secara nyata oleh jenis pupuk yang diberikan dan sistem penanaman (Deng & Tabatabai 1997). Komposisi pupuk yang berbeda dari pot nomor 1 hingga nomor 28 dengan cara tanam yang berbeda, menunjukkan hasil yang berbeda baik pada analisis enzim PME-ase sebelum maupun setelah panen tomat (Tabel 3 dan 4).

Produksi rerata per tanaman tomat Cherry (Gambar 3) dengan *conventional gardening* lebih tinggi daripada *inverted gardening* pada perlakuan yang menggunakan Azzofor-wd3 (Tabel 4). Hasil tertinggi diperoleh pada perlakuan No. 28, yaitu media tanam gambut yang dicampur dengan sekam kotoran ayam, kompos, pasir halus, kapur, dan Azzofor-wd3, yaitu sebesar 63,9 dan 65,9 g/tanaman, masing-masing untuk cara *inverted* dan *conventional gardening*. Secara umum, produksi buah tomat yang dihasilkan dari *inverted gardening*

Tabel 4. Pengaruh penambahan bahan pupuk pada media tanam gambut terhadap hasil tomat Cherry pada cara tanam *inverted* dan *Conventional gardening* (The effect of the addition of fertilizing materials in peat media on the yield of tomato Cherry with *inverted* and *conventional gardening*)

Perlakuan (Treatments)	Produksi tomat (Tomato yield), g/pot	
	<i>Inverted gardening</i> (A)	<i>Conventional gardening</i> (B)
Gambut /Kontrol	A 32,2 a	A 32,7 a
Sekam kotoran ayam	A 44,1 bcde	B 49,8 cdef
Kompos	A 40,9 abcd	A 41,6 abc
Pasir halus	A 36,2 ab	B 40,6 ab
Kapur	A 36,4 ab	A 38,2 ab
Azsofor-wd3	A 48,6 cdefg	A 49,5 cdef
Sekam kotoran ayam + pasir halus	A 38,5 abc	B 42,5 abc
Sekam kotoran ayam + kapur	A 44,4 bcdef	B 50,1 cdef
Sekam kotoran ayam + Azsofor-wd3	A 52,5 efg	B 55,5 defg
Kompos + pasir halus	A 41,8 abcd	B 48,1 bcd
Kompos + kapur	A 43,6 bcde	B 48,2 bcde
Kompos + Azsofor-wd3	A 51,0 efg	B 58,1 efg
Pasir halus + kapur	A 44,0 bcde	B 50,4 cdefg
Pasir halus + Azsofor-wd3	A 51,0 efg	A 52,0 defg
Kapur + Azsofor-wd3	A 51,5 efg	B 54,8 defg
Sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus	A 39,6 abcd	B 45,3 bcd
Sekam kotoran ayam + kompos + kapur	A 39,4 abcd	B 45,3 bcd
Sekam kotoran ayam + kompos + Azsofor-wd3	A 56,2 gh	B 58,0 efg
Sekam kotoran ayam + pasir halus + kapur	A 44,4 bcdef	B 47,5 bcd
Sekam kotoran ayam + pasir halus + Azsofor-wd3	A 53,3 efg	B 59,2 fg
Sekam kotoran ayam + kapur + Azsofor-wd3	A 58,3 gh	A 59,1 fg
Kompos + pasir halus + kapur	A 39,5 abcd	B 49,9 cdef
Kompos + kapur + Azsofor-wd3	A 53,0 efg	A 54,1 defg
Pasir halus + kapur + Azsofor-wd3	A 52,0 efg	B 55,4 defg
Sekam kotoran ayam + kompos + pasir + kapur	A 49,6 defg	A 50,3 cdefg
Sekam kotoran ayam + kompos + pasir halus + Azsofor-wd3	A 54,0 gh	B 59,9 fg
Kompos + pasir halus + kapur + Azsofor-wd3	A 55,3 gh	B 60,1 gh
Sekam kotoran ayam + Kompos + pasir halus + kapur + Azsofor-wd3	A 63,9 h	B 65,9 h



Gambar 3. Tomat Cherry (Cherry tomato)

lebih rendah dibandingkan dengan *conventional gardening*. Namun demikian, salah satu keuntungan metode *inverted gardening* dengan aplikasi mikrob fungsional ialah dalam penggunaan media tanam yang kurang subur dan pemanfaatan lahan sempit, khususnya di daerah perkotaan atau periurban.

Hasil percobaan ini juga sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa mikrob tanah fungsional dari ekosistem gambut sangat membantu meningkatkan kesuburan tanah gambut

(Sudiana 2009, Rahmansyah & Sudiana 2010, Sudiana *et al.* 2010). Mikrob fungsional mampu meningkatkan kesuburan tanah dan menstimulasi pembentukan agregat tanah (Sudiana *et al.* 1998, Sudiana *et al.* 2009), yang pada akhirnya meningkatkan *water holding potential* tanah gambut. Hal tersebut jelas mengindikasikan bahwa aplikasi mikrob fungsional dapat meningkatkan produktivitas lahan-lahan gambut terlantar dan diharapkan dapat menurunkan kecepatan konversi lahan gambut.

KESIMPULAN

1. Komposisi media dan pupuk terbaik berdasarkan hasil penelitian ini ialah campuran gambut sebagai media dasar (50% vol.) ditambah dengan campuran bahan pupuk sebanyak 50% vol., yaitu sekam kotoran ayam, kompos, pasir, kapur, dan Azsofor-wd3. Komposisi tersebut menghasilkan buah tomat Cherry pada cara tanam *inverted* dan *conventional gardening*, masing-masing sebesar 63,9 dan 65,9 g/pot pada 3 bulan setelah tanam.
2. Media dan bahan pupuk yang digunakan dalam penelitian dapat menaikkan jumlah P tersedia,

populasi bakteri, dan enzim PME-ase setelah panen tomat.

3. Inokulan Azzofor-wd3 yang berisi bakteri fungsional indigenus gambut berpotensi sebagai *plant growth promoter*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada proyek Program Insentif Peneliti dan Perakayasa LIPI Tahun 2011 yang membiayai pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anderson, JPE 1982, *Method of soil analysis*, Wisconsin, Madosen.
2. Conrad, R 1996, 'Soil microorganism as controllers of atmospheric traces (H₂, CO, CH₄, OCS, N₂O, and NO)', *Microb. Rev.*, vol. 60, pp. 609-40.
3. Degrange, V & Bardin, R 1995, Detection and counting of Nitrobacter populations in soil by PCR', *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 61, no. 6, pp. 2093-98.
4. Deng, SP & Tabatabai, MA 1997, 'Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III, phosphatases and arylsulfatase', *Biol. Fertil. Soils*, vol. 24, pp. 141-46.
5. Diaz-Ravina, M & Baath, E 2000, 'Response of soil bacterial communities pre-exposed to different metals and reinoculated in an unpolluted soil', *Soil Biol. and Biochem.*, vol. 33, pp. 241-48.
6. Edwards, C, Hales, BA, Hall, GA, McDonald, IR, Murrell, JC, Pickup, R, Ritchie, DA, Saunders, JR, Simon, BM & Upton M 1998, 'Microbiological Processes in the terrestrial carbon-cycle-methane cycling in peat', *Atmos. Environ.*, vol. 32, pp. 3247-55.
7. Garbaye, J 1994, 'Helper bacteria: a new dimension to the micorrhizal symbiosis', *New Phytol.*, vol. 128, pp. 197-210.
8. Gianinazzi-Pearson, V & Gianinazzi, S 1983, 'The physiology of vesicular-arbuscular micorrhizal roots', *Plant and Soil*, vol. 71, pp. 97-209.
9. Goto, S, Iwasaki, H & Okuma, Y 1987, 'New species belonging to the genera *Pichia* and *Candida*', *J. Gen. Appl. Microbiol.*, vol. 33, pp. 275-86.
10. Gupta, SR & Malik, V 1996, 'Soil ecology and sustainability', *J. Tropical. Ecol.*, vol. 37, no. 1, pp. 43-55.
11. Hayman, DS 1970, 'Endogone spore numbers in soil and vesicular-arbuscular micorrhizal in wheat as influenced by season and soil treatment', *Trans. Br. Mycol. Soc.*, vol. 54, pp. 53-60.
12. Hayman, DS 1974, 'Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza', *New Phytologist*, vol. 73, pp. 71-80.
13. Haque, MA & Subramanian, V 1982, 'Copper, lead and zinc pollution of soil environment', *CRC Crit Rev. Environ. Control*, pp. 13-67.
14. Husen, E, Simanungkalit, RMD, Saraswati & Irawan 2007, 'Characterization and quality assessment of Indonesian commercial biofertilizers', *Ind. Agr. Sci.*, vol. 8, pp. 31-8.
15. Joner, EJ, Arle, M & Vosatka, IM 2000, 'Phosphate activity of extraradical arbuscular micorrhizal hyphae', *J. Biol. Biochem.*, vol. 226, pp. 199-207.
16. Kennedy, AC & Papendick, RI 1995, 'Microbial characteristics of soil quality', *J. Soil Water Cons.*, vol. 50, pp. 243-48.
17. Klose, S, Moore, JM & Tabatabai, MA 1999, 'Arylsulfatase activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems', *Biol. Fertil. Soils*, vol. 29, pp. 46-54.
18. Kpombekou, K & Tabatabai MA 1994, 'Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rock', *Soil Sci.*, vol. 158, pp. 442-49.
19. Koide, RT 1991, 'Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection', *New Phytologist*, vol. 117, pp. 365-86.
20. Kucey, RMN 1983, 'Phosphate solubilising bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils', *Can. J. Soil Sci.*, vol. 63, pp. 671-78.
21. La Rue, JH, McClellan, WD & WL 1975, 'Mycorrhizal fungi and peach nursery nutrition', *Calif. Agric.*, vol. 29, pp. 6-7.
22. Las, KI, Nugroho & Hidayat, A 2009, 'Strategi pemanfaatan lahan gambut untuk pengembangan pertanian berkelanjutan', *Pengembangan Inovasi Pertanian*. vol. 2, no. 4, hlm. 295-98.
23. Mamilov, ASH & Dilly, OM 2002, 'Soil microbial eco-physiology as affected by short-term variations in environmental conditions', *Soil Biol. & Biochem.*, vol. 34, pp. 1283-90.
24. Michael, L, Bishop, A, Chang, C & Lee, RWK 1994, 'Enzymatic mineralization of organic phosphorus in a volcanic soil in Chile', *Soil Sci.*, vol. 157, no. 4, pp. 238-41.
25. Miharja, OAA 2003, *Peningkatan pertumbuhan dan hasil kedelai serta efisiensi pemupukan fosfat sebagai akibat pemberian pupuk hayati pada tanah ultisol Jatiningor*. diunduh 31 Oktober 2011, <<http://www.goggle.co.id>>.
26. Obaton, M 1977, *In biological nitrogen fixation in farming system of the tropics*, Ayanaba and Dart, Eds. Willey, London.
27. Rahmansyah, R & Sudiana, IM 2010, *Soil enzymes and functional microbial activities in system of rice intensification*, Association on Tropical Biodiversity Conservation 2010, Bali, 19-24 July.
28. Rao, S 1984, *Biofertilizers in agriculture*, Oxford & IBH Publ., New Delhi.
29. Savin, MC, Taylor, H, Gorres, JH & Amador, JA 2000, 'Seasonal variation in acid phosphatase activity as a function of landscape position and nutrient inputs', *Agronomy Abstract*, pp. 92:391, [terhubungberkala], accessed 27 July 2006, <http://www.wrc.uri.edu/pubs/reports/1999/Amador_1999.pdf>.
30. Simanungkalit, RDM 2006, 'Prospek pupuk organik dan hayati. dalam Simanungkalit, RDM, Suriadikarta, DA, Saraswati, R, Setyorini, D & Hartatik, W (eds.): Pupuk organik dan pupuk hayati: organic fertilizers and biofertilizers, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, hlm. iii + 283.
31. Simanungkalit, RDM & Saraswati, R 1993, 'Application of biotechnology on biofertilizer production in Indonesia in *Proceeding Seminar on Biotechnology: Sustainable Agriculture and Alternative Solution for Food Crisis*, PAU-Bioteknologi IPB, Bogor.
32. Sudiana, IM, Kanti, A, Widawati, S, Supriyati, D, Suliasih, S, Sugiharto, A, Subowo, JH, Julistiono, H & Rahmansyah, M 2010, 'Exploration of tropical microbial diversity and their role in over coming food, energy and climate crises', Association on Tropical Biodiversity Conservation 2010, Bali, 19-24 July.

33. Sudiana, IM 2009, 'Microbial community and structure and its function in forest recovery in Bukit Bangkirai, Kaltim, Indonesia', presented in International Symposium on Peat Land Management, Ministry of Science Technology, Jakarta.
34. Sudiana, IM, Otsuka, S, Krishanti, NP, Widada, J, Anas, I & Niswan, A 2009, 'Molecular analyses of particulate methane monooxygenase gene (pMO) in soil of system of rice intensification and its ecological significance', *Proceeding of 7th Annual Conference of The International Society of Paddy and Water Environment Engineering*, pp. 47-55.
35. Sudiana, IM, Mino T Satoh & Matsuo, T 1998, 'Morphology, *in-situ* identification with rRNA targeted probe and respiratory quinone profile of enhanced biological phosphorous removal sludge', *Wat. Sci. Tech.*, no. 8-9, pp. 69-76.
36. Tatiek, H 1991, 'Bakteri pelarut fosfat asal beberapa jenis tanah dan efeknya terhadap pertumbuhan dan hasil jagung (*Zea mays L.*)', Disertasi, Universitas Padjadjaran, Bandung.
37. Tejada, M, Garcia, C, Gonzalez, JL & Hernandez, MT 2006, 'Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil', *Soil Bio. & Biochem.*, vol. 38, pp. 1413-21.
38. Tisdale, SL, Nelson, WL & Beaton, JD 1995, *Soil fertility and fertilizer*, 4th ed. Mac Millan, New York.
39. Vincent, JM 1970, *A manual for the practical study of root nodule bacteria*, Blackwell Scientific, Oxford.
40. Wakelin, SA, Werren, PR & Ryder, HM 2004, 'Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. closely associated with wheat root', *Biol. and Fert. Soils*, vol. 40, pp. 36-43.
41. Widawati, S 2011a, 'Diversity and phosphate solubilization by bacteria isolated from Laki island coastal ecosystem', *Biodiversitas J. Biol. Diversity*, vol. 12, no. 1, pp. 17-21.
42. Widawati, S 2011b, 'The role of phosphate solubilizing bacteria and freeliving nitrogen fixing bacteria on the growth and adaptation of *Gmelina arborea* Roxb. Grown on degraded land', *J. Environ. Engineering (Rekayasa Lingkungan)*, vol. 7, no. 1, pp. 89-95.
43. Wijebandara, DMD, Iranie, GS, Dasog, PL, Patil & Hebbbar, M 2009, 'Response of rice to nutrients and biofertilizers under conventional and system of rice intensification methods of cultivation in Tungabhadra command of Karnataka', *Karnataka J. Agric. Sci.*, vol. 22, no. 4, pp. 741-50.