

Pemanfaatan *bio-char* sebagai pembawa mikroba untuk pematap agregat tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung

The use of bio-char as bacterial carrier for aggregate stabilization in Ultisol Soil from Taman Bogo-Lampung

Laksmi Prima SANTI^{1*)} & Didiek Hadjar GOENADI^{1&2)}

¹⁾ Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan, Jl. Taman Kencana No.1 Bogor 16151, Indonesia

²⁾ Chapter Member of the International Bio-char Initiative

Diterima tgl 25 Januari 2010/Disetujui tgl 1 Juni 2010

Abstract

A series of research was carried out with the objective to meet the challenge and determine the direction and strategy required for overcoming highly weathered Ultisol soil that impact to low productivity. Selected ameliorating materials, i.e. bio-char, compost, and peat were examined their physical characteristics to determine the best combination of them as bioameliorant carrier materials for aggregate stability bacteria. Bio-char was found to be the most suitable carrier material as it has highest total pore spaces and available water content. Microbial population obtained from the granular forms of bioameliorant was 10⁷ CFU/gram of the sample until 12 months life time periods. Best vegetative growth performance of maize Bisma var. in Ultisol soil of Experiment Station (KP) Taman Bogo was shown by the application of 100% standard dosage of NPK conventional fertilizers in combination with the addition of 4.2 g/plant of bioameliorant. Yield of dry grain of maize was higher (+15.7 %) by application of 100 % standard dosage and 2.1g bioameliorant/plant (112 kg/ha) than that obtained by standard dosage of conventional fertilizer.

[Key words: *Bio-char, aggregate stability bacteria, Ultisol, bioameliorant, maize*]

Abstrak

Satu rangkaian kegiatan penelitian telah dilakukan untuk menjawab tantangan, arah dan strategi dari berbagai aspek yang terkait erat dengan masalah pelapukan lanjut dan berdampak pada rendahnya produktivitas tanah Ultisol. Beberapa bahan terpilih seperti arang pirolisis (*bio-char*), kompos, dan gambut dianalisis secara fisik untuk menetapkan kombinasi terbaik sebagai bahan pembawa bioamelioran dengan bahan aktif bakteri pematap agregat. *Bio-char* memiliki keunggulan dalam hal total ruang pori dan kapasitas air tersedia yang lebih tinggi. Sampai dengan 12 bulan masa simpan, populasi bakteri pada bioamelioran granul dengan bahan pembawa *bio-char* berjumlah 10⁷ CFU/gram contoh. Pertumbuhan terbaik tanaman jagung varietas Bisma pada tanah Ultisol diperoleh dari perlakuan 100 % pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 4,2 g bioamelioran/tanaman. Sementara itu, perlakuan 100 % dosis pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 2,1 g bioamelioran/tanaman (112 kg/ha) menghasilkan bobot pipilan kering jagung yang lebih tinggi (+15,7 %) apabila dibandingkan dengan perlakuan 100% dosis pupuk NPK tunggal saja.

^{*)} Corresponding author: laksmi@ibriec.org

[Kata kunci: *Bio-char, bakteri pematap agregat, Ultisol, bioamelioran, jagung*]

Pendahuluan

Di daerah tropika basah seperti Indonesia banyak dijumpai tanah yang telah mengalami proses pelapukan lanjut. Tanah ini memiliki sifat kadar hara, kapasitas tukar kation (KTK), pH, dan bahan organik yang rendah, sedangkan untuk kapasitas tukar anion (KTA), kadar aluminium dapat ditukar, oksida, dan kadar liat tergolong tinggi. Tingginya kadar aluminium di dalam tanah dapat menghambat pertumbuhan dan meracuni tanaman. Salah satu upaya untuk mengatasi sifat toksik yang ditimbulkan dari aluminium yang dapat dipertukarkan pada tanah masam adalah dengan menggunakan arang pirolisis yang selanjutnya lebih dikenal sebagai *bio-char* (Lehmann & Joseph, 2009). Pemanfaatan *bio-char* sebagai bahan pembenah (*amelioran*) tanah telah lama dilakukan. Sebagai contoh, "*Terra Preta de Indio*" di Amazon Basin yang terbentuk karena aktivitas perladangan berpindah. Tanah ini kaya akan residu organik yang berasal dari pembakaran biomassa kayu hutan. Tanah "*Terra Preta de Indio*" mengandung karbon (C), nitrogen (N), kalsium (Ca), fosfor (P), tembaga (Zn), dan mangan (Mn) yang lebih tinggi daripada jenis tanah lainnya. Tanah ini dikelompokkan dalam jenis Latosol (Glaser *et al.*, 2001; Sombroek *et al.*, 2003). *Bio-char* dapat memperbaiki sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Pencucian pupuk N dapat dikurangi secara signifikan dengan pemberian *bio-char* tersebut ke dalam media tanah (Steiner, 2007). Selain itu pula, di beberapa negara telah ditetapkan suatu kebijakan untuk mengembangkan *bio-char* dalam skala industri guna meningkatkan simpanan karbon di dalam tanah. Jika dikaitkan dengan kepedulian terhadap pemanasan global yang disebabkan oleh emisi CO₂ dan sumber gas rumah kaca lainnya, maka pemanfaatan *bio-char* sebagai bahan *amelioran* tanah memiliki prospek yang cukup baik. Dengan kata lain, teknologi pemanfaatan (*pengolahan*) *bio-char* merupakan salah satu solusi cepat untuk mengurangi pengaruh pemanasan global

yang berasal dari lahan pertanian dan juga merupakan salah satu alternatif untuk mengelola limbah pertanian dan perkebunan.

Bio-char dapat berfungsi sebagai pembenah tanah, meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memasok sejumlah nutrisi yang berguna serta meningkatkan sifat fisik dan biologi tanah (Glasser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003; Lehmann & Rondon, 2005; Steiner, 2007). Namun demikian kajian teknis penelitian di lapangan mengenai keuntungan aplikasi bio-char dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan perkebunan di Indonesia masih sangat terbatas. Sementara itu, perluasan pengembangan lahan pertanian dan perkebunan di Indonesia pada umumnya terjadi pada lahan marginal dengan tingkat kesuburan yang rendah. 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. Tekstur tanah berlempung, mengandung mineral sekunder kaolinit yang sedikit tercampur gipsit dan montmorilonit, pH tanah rata-rata 4,2-4,8. Sebaran terluas tanah Ultisol terdapat di Kalimantan (21.938.000 ha), diikuti di Sumatera (9.469.000 ha), Maluku dan Papua (8.859.000 ha), Sulawesi (4.303.000 ha), Jawa (1.172.000 ha), dan Nusa Tenggara (53.000 ha). Tanah ini dapat dijumpai pada berbagai relief, mulai dari datar hingga bergunung (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Berdasarkan uraian dari beberapa hasil penelitian maka hipotesis yang berkembang saat ini adalah potensi bio-char sebagai pembenah tanah selain dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah dapat pula sebagai sumber utama bahan untuk konservasi karbon organik di dalam tanah. Selain itu pula diketahui bahwa keberadaan bio-char di dalam tanah dapat digunakan sebagai habitat fungi dan mikroba tanah lainnya. Sebagaimana dilaporkan oleh Saito & Marumoto (2002) bahwa fungi dapat bersporulasi di dalam pori mikro bio-char karena di dalam pori tersebut kompetisi yang terjadi dengan saprofit lainnya cukup rendah. Oleh karena itu pemanfaatan bio-char sebagai bahan pembawa bioamelioran dengan bahan aktif hayati (bio) bakteri merupakan peluang baru yang dapat menghasilkan sebuah invensi. Hal ini cukup beralasan karena penelitian terkait dengan karakteristik bio-char dan viabilitas mikroba dalam interaksinya dengan bio-char 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). Dengan teknologi produksi yang tepat guna maka diharapkan bahan ini akan memiliki nilai yang cukup ekonomis. Tulisan ini menyajikan hasil analisis terbatas karakteristik bio-char asal cangkang (*shell*) kelapa sawit dan potensi pemanfaatannya

sebagai bahan pembawa (*carrier material*) untuk bio-ameliorasi tanah Ultisol.

Bahan dan Metode

Mikroorganisme

Tiga jenis bakteri yang digunakan sebagai bahan aktif bioamelioran adalah *Pseudomonas fluorescens* PG7II.1, *Flavobacterium* sp. PG7II.2, dan *P. diminuta* PG7II.9. Bakteri tersebut diisolasi dari rizosfer tanaman tebu di PG Jatitujuh, Cirebon-Jawa Barat. Identifikasi bakteri berdasarkan sifat fisiologinya dilakukan menggunakan *Microbact Identification Kits*. Ketiga bakteri tersebut memiliki potensi dalam memantapkan agregat tanah mineral (Santi *et al.*, 2008). Biakan dipelihara dalam agar miring berisi medium ATCC 14 dengan komposisi (per Liter medium): 0,2 g KH₂PO₄; 0,8 g K₂HPO₄; 0,2 g MgSO₄.7H₂O; 0,1 g CaSO₄.2H₂O; 2,0 mg FeCl₃; Na₂MoO₄.2H₂O (*trace*); 0,5 g ekstrak kamir; 20 g sukrosa; dan 15 g bakto agar dengan pH 7,2.

Penyiapan inokulum

Tiga isolat bakteri pematap agregat masing-masing ditumbuhkan di dalam 50 mL medium ATCC 14 selama 24 jam pada suhu 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.

Penyiapan bioamelioran

Bahan pembawa terdiri dari tiga komponen yaitu zeolit granul (diameter 1-3 mm), bio-char (80 mesh) dan mineral liat (80 mesh). Masing-masing bahan pembawa disterilisasi terlebih dahulu di dalam oven bersuhu 105°C selama empat jam. Zeolit granul digunakan sebagai inti granulasi, sementara bio-char dan mineral liat masing-masing digunakan sebagai pelapis dan pengikat. Pencampuran bahan dilakukan dengan menggunakan *double-cone mixer* selama lima menit disertai dengan inokulasi bakteri ke dalam bahan pembawa dengan menggunakan sprayer bertekanan tinggi. Adapun teknik produksi bioamelioran adalah sebagai berikut: sebanyak tiga isolat bakteri pematap agregat masing-masing ditumbuhkan di dalam 50 mL medium cair ATCC 14 selama 24 jam. Setelah itu, dilakukan propagasi tahap kedua di dalam 500 mL medium cair ATCC 14 dengan pengocokan 200 rpm selama 48 jam pada suhu 28°C. Bahan inokulan tersebut selanjutnya diperbanyak 5 % dari total produksi bioamelioran. Perbanyakannya dilakukan di dalam fermentor beraerasi selama 24 jam inkubasi pada suhu 28°C. Kerapatan akhir populasi masing-masing bakteri inokulan sebelum proses granulasi adalah 10^9 - 10^{11} CFU/mL.

Karakterisasi arang pirolisis (bio-char) asal cangkang kelapa sawit.

Arang pirolisis (bio-char) yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini berasal dari cangkang kelapa sawit yang diproses melalui metode pembakaran lambat (karbonasi) pada suhu 300 – 400°C selama lebih kurang delapan jam dengan kondisi tanpa oksigen (pirolisis) (Solichin, 2009). Cangkang kelapa sawit yang telah diproses melalui metode pirolisis ini selanjutnya dianalisis di Laboratorium Fisika Tanah, Balai Penelitian Tanah-Bogor dan Laboratorium Analitik, Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan, 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) RDCMCT tipe JEOL 6360LA yang dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung. Pada tahap awal, bahan contoh diratakan dengan alat khusus. Apabila bahan contoh kurang kering maka terlebih dahulu dihampudarkan selama tiga jam. Bahan contoh *dicoating* dengan platina dan ditembak dengan neutron. Selanjutnya bahan contoh dimasukkan ke dalam alat (SEM) dan dilakukan pemilihan gambar yang diinginkan melalui monitor alat tersebut.

Lokasi penelitian dan pelaksanaan pemupukan

Kegiatan penelitian dilakukan pada tanaman jagung, varietas Bisma, jarak tanam 0,75 x 0,25 m. Lokasi penelitian di Kebun Percobaan (KP) Taman Bogo, Balai Penelitian Tanah, Provinsi Lampung dengan jenis tanah Ultisol, Typic Kanhapludults beragregasi rendah (Prasetyo & Suriadikarta, 2006). Pemupukan dilakukan dua kali, dengan dosis pupuk standar 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). Bioamelioran diberikan pada saat tanam dengan cara dilarik sebanyak 2,1- 4,2 gram/tanaman. Pemupukan tahap pertama dengan pemberian pupuk Urea, SP-36, dan KCl masing-masing 1,5; 2,81 dan 1,12 g/tanaman dilaksanakan tujuh hari setelah tanam. Sedangkan tahap pemupukan kedua dengan pupuk Urea dan KCl masing-masing 2,25 dan 0,75 g/tanaman, 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

Percobaan dilakukan dalam rancangan acak kelompok/blok, lima perlakuan dengan masing-masing perlakuan sebanyak tiga ulangan. Perlakuan terdiri dari:

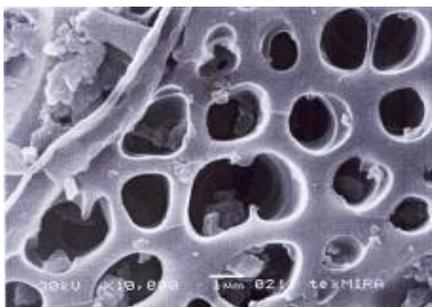
- (A) 100 % dosis pupuk NPK sesuai rekomendasi
- (B) 100 % dosis pupuk NPK + 25 % bioamelioran (2,1 g/tanaman)
- (C) 100 % dosis pupuk NPK + 50 % bioamelioran (4,2 g/tanaman)
- (D) 50 % dosis pupuk NPK + 50 % bioamelioran (4,2 g/ tanaman)
- (E) Tanpa pupuk (Blanko).

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. 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 pipilan 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 & Torrie, 1980).

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi arang pirolisis (bio-char) asal cangkang kelapa sawit.

Faktor utama yang dipertimbangkan dalam memilih bahan pembawa bioamelioran dalam penelitian ini adalah kemampuannya dalam menyediakan kombinasi udara dan air. Keduanya dibutuhkan untuk menopang kehidupan dan viabilitas mikroba di dalam bahan aktif selama mungkin dalam masa penyimpanan. Analisis SEM dilakukan untuk melihat struktur mikro bio-char asal cangkang kelapa sawit. Struktur mikro bio-char dengan pembesaran 10.000 kali menunjukkan keporian yang relatif porous. Lubang pori terlihat tunggal dan ganda dengan ukuran bervariasi antara 2–5µm (Gambar 1). Pada beberapa bagian pori yang letaknya berdampingan, sekat pori ada yang runtuh sehingga membentuk pori yang lebih besar. Berdasarkan ketentuan yang ditetapkan oleh Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA), karakter utama bahan pembawa untuk inokulan mikroba harus memiliki sifat (i) non toksik terhadap



Gambar 1. Struktur mikro bio-char asal cangkang kelapa sawit.

Figure 1. The micro structure of bio-char from palm oil shell.

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). Untuk inokulan yang diaplikasikan ke dalam tanah, bahan pembawa dapat berbentuk granular dengan diameter 0,5–1,5 mm atau ≤ 3 mm. Beberapa kriteria kesesuaian bahan pembawa terhadap inokulan dianalisis melalui (i) kemampuan inokulan tumbuh dan berkembang biak di dalam bahan tanah/benih yang diinokulasi dan (ii) kemampuan tumbuh inokulan selama periode penyimpanan tertentu.

Hasil analisis dari komponen bahan pembawa (bio-char, kompos, dan gambut) diketahui bahwa di antara ketiga bahan tersebut, bio-char memiliki keunggulan dalam hal kerapatan lindak (BD), kerapatan partikel (PD), dan aerasi (ruang pori total/RPT). 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 %) (Tabel 1). Porositas ditunjukkan oleh besarnya pori drainase. Makin rendah nilai pori drainase cepat, 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. Bio-char asal cangkang kelapa sawit mengandung 25,6 % C-organik dan C/N 19,4. Rasio C/N tersebut menandakan bahwa bio-char dalam tahap mineralisasi sempurna (stabil). Jika ditinjau dari kadar hara dan KTK, hasil analisis bio-char pada umumnya lebih rendah apabila dibandingkan dengan kompos dan gambut. Keunggulan bio-char asal cangkang kelapa sawit yang dimanfaatkan sebagai bahan pembawa dalam penelitian ini lebih kepada sifat fisik yang sangat sesuai sebagai habitat bakteri.

Bioamelioran berbahan pembawa bio-char dengan masa simpan 3-9 bulan dapat mempertahankan populasi bakteri lebih tinggi (10^8 CFU/gram contoh) dibandingkan dengan bahan pembawa lain (kompos dan gambut). Hasil penelitian ini mendukung penelitian yang dilakukan oleh Saito & Marumoto (2002). Kapasitas menahan air yang cukup tinggi memungkinkan terjaganya kelembaban bahan pembawa sehingga menciptakan daya dukung lingkungan untuk berkembangbiakan sel bakteri. Namun pada masa simpan 12 bulan, total populasi bakteri dari ketiga jenis bahan pembawa tersebut rata-rata sama (10^7 CFU/gram contoh) (Tabel 2). 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). Bioamelioran dengan bahan pembawa bio-char ini mempunyai nilai pH 6,7 dan kadar air 12,2 %.

Lokasi penelitian dan pelaksanaan pemupukan

Struktur mikro dan sifat kimia tanah di lokasi percobaan telah diidentifikasi dan hasilnya disajikan dalam Gambar 2 dan Tabel 3. Berdasarkan analisis SEM terlihat bahwa tanah KP Taman Bogo sangat

Tabel 1. Karakteristik fisik-kimia bio-char, kompos, dan gambut.

Table 1. The physic-chemical characteristic of bio-char, compost, and peat.

Jenis Bahan Type of material	Jenis analisis (Type of analysis)								
	N (%)	P (%)	K (%)	C-org (%)	KTK (CEC) (meq/100g)	BD (g/cc)	PD (g/cc)	RPT Total Pore Spaces	Kapasitas menahan air WHC (%)
Bio-char	1,32	0,07	0,08	25,62	4,58	0,68	1,85	63,30	25,30
Kompos Compost	1,38	1,08	0,19	22,38	60,80	0,42	1,45	71,20	9,70
Gambut Peat	1,10	0,08	0,18	33,51	103,50	0,25	1,45	82,40	10,10

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

Table 2. Total population of aggregate stability bacteria in carrier material of bio-char, compost, and peat.

Jenis bahan Type of materials	Populasi bakteri (<i>Bacteria population</i>) CFU/gram				
	Masa tumbuh (bulan) <i>Life time (months)</i>				
	1	3	6	9	12
Bio-char <i>Bio-char</i>	2,0 x 10 ⁷	1,7 x 10 ⁷	2,0 x 10 ⁸	2,1 x 10 ⁸	4,9 x 10 ⁷
Kompos <i>Compost</i>	3,3 x 10 ⁶	5,9 x 10 ⁶	6,4 x 10 ⁷	3,9 x 10 ⁷	6,3 x 10 ⁷
Gambut <i>Peat</i>	2,3 x 10 ⁷	6,2 x 10 ⁶	8,7 x 10 ⁷	7,7 x 10 ⁷	5,9 x 10 ⁷

Tabel 3. Analisis awal tanah di KP Taman Bogo-Lampung.

Table 3. The initial analysis of soil at KP Taman Bogo - Lampung.

Ulangan Replications	Jenis analisis tanah (<i>Type of soil analysis</i>)							
	pH	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	C-org (%)	KTK (CEC) (meq/100g)	Al (%)	Fe (%)
1	4,28	0,117	0,076	0,001	1,08	5,76	1,84	1,53
2	4,34	0,081	0,044	0,001	0,62	4,88	1,95	1,52
3	4,49	0,086	0,015	0,001	0,76	4,78	1,87	1,46
Rataan <i>Means</i>	4,30	0,095	0,050	0,001	0,80	5,10	1,89	1,50

Tabel 4. Indeks kemandapan agregat bahan tanah di KP Taman Bogo-Lampung.

Table 4. Aggregate stability index of soil material at KP Taman Bogo-Lampung.

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Indeks Kemandapan Agregat <i>Aggregate stability index</i>	
	Nilai (<i>Value</i>)	Kriteria (<i>Criteria</i>)
100 % dosis pupuk NPK (<i>Full rate of NPK fertilizer dosages</i>)	47,8	Tidak stabil ^{*)}
100 % dosis pupuk NPK + 25% bioamelioran (2,1 g/tanaman) <i>Full rate of NPK fertilizer dosages+25 % bioameliorant (2.1 g/plant)</i>	52,9	Agak stabil
100 % dosis pupuk NPK + 50 % bioamelioran (4,2 g/tanaman) <i>Full rate of NPK fertilizer dosages+ 50% bioameliorant (4.2 g/plant)</i>	60,1	Agak stabil
50 % dosis pupuk NPK + 50 % bioamelioran (4,2 g/tanaman) <i>50 % of NPK fertilizer dosages+ 50 % bioameliorant (4.2 g/plant)</i>	58,8	Agak stabil
Tanpa pupuk (Blanko) (<i>Blank</i>)	48,3	Tidak stabil

^{*)} < 40 (tidak stabil), 40-50 (kurang stabil), 50-66 (agak stabil), 66-80 (stabil), 80-200 (sangat stabil), > 200 (sangat stabil sekali) (Kurnia *et al.*, 2006).

masif dan mengandung lembaran-lembaran (*sheet*) yang diperkirakan bahan tanah tersebut mengandung kaolinit. Ditinjau dari sifat kimianya, tanah Ultisol di KP Taman 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. Oleh karena itu, untuk memperoleh pertumbuhan dan produktivitas bahan tanam yang baik di dalam medium tanah tersebut

diperlukan suatu teknologi yang dapat mengoptimalkan daya dukung tanah terhadap pertumbuhan tanaman. Beberapa kendala dalam mengoptimalkan produksi pertanian/perkebunan pada tanah Ultisol antara lain karena agregat kurang stabil, permeabilitas, bahan organik dan tingkat kebasahan rendah. Kemandapan agregat tanah didefinisikan oleh Amezketa *et al.* (2003) sebagai kemampuan agregat untuk tetap utuh ketika suatu subyek memberikan

tekanan dan merupakan suatu sifat tanah yang penting dalam mempengaruhi pergerakan dan penyimpanan air, aerasi, erosi, aktivitas mikroorganisme tanah dan pertumbuhan tanaman. Agregat tanah yang mantap akan mempertahankan sifat-sifat tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman, seperti porositas dan ketersediaan air lebih lama dibandingkan dengan agregat tanah yang tidak mantap. 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 mikroba tanah (Cerde, 2000). Berdasarkan asumsi tersebut di atas maka pemberian bioamelioran yang mengandung bakteri pematap agregat dengan bahan pembawa bio-char 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 Taman Bogo yang diaplikasi dengan bioamelioran pematap agregat pada umumnya lebih tinggi (agak stabil) apabila dibandingkan dengan tanpa pemberian bioamelioran (tidak stabil) (Tabel 4).

Pertumbuhan vegetatif tanaman jagung varietas Bisma diukur berdasarkan tinggi tanaman dan jumlah daun pada umur delapan Minggu Setelah Tanam (MST) yaitu pada masa pertumbuhan vegetatif optimal. Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada tinggi tanaman. Pemberian 50-100% dosis pupuk NPK yang dikombinasikan dengan 50 % bioamelioran atau setara dengan 4,2 g bioamelioran/tanaman menghasilkan tinggi tanaman masing-masing 6,5-13,4% lebih tinggi apabila dibandingkan dengan 100 % dosis pupuk NPK anjuran lapang saja. Namun demikian, tidak ada perbedaan yang nyata dalam hal jumlah daun antara perlakuan dengan atau tanpa bioamelioran (Tabel 5). Jumlah gugus karbon ber-

muatan negatif yang diyakini cukup tinggi di dalam bio-char dapat berfungsi mengikat kation terutama kation dengan valensi tinggi seperti Al^{3+} dan Fe^{3+} . 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 % bioamelioran atau setara dengan 2,1 g/tanaman memberikan hasil terbaik pada produktivitas tanaman yang diukur berdasarkan jumlah tongkol, bobot kering tongkol, dan bobot kering pipilan. Indikator produktivitas pada perlakuan 100 % dosis pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 25 % bioamelioran tersebut mengalami peningkatan sebesar 31,3 %; 6,1 %; dan 15,7 % masing-masing untuk jumlah tongkol, bobot kering tongkol dan pipilan. Sementara itu, pemberian 100% dosis pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 50% bioamelioran atau setara dengan 4,2 g/tanaman juga menghasilkan peningkatan pada jumlah tongkol dan bobot kering pipilan masing-masing sebesar 28,4 % dan 12,8 %. Peningkatan produktivitas tanaman jagung dengan pemberian pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan bioamelioran ini mendukung hasil penelitian yang dilakukan oleh Santi *et al.* (2007) pada tanaman jagung varietas Sukmaraga di Pelaihari (Kalimantan Selatan) dengan pemberian pupuk hayati. Namun demikian, karena kondisi iklim yang sangat ekstrim (curah hujan sangat rendah) pada saat kegiatan penelitian dilaksanakan, maka secara umum produktivitas tanaman jagung varietas Bisma ini masih di bawah kapasitas optimum. Bioamelioran dengan bahan pembawa bio-char dan bahan aktif hayati berupa bakteri pematap 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.



Gambar 2. Struktur mikro bahan tanah KP Taman Bogo-Lampung berdasarkan fotomikrograf (SEM) dengan pembesaran 10.000 kali.

Figure 2. The micro structure of soil material from KP Taman Bogo-Lampung based on photomicrograph (SEM) with 10,000 times magnification.

Tabel 5. Pertumbuhan vegetatif jagung varietas Bisma delapan minggu setelah tanam (MST).
 Table 5. Vegetative growth of maize Bisma var. eight- weeks-old after planting.

Perlakuan (Treatments)	Peubah (Parameter)	
	Tinggi (Height) (cm)	Jumlah daun (helai) Number of leaf
100 % dosis pupuk NPK (Full rate of NPK fertilizer dosages)	129,9 b	10,4 a
100 % dosis pupuk NPK + 25 % bioamelioran (2,1 g/tanaman) Full rate of NPK fertilizer dosages+25 % bioameliorant (2.1 g/plant)	132,4 b	10,5 a
100 % dosis pupuk NPK + 50 % bioamelioran (4,2 g/tanaman) Full rate of NPK fertilizer dosages+ 50 % bioameliorant (4.2 g plant)	149,8 a	10,2 a
50 % dosis pupuk NPK + 50 % bioamelioran (4,2 g/tanaman) 50 % of NPK fertilizer dosages+ 50 % bioameliorant (4.2 g/plant)	138,9 ab	9,9 a
Tanpa pupuk (Blanko) (Blank)	49,4 c	4,9 b
Koefisien keragaman (Coefficient variable) (%)	4,2	4,0

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

^{*)} Figures in the same column followed by similar letter (s) are not significantly different according to Duncan Multiple Range Test ($P>0,05$).

Tabel 6. Produktivitas jagung varietas Bisma pada tanah Ultisol KP Taman Bogo-Lampung.
 Table 6. The productivity of maize Bisma var. in Ultisol soil at KP Taman Bogo-Lampung.

Perlakuan (Treatments)	Jumlah tongkol (buah) Number of corn cob		Bobot tongkol kering Dry weight of corn cob	Bobot pipilan kering Dry weight of grain
	Plot netto (buah) Nett plotting	Kesetaraan hasil/ha (buah) Equivalent yield/ha of corn cob	Kesetaraan hasil/ha Equivalent yield/ha (ton)	Kesetaraan hasil/ha Equivalent yield/ha (ton)
	100 % dosis pupuk NPK Full rate of NPK fertilizer dosages	205,00 b	21,03 b	1,39 a
100 % dosis pupuk NPK + 25 % bioamelioran (2,1 g/tanaman) Full rate of NPK fertilizer dosages + 25 % bioameliorant (2.1 g/plant)	298,50 a	30,60 a	1,48 a	1,21 a
100 % dosis pupuk NPK + 50 % bioamelioran (4,2 g/tanaman) Full rate of NPK fertilizer dosages + 50 % bioameliorant (4.2 g/plant)	286,50 a	29,38 a	1,38 a	1,17 a
50 % dosis pupuk NPK + 50% bioamelioran (4,2 g/tanaman) 50 % of NPK fertilizer dosages+ 50 % bioameliorant (4.2 g/plant)	244,50 ab	25,08 ab	1,07 b	0,90 b
Tanpa pupuk (Blanko) (Blank)	24,50 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 ($P>0,05$).

^{*)} Figures in the same column followed by similar letter (s) are not significantly different according to Duncan Multiple Range Test ($P>0,05$).

Kesimpulan dan Saran

Pemanfaatan bio-char sebagai bahan pembawa bioamelioran di dalam kegiatan penelitian ini dikaji berdasarkan sifat fisik bahan. Sifat fisik bio-char yang sesuai dengan karakter sebagai bahan pembawa adalah memiliki banyak ruang pori, kadar air pada titik layu permanen yang rendah serta kapasitas air tersedianya tergolong tinggi. Bio-char memiliki keunggulan dibandingkan kompos dan gambut dalam hal kerapatan lindak (BD), kerapatan partikel (PD), aerasi (ruang pori total/RPT) dan kapasitas air tersedia yang tergolong tinggi. Nilai pH bioamelioran sesuai dengan pH pertumbuhan optimal bakteri sehingga kerapatan populasi dari tiap bakteri dapat dipertahankan. Kesesuaian bakteri pematap agregat terhadap bio-char 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, Lampung yang diaplikasi dengan bioamelioran pematap agregat pada umumnya lebih tinggi (agak stabil) apabila dibandingkan dengan tanpa pemberian bioamelioran (tidak stabil). Pertumbuhan vegetatif (tinggi) tanaman jagung varietas Bisma mengalami peningkatan 6,5-13,4% dengan pemberian 4,2 g/tanaman bioamelioran. Indikator produktivitas pada perlakuan 100% dosis pupuk NPK tunggal yang dikombinasikan dengan 25% bioamelioran mengalami peningkatan untuk jumlah tongkol, bobot kering tongkol dan pipilan jagung masing-masing sebesar 31,3%; 6,1% dan 15,7%. Diperlukan justifikasi lebih lanjut mengenai indikasi potensi pemanfaatan bioamelioran berbahan bio-char dan bakteri pematap agregat melalui uji coba dua musim tanam atau uji multi lokasi di lapang pada jenis tanah yang berbeda.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada penanggung jawab lapangan KP Taman Bogo, Lampung yang telah memberikan bantuan secara langsung dalam pelaksanaan kegiatan penelitian. Kegiatan penelitian ini dapat terlaksana atas biaya APBN TA 2008.

Daftar Pustaka

- Amezketta E, R Aragues, R Carranza & B Urgel (2003). Macro-and micro-aggregate stability of soils determined by a combination of wet-sieving and laser-ray diffraction. *Spanish J Agric Res* 1(4), 83-94.
- Bhardwaj AK, I Shainberg, D Goldstein, DN Warrington & GJ Levy (2007). Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamides in sandy soils. *Soil Sci Soc Am* 71(2), 406-412.
- Canton Y, A Sole-Benet, C Asensio, S Chamizo & J Puigdefabregas (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 Till Res* 57,159-166.
- Eneje RC, PC Oguike & Osuaku (2007). Temporal variations in organic carbon, soil reactivity and aggregate stability in soils of contrasting cropping history. *African J Biotechnol* 6(4), 369-374.
- Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA). (2006). *Biofertilizer Manual*. Japan Atomic Industrial Forum (JAIF). pp 124.
- Glaser B, J Lehmann & W Zech (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal –A review. *Biol & Fertility of Soils* 35, 219-230.
- Glaser B, L Haumaier, G Guggenberger & W Zech (2001). The Terra Preta phenomenon – A model for sustainable agriculture in the humid tropics, *Naturwissenschaften* 88, 37-41.
- Goenadi DH (2006). *Pupuk dan Teknologi Pemupukan Berbasis Hayati : dari Cawan Petri ke Lahan Petani*. Jakarta, Yayasan John Hi-Tech Idetama. 220 hal.
- Goenadi DH, YT Adiwiganda & LP Santi (2005). Development technology and commercialization of EMAS (Enhancing Microbial Activity in the Soils) biofertilizer. *Forum for Nuclear Cooperation in Asia Bio-fertilizer Newsletter* Issue No. 6, November 2005.
- Kurnia E, F Agus, A Adimihardja, A Dariah (2006). *Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Lehmann J & S Joseph (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan-UK. p, 71-78.
- Lehmann J (2007). Bio-char for mitigating climate change: carbon sequestration in the black. *Forum Geoolok* 18(2) 15-17.
- Lehmann J & M Rondon (2005). Bio-char soil management on highly-weathered soils in the humid tropics. In: N. Uphoff (ed.), *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, Boca Raton, CRC Press.
- Lehmann J, JP da Silva Jr, C Steiner, T Nehls, W Zech & B Glaser (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*. 249, 343-357.
- Mikkelsen RL (2005). Humic materials for agriculture. *Better Crops* 89(3), 6-10.
- Prasetyo BH & DA Suriadikarta (2006). Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah Ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *J. Litbang Pertanian* 25(2), 39-46.
- Saito M & T Marumoto (2002). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi: The status quo in Japan and the future prospects. *Plant and Soil* 244, 273-279.

- Santi LP, Ai Dariah & DH Goenadi (2008). Peningkatan kemantapan agregat tanah mineral oleh bakteri penghasil eksopolisakarida. *Menara Perkebunan* 76 (2), 92-102.
- Santi LP, Sumaryono & DH Goenadi (2007). Evaluasi aplikasi biofertilizer EMAS pada tanaman jagung di Pelaihari, Kalimantan Selatan. *Bul Agr* 35(1), 22-27.
- Solichin M (2009). *Teknologi asap cair "deorub" dalam industri karet alam. Technology Indonesia*. Diunduh dari: <http://www.technology indonesia. com>. [28 Jan 2010].
- Sombroek W, ML Ruivo, PM Fearnside, B Glaser & J Lehmann (2003). Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: J Lehmann *et al.* (eds). *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*, Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. p. 125–139
- Steel RGD & JH Torrie (1980). *Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach*. 2nd ed. New York, McGraw-Hill
- Steiner C (2007). Soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish carbon sink-research and prospects. *Soil Ecology Res Dev*, 1-6.