

PEMANFAATAN *BIOCHAR* ASAL CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN PEMBAWA MIKROBA PEMANTAP AGREGAT

L. P. Santi¹⁾ dan D. H. Goenadi^{1,2)}

¹⁾Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia
PT Riset Perkebunan Nusantara

²⁾Chapter Member of the International Biochar Initiative

Abstract

The porous structure of biochar promotes ability to absorb soluble organic matter, gases, and inorganic nutrients. These characters are indeed highly suitable habitat for microbes to colonize, grow, and reproduce. A series of research was carried out aiming at to study the possibility of using biochar from palm kernel shell as bio-ameliorant carrier material for aggregate stabilizing microbes and determine the effectiveness of the newly-constructed bio-ameliorant in an Ultisol. Biochar was examined their physicochemical characteristics and the microbes population residing in it over time. Fourier-transformed infrared spectroscopy (FTIR) was used for obtaining vibrational spectra of the biochar that related to promote organo-mineral complexes of functional groups. The results indicate that biochar was suitable carrier material as it has highest total pore spaces and available water content in the newly-constructed bio-ameliorant compared to peat and compost. Microbial population obtained from the granular forms of bio-ameliorant was 10^7 cfu/g of the sample until 12 months shelve-life periods. Biochar showed intensive bands in the range of 3413-3400/cm corresponding to the stretching band of O-H (hydroxyl) and N-H amine). In the region 1170-950 /cm, bio-char exhibited the absorption characteristic at 1034/ cm corresponding to the existence of O-CH₃ vibrations. The best vegetative growth performance of Bisma variety in Ultisol at Experiment Station Taman Bogo, Lampung, was shown by the application of 100% standard dosage of NPK conventional fertilizers in combination with the addition of 4.2 g bio-ameliorant/tree. Yield of dry grain of maize was higher (+15.7%) by application of 100% standard dosage and 2.1 g bio-ameliorant/tree (112 kg/ha) than that obtained by standard dosage of conventional fertilizer.

Key words: biochar, aggregate stabilizing microbes, bio-ameliorant, ultisol

Pendahuluan

Dominasi tanah Ultisol di sebagian besar wilayah Indonesia menimbulkan masalah tersendiri dalam hal pencapaian produktivitas pertanian dan perkebunan yang optimal. Jenis tanah ini dicirikan dengan agregat kurang stabil, permeabilitas, bahan organik, dan tingkat kebasahan rendah. Sehubungan dengan hal tersebut, aplikasi biochar sebagai

pembenah tanah untuk meningkatkan sifat fisik dan biologi tanah telah banyak dilaporkan (Lehmann dan Rondon, 2005; Steiner, 2007).

Keberadaan biochar di dalam tanah dapat digunakan sebagai habitat fungi dan mikroba tanah lainnya. Fungi dapat bersporulasi di dalam pori mikro biochar karena di dalam pori tersebut kompetisi yang terjadi dengan saprofit lainnya cukup

rendah (Saito dan Marumoto, 2002). Oleh karena itu pemanfaatan biochar sebagai bahan pembawa pembenah hayati dengan bahan aktif bakteri merupakan peluang riset yang dapat menghasilkan sebuah invensi. Hal ini cukup beralasan karena penelitian terkait dengan karakteristik biochar dan viabilitas mikrob dalam interaksinya dengan biochar belum banyak dilakukan. Sementara untuk gambut dan kompos (bahan humik) sudah umum digunakan sebagai campuran bahan pembawa pupuk hayati (Goenadi *et al.*, 2005; Mikkelsen, 2005; Goenadi, 2006).

Makalah ini menyajikan hasil analisis terbatas karakteristik biochar asal cangkang (*shell*) kelapa sawit dan potensi pemanfaatannya sebagai bahan pembawa (*carrier material*) mikrob pemantap agregat tanah, serta menetapkan efektivitas pembenah hayati tersebut pada tanah Ultisol.

Bahan dan Metode

Karakterisasi arang pirolisis (biochar) asal cangkang kelapa sawit

Arang pirolisis (biochar) yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini berasal dari cangkang kelapa sawit yang diproses melalui metode pembakaran lambat (karbonasi) pada temperatur 300–400°C selama lebih kurang 8 jam dengan kondisi tanpa oksigen (pirolisis) (Solichin, 2009). Cangkang kelapa sawit hasil pirolisis ini selanjutnya dianalisis di Laboratorium Fisika Tanah, Balai Penelitian Tanah, Bogor dan Laboratorium Analitik, Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, PT Riset Perkebunan Nusantara. Analisis meliputi: (i) analisis fisik: porositas [kerapatan lindak (BD) dan kerapatan partikel (PD)], ruang pori total (RPT), dan kapasitas menahan air (Bhardwaj *et al.*, 2007), (ii) analisis kimia: N (metode Kjeldahl), P dan K (ekstrak HCl 25%), C-organik metode Walkley-Black

(Eneje *et al.*, 2007), dan KTK (metode Bower). Karakterisasi fisik arang pirolisis dianalisis secara mineralogi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan analisis gugus fungsional dengan *fourier transform infrared* (FTIR).

Penyiapan pembenah hayati

Tiga spesies bakteri pemantap agregat *Pseudomonas fluorescens* PG7II.1, *Flavobacterium* sp PG7II.2, dan *P. diminuta* PG7II.9 masing-masing ditumbuhkan di dalam 50 mL medium ATCC 14 selama 24 jam pada temperatur 28°C di atas mesin pengocok dengan kecepatan 200 rpm. Kerapatan populasi bakteri pada kondisi tersebut rata-rata mencapai $4,9 \times 10^9$ cfu/mL. Teknik pembuatan pembenah hayati dilakukan dengan metode yang dikemukakan oleh Santi *et al.* (2008).

Lokasi penelitian dan pelaksanaan aplikasi pembenah hayati di lapang

Kegiatan penelitian dilakukan pada lahan kering yang berlokasi di Kebun Percobaan (KP) Bogo-Balai Penelitian Tanah, Provinsi Lampung. Jenis tanah di lokasi ini adalah Ultisol, Typic Kanhapludults beragregasi rendah (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Dosis pupuk standar yang diberikan adalah 200 kg/ha Urea (setara 1,95 kg/plot), 150 kg/ha SP-36 (setara 1,46 kg/plot), dan 100 kg KCl/ha (setara 0,98 kg/plot). Dosis pembenah hayati yang diberikan sebanyak 2,1-4,2 g/pohon. Jarak tanam antar tanaman jagung satu dengan lainnya adalah 0,75 x 0,25 m.

Pelaksanaan pemupukan tanaman jagung varietas Bisma dilakukan dua kali. Pembenah hayati diberikan bersamaan pada saat tanam dengan cara dilarik. Pemupukan tahap pertama dengan pemberian pupuk Urea, SP-36, dan KCl masing-masing 1,5; 2,81; dan 1,12 g/pohon dilaksanakan tujuh hari setelah tanam. Tahap pemupukan kedua dengan

pupuk Urea dan KCl masing-masing 2,25 dan 0,75 g/pohon, dilakukan 30 hari setelah tanam. Pada saat pemupukan kedua ini, pengendalian dan pencegahan terhadap hama dilaksanakan dengan pemberian Furadan sebanyak 17 kg/ha.

Rancangan percobaan

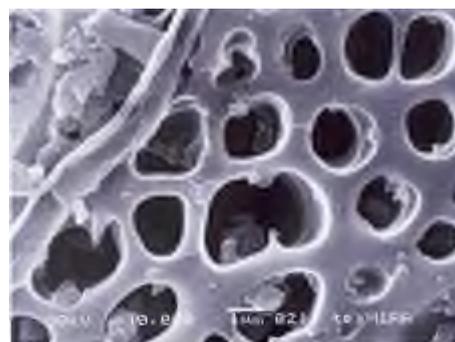
Luas areal tanam masing-masing petak percobaan 10 m x 9,75 m = 97,5 m², sehingga total luas blok percobaan adalah 1.462,5 m². Percobaan dilakukan dalam rancangan acak kelompok, lima perlakuan dan tiga ulangan sebagai berikut:

- A = 100% dosis pupuk NPK sesuai rekomendasi
- B = 100% dosis pupuk NPK + 25% pembenah hayati (2,1 g/pohon)
- C = 100% dosis pupuk NPK + 50% pembenah hayati (4,2 g/pohon)
- D = 50% dosis pupuk NPK + 50% pembenah hayati (4,2 g/pohon)
- E = Tanpa pupuk

Analisis tanah di lokasi penelitian meliputi: pH, KTK, kadar hara (N, P, K, C-organik), Al, dan Fe. Sementara itu, peubah yang diamati adalah: (i) indeks kemantapan agregat tanah (ii) tinggi tanaman, (iii) jumlah daun, dan (iv) produktivitas. Pengamatan pertumbuhan vegetatif tanaman jagung (tinggi tanaman dan jumlah daun) dan produksi (jumlah tongkol, bobot tongkol kering, dan bobot pipil kering) dilakukan pada satu musim tanam. Bobot kering tongkol (kadar air 29%) dan biji kering pipil (kadar air 14%) diukur satu bulan setelah panen. Indeks kemantapan agregat tanah ditetapkan dengan metode ayakan ganda (Canton *et al.*, 2009). Data yang diperoleh diolah dengan analisis ragam dan apabila ada beda nyata dilanjutkan dengan Uji jarak berganda Duncan pada taraf 5% (Steel dan Torrie, 1980).

Hasil dan Pembahasan

Faktor utama yang dipertimbangkan di dalam memilih bahan pembawa pembenah hayati dalam penelitian ini adalah kemampuannya di dalam menyediakan udara dan air. Keduanya dibutuhkan untuk menopang kehidupan dan viabilitas mikro di dalam bahan aktif. Sementara itu, analisis SEM dilakukan untuk melihat struktur mikro biochar asal cangkang kelapa sawit. Struktur mikro biochar dengan pembesaran 10.000 kali menunjukkan keporian yang relatif sarang. Lubang pori terlihat tunggal dan ganda. Pada beberapa bagian pori yang letaknya berdampingan, sekat pori ada yang runtuh sehingga membentuk pori yang lebih besar. Ukuran lubang pori bervariasi antara 2–5 µm. Hasil SEM disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Struktur mikro biochar asal cangkang kelapa sawit.

Hasil pembacaan dengan FTIR diketahui bahwa biochar asal cangkang kelapa sawit ini memiliki pita-pita intensif pada rentang 3413-3400 /cm yang mencirikan pita regangan O-H (hidroksil) dan N-H (amina). Pada wilayah 1170-950 /cm, biochar menunjukkan karakteristik penyerapan pada 1034 /cm yang mencirikan vibrasi O-CH₃. Gugus - gugus fungsional tersebut, sebagaimana halnya dengan gugus fungsional bahan organik lainnya berperan dalam agregasi tanah.

Ketentuan yang ditetapkan mengenai karakter utama bahan pembawa untuk

inokulan mikroba harus memiliki sifat: (i) non toksik terhadap inokulan, (ii) memiliki kapasitas absorpsi yang baik, (iii) mudah untuk diproses dan bebas dari bahan yang dapat membentuk bongkahan, (iv) mudah untuk disterilisasi atau dipasteurisasi, (v) tersedia dalam jumlah yang banyak, (vi) harga tidak mahal, (vii) memiliki kapasitas penyangga yang baik, dan (viii) tidak bersifat toksik terhadap tanaman (FNCA, 2006). Di antara ketiga bahan (biochar, kompos, dan gambut), biochar memiliki keunggulan dalam hal kerapatan lindak (BD), kerapatan partikel (PD), dan aerasi (ruang pori total/RPT) yang mendekati zeolit. Keunggulan lain dari bahan ini

adalah kadar air pada titik layu permanen adalah yang paling rendah sehingga kapasitas air tersedianya tergolong paling tinggi (25,3%). Porositas ditunjukkan oleh besarnya pori drainase. Makin rendah pori drainase cepatnya, makin besar kapasitas menahan air dan kadar air tersedianya. Porositas ditentukan pula oleh besaran relatif antara BD dengan PD. Makin besar BD mendekati nilai PD, makin kecil porositasnya. Bagaimanapun juga, kompos dan gambut memiliki ruang pori total paling tinggi, tetapi persentase kadar air tersedianya rendah.

Tabel 1. Karakteristik fisik-kimia biochar, kompos, dan gambut

Jenis bahan	Jenis analisis								
	N (%)	P (%)	K (%)	C-org (%)	KTK (meq/100g)	BD (g/cc)	PD (g/cc)	RPT	Kapasitas menahan air (%)
Biochar	1,32	0,07	0,08	25,62	4,58	0,68	1,85	63,3	25,3
Kompos	1,38	1,08	0,19	22,38	60,8	0,42	1,45	71,2	9,7
Gambut	1,10	0,08	0,18	33,51	103,5	0,25	1,45	82,4	10,1

Biochar asal cangkang kelapa sawit mengandung 25,6% C-organik dan C/N 19,4. Rasio C/N tersebut menandakan bahwa biochar dalam tahap mineralisasi sempurna (stabil). Keunggulan biochar asal cangkang kelapa sawit yang dimanfaatkan sebagai bahan pembawa dalam penelitian ini lebih kepada sifat fisik yang sangat sesuai sebagai habitat bakteri.

Pembenah hayati berbahan pembawa biochar dengan masa simpan 3-9 bulan dapat mempertahankan populasi bakteri lebih tinggi (10^8 cfu/g contoh) apabila dibandingkan dengan bahan kompos dan gambut (Tabel 2). Hasil penelitian ini mendukung penelitian yang dilakukan oleh Saito dan Marumoto (2002). Kapasitas menahan air yang cukup tinggi memungkinkan terjaganya kelembaban

bahan pembawa sehingga menciptakan daya dukung lingkungan untuk berkembangbiakan sel bakteri. Melalui indikator populasi ini, diketahui bahwa penggunaan bio-char sebagai komponen bahan pembawa memiliki potensi untuk mempertahankan daya tumbuh bakteri (viabilitas) dalam jangka waktu yang cukup lama (12 bulan). Pembunuh hayati dengan bahan pembawa biochar ini mempunyai nilai pH 6,7 dan kadar air 12,2%.

Ditinjau dari sifat kimianya, tanah Ultisol di KP Bogo memiliki pH yang sangat masam (4,30), kadar hara N, P, K, dan C-organik sangat rendah, serta nilai KTK rendah. Sementara kadar Al dan Fe termasuk tinggi. Beberapa kendala dalam mengoptimalkan produksi pertanian/perkebunan pada Ultisol antara lain karena

agregat kurang stabil, permeabilitas, bahan organik, dan tingkat kebasahan rendah. Apabila agregat tanah mantap maka akan mempertahankan sifat-sifat tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman, seperti

porositas dan ketersediaan air lebih lama dibandingkan dengan agregat tanah yang tidak mantap.

Tabel 2. Populasi total bakteri pemantap agregat di dalam bahan pembawa biochar, kompos, dan gambut

Jenis bahan	Populasi bakteri (cfu/g) dan masa tumbuh (bulan)				
	1	3	6	9	12
Biochar	$2,0 \times 10^7$	$1,7 \times 10^7$	$2,0 \times 10^8$	$2,1 \times 10^8$	$4,9 \times 10^7$
Kompos	$3,3 \times 10^6$	$5,9 \times 10^6$	$6,4 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$	$6,3 \times 10^7$
Gambut	$2,3 \times 10^7$	$6,2 \times 10^6$	$8,7 \times 10^7$	$7,7 \times 10^7$	$5,9 \times 10^7$

Tanah yang teragregasi dengan baik dicirikan dengan tingkat infiltrasi, permeabilitas, dan ketersediaan air yang tinggi. Sifat lain adalah tanah tersebut mudah diolah, aerasi baik, menyediakan ruang bagi respirasi akar dan aktivitas mikrob tanah (Cerda, 2000). Berdasarkan asumsi tersebut di atas maka pemberian pembenah hayati yang mengandung bakteri pemantap agregat dengan bahan pembawa biochar akan dapat memperbaiki agregasi tanah. Dengan adanya pembentukan atau

peningkatan agregat tanah selanjutnya akan diikuti pula dengan peningkatan daya dukung tanah secara fisik, kimia, dan biologi. Berdasarkan hasil penelitian ini terbukti bahwa nilai indeks kemantapan agregat pada tanah KP Bogo yang diaplikasi dengan pembenah hayati pemantap agregat pada umumnya lebih tinggi (agak stabil) apabila dibandingkan dengan tanpa pemberian pembenah hayati (tidak stabil) Tabel 3.

Tabel 3. Indeks kemantapan agregat bahan tanah di KP Bogo-Lampung

Perlakuan	Indeks kemantapan agregat	
	Nilai	Kriteria
100% dosis pupuk NPK	47,8	Tidak stabil
100% dosis pupuk NPK + 25% pembenah (2.1 g/pohon)	52,9	Agak stabil
100% dosis pupuk NPK + 50% pembenah (4.2 g/pohon)	60,1	Agak stabil
50% dosis pupuk NPK + 50% pembenah (4,2 g/pohon)	58,8	Agak stabil
Tanpa pupuk	48,3	Tidak stabil

Pertumbuhan vegetatif tanaman jagung varietas Bisma diukur berdasarkan tinggi tanaman dan jumlah daun pada umur 8 Minggu Setelah Tanam (MST) dimana dalam masa ini pertumbuhan vegetatif tanaman jagung mencapai puncak yang optimal. Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada tinggi tanaman. Pemberian 50-100% dosis pupuk

NPK yang dikombinasikan dengan 50% pembenah hayati atau setara dengan 4,2 g pembenah hayati/pohon menghasilkan tinggi tanaman masing-masing 6,5-13,4% lebih tinggi apabila dibandingkan dengan 100% dosis pupuk NPK anjuran lapang. Tidak ada perbedaan dalam hal jumlah daun antara perlakuan dengan atau tanpa pembenah hayati (Tabel 4). Jumlah gugus

karbon bermuatan negatif seperti hidroksil dan karboksil dalam bio-char yang diyakini cukup tinggi dapat berfungsi mengikat

kation terutama kation dengan valensi tinggi seperti Al^{3+} dan Fe^{3+} .

Tabel 4. Pertumbuhan vegetatif jagung varietas Bisma 8 minggu setelah tanam (MSI).

Perlakuan	Peubah	
	Tinggi (cm)	Jml daun (helai)
100% dosis pupuk NPK	129,9 b	10,4 a
100% dosis pupuk NPK + 25% pembenah (2,1 g/pohon)	132,4 b	10,5 a
100% dosis pupuk NPK + 50% pembenah (4,2 g/pohon)	149,8 a	10,2 a
50% dosis pupuk NPK + 50% pembenah (4,2 g/pohon)	138,9 ab	9,9 a
Tanpa pupuk (Blanko)	49,4 c	4,9 b
Koefisien keragaman (%)	4,2	4,0

*) Angka dalam kolom yang sama yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan ($P>0,05$).

Melalui mekanisme ini maka hambatan pertumbuhan tanaman yang terjadi akibat tingginya unsur Al dan Fe di dalam tanah Ultisol dapat teratasi. Pemberian 100% dosis pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 25% pembenah

hayati atau setara dengan 2,1 g/pohon memberikan hasil terbaik pada produktivitas tanaman yang diukur berdasarkan jumlah tongkol, bobot kering tongkol, dan bobot kering pipilan (Tabel 5).

Tabel 5. Produktivitas jagung varietas Bisma pada tanah Ultisol KP Taman Bogo, Lampung

Perlakuan	Jumlah tongkol (buah)		Bobot tongkol kering	Bobot pipilan kering
	Plot netto (buah)	Kesetaraan hasil/ha (buah)	Kesetaraan hasil/ha (ton)	Kesetaraan hasil/ha (ton)
100% dosis pupuk NPK	205,0 b	21,03 b	1,39 a	1,02 ab
100% dosis pupuk NPK+25% pembenah (2,1 g/pohon)	298,5 a	30,60 a	1,48 a	1,21 a
100% dosis pupuk NPK+50% pembenah (4,2 g/pohon)	286,5 a	29,38 a	1,38 a	1,17 a
50% dosis pupuk NPK+50% pembenah (4,2 g/pohon)	244,5 ab	25,08 ab	1,07 b	0,90 b
Tanpa pupuk	24,5 c	2,50 c	0,08 c	0,07 c

*) Angka dalam kolom yang sama yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan ($P>0,05$).

Indikator produktivitas pada perlakuan 100% dosis pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 25% pembenah hayati tersebut mengalami peningkatan sebesar 31,3; 6,1; dan 15,7 %/ha masing-masing untuk jumlah tongkol, bobot kering tongkol dan pipilan. Sementara itu, pemberian 100% dosis pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 50% pembenah hayati atau setara dengan 4,2 g/pohon juga menghasilkan peningkatan pada jumlah tongkol dan bobot kering pipilan masing-masing sebesar 28,4 dan 12,8 persen/ha. Pembenah hayati dengan bahan pembawa bio-char dan bahan aktif bakteri pemantap agregat diharapkan dapat meningkatkan retensi hara yang diberikan melalui pemupukan. Melalui mekanisme tersebut maka untuk jenis tanah yang telah mengalami pencucian dan pelapukan lanjut (Ultisol) dapat tetap optimal dalam memberikan ketersediaan hara bagi tanaman.

Kesimpulan

Biochar memiliki banyak ruang pori, kadar air pada titik layu permanen yang rendah dan kapasitas air tersedia yang tergolong tinggi. Kesesuaian bakteri pemantap agregat terhadap biochar yang digunakan sebagai bahan pembawa ditunjukkan melalui daya tumbuh (viabilitas) bakteri yang cukup tinggi selama 12 bulan masa simpan. Nilai indeks kemantapan agregat tanah Ultisol di KP Taman Bogo yang diaplikasi dengan pembenah hayati pemantap agregat pada umumnya lebih tinggi apabila dibandingkan dengan tanpa pemberian pembenah hayati. Pertumbuhan vegetatif (tinggi) tanaman jagung varietas Bisma mengalami peningkatan 6,5-13,4% dengan pemberian 4,2 g pembenah hayati/pohon. Indikator produktivitas pada perlakuan 100% dosis pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 25% pembenah hayati mengalami peningkatan

untuk jumlah tongkol, bobot kering tongkol dan pipilan jagung masing-masing sebesar 31,3; 6,1 dan 15,7 %/ha. Diperlukan justifikasi lebih lanjut mengenai indikasi potensi pemanfaatan pembenah hayati berbahan biochar dan bakteri pemantap agregat melalui uji coba 2 musim tanam atau uji multi lokasi di lapang dan menggunakan jenis bahan tanah yang berbeda.

Daftar Pustaka

- Bhardwaj, A. K., Shainberg, I., Goldstein, D., Warrington, D.N. and Levy, G.J. 2007. Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamides in sandy soils. *Soil Science Society of America* 71(2): 406-412.
- Canton, Y., Sole-Benet, A., Asensio, C., Chamizo, S. and Puigdefabregas, J. 2009. Aggregate stability in range sandy loam soils relationship with runoff and erosion. *Catena* 77: 192-199.
- Cerda A. 2000. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. *Soil Tillage Research* 57:159-166.
- Eneje, R. C., Oguike, P.C. and Osuaku, M. 2007. Temporal variations in organic carbon, soil reactivity and aggregate stability in soils of contrasting cropping history. *African Journal of Biotechnology* 6(4): 369-374.
- Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA). 2006. *Biofertilizer Manual*. Japan Atomic Industrial Forum (JAIF). pp 124.
- Goenadi, D. H., Adiwiganda, Y.T. and Santi, L.P. 2005. Development technology and commercialization of EMAS (Enhancing Microbial Activity in the Soils) biofertilizer. *Forum for Nuclear Cooperation in Asia Biofertilizer Newsletter*. Issue No. 6, November 2005.
- Goenadi, D. H. 2006. Pupuk dan Teknologi Pemupukan Berbasis Hayati : dari Cawan Petri ke Lahan Petani. Yayasan John Hi-Tech Idetama. 220 hal.
- Lehmann, J. and Rondon, M. 2005. Biochar soil management on highly-weathered soils in the humid tropics. In N. Uphoff (ed.),

- Biological Approaches to Sustainable Soil Systems, Boca Raton, CRC Press.
- Mikkelsen, R. L. 2005. Humic materials for agriculture. *Better Crops* 89(3): 6-10.
- Prasetyo, B. H. dan Suriadikarta, D.A. 2006. Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah Ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 25(2): 39-46.
- Saito, M. and Marumoto, T. 2002. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi: The status quo in Japan and the future prospects. *Plant and Soil* 244: 273–279.
- Santi, L.P., Dariah, A. dan Goenadi, D.H. 2008. Peningkatan kemantapan agregat tanah mineral oleh bakteri penghasil eksopolisakarida. *Menara Perkebunan* 76 : 92-102.
- Solichin, M. 2009. Teknologi asap cair "deorub" dalam industri karet alam. *Technology Indonesia*. <http://www.technologyindonesia.com>. [28 Jan 2010].
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. *Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach*. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- Steiner, C. 2007. Soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish carbon sink-research and prospects. *Soil Ecology Research Developments*. pp: 1-6.