

Pengaruh pemberian inokulan *Burkholderia cenocepacia* dan bahan organik terhadap sifat fisik tanah berpasir

Effect of the inoculation of Burkholderia cenocepacia and organic materials on physical properties of a sandy soil

Laksmi Prima SANTI¹⁾, SUDARSONO²⁾, Didiek Hadjar GOENADI¹⁾,
Kukuh MURTIKASONO²⁾ & Dwi Andreas SANTOSA²⁾

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

²⁾Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Diterima tgl 24 Februari 2010/Disetujui tgl 12 Mei 2010

Abstract

Soil aggregation is a dynamic and very important factor for the development of agricultural soil functions. Unstable soil aggregation in a sandy soil type is a limiting factor for plant growth. The aim of this study was to investigate the influence of a exopolysaccharide-producing bacterium and organic material on some physical properties of a sandy soil. A highly potential bacterium for exopolysaccharides production, i.e Burkholderia cenocepacia, was isolated from a sandy soil located at Kotawaringin Barat, Central Kalimantan. The isolated bacterium is capable on improving aggregate's stability of a soil with about 60% sand fraction [medium sand fraction (MSF)]. Interaction between available water and electric conductivity with aggregate stability index has significant correlation in medium sand fraction inoculated by 10⁹ CFU of B. cenocepacia suspension, i.e. $r = 0.806^$ and $r=0.966^{**}$, respectively. Organic materials and its combination with the addition of 10⁸ CFU B. cenocepacia suspension treatments could increase the aggregate stability index but have no effects on bulk density and total pore space values in an artificial condition of medium sand fraction.*

[Key words: B. cenocepacia, soil aggregation, sandy soil, aggregate stability- index].

Abstrak

Agregasi tanah bersifat dinamis dan merupakan faktor penting untuk pengembangan fungsi tanah pertanian. Ketidakstabilan agregat tanah pada jenis tanah berpasir merupakan faktor pembatas untuk pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ekso-polisakarida bakteri dan bahan organik terhadap beberapa sifat fisik bahan tanah berpasir. Satu bakteri potensial penghasil ekso-polisakarida yaitu *Burkholderia cenocepacia* telah berhasil diisolasi dari bahan tanah berpasir asal Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah. Bakteri ini dapat meningkatkan kemantapan agregat bahan tanah dengan kandungan fraksi pasir sekitar 60% [fraksi pasir sedang (FPS)]. Hubungan antara air tersedia dan konduktivitas elektrik terhadap indeks kemantapan agregat sangat nyata pada bahan tanah FPS yang diinokulasi dengan 10⁹ CFU suspensi *B. cenocepacia* masing-masing $r = 0,806^*$ dan

$r = 0,966^{**}$. Perlakuan bahan organik dan kombinasinya dengan penambahan 10⁹CFU suspensi *B. cenocepacia* dapat meningkatkan indeks kemantapan agregat tetapi tidak mempengaruhi nilai kerapatan lindak dan total ruang pori di dalam fraksi pasir sedang.

[Kata kunci: *B. cenocepacia*, agregasi tanah, tanah berpasir, indeks kemantapan agregat]

Pendahuluan

Kemantapan agregat tanah merupakan suatu indikator penting dalam menilai kualitas fisik tanah. Pengukuran kemantapan agregat tanah menjadi penting sebab dapat memberikan informasi secara umum tentang kondisi tanah. Hal tersebut mencakup struktur tanah yang mempengaruhi aliran atau pergerakan air dan udara di dalam tanah, perkembangan akar tanaman, aktivitas mikroorganisme tanah serta retensi hara tanah. Atas dasar informasi tersebut selanjutnya dapat ditetapkan sistem penggunaan dan pengelolaan lahan yang sesuai untuk pertanian atau perkebunan guna memperoleh hasil produksi yang optimal.

Kemantapan agregat tanah didefinisikan oleh Amezketa *et al.* (2003) sebagai kemampuan agregat untuk tetap utuh ketika subyek memberikan tekanan dan merupakan suatu sifat tanah yang penting dalam mempengaruhi pergerakan dan penyimpanan air, aerasi, erosi, aktivitas mikroorganisme tanah dan pertumbuhan tanaman. Lebih lanjut Rohoskova & Valla (2004) menyatakan bahwa kemantapan agregat tanah sebagai kemampuan tanah untuk bertahan terhadap gaya-gaya yang akan merusak. Gaya-gaya tersebut dapat berupa kikisan angin, pukulan hujan, daya urai air pengairan, dan beban pengolahan tanah. Agregat tanah yang mantap memiliki kemampuan mengikat agregat dan tahan terhadap tekanan lingkungan luar yang menyebabkan disagregasi tanah seperti pengolahan, *swelling* dan *shrinking*, energi kinetik tetes hujan dan lain sebagainya. Kemantapan agregat tanah tidak berpengaruh secara langsung terhadap pertumbuhan tanaman, tetapi akan mengubah

lingkungan tanah secara fisik dan kimia dimana pertumbuhan akar tanaman sangat dipengaruhi oleh porositas, aerasi, kelembaban, dan lain sebagainya. Tanah dengan tingkat kemantapan agregat rendah akan memiliki ruang pori yang kecil sehingga pergerakan air dan udara akan sulit terjadi. Sebaliknya tanah dengan agregat yang baik maka tekstur tanah biasanya gembur dan sangat baik untuk pertukaran gas dari atmosfer. Bahan organik dapat meningkatkan agregasi tanah atau pembentukan struktur tanah yang berdampak lebih lanjut terhadap sifat kimia dan fisik tanah (Caravaca *et al.*, 2004; Pinheiro *et al.*, 2004; Carter, 2002; Cerda, 2000). Selain bahan organik tanah yang berasal dari hasil dekomposisi tumbuhan, eksopolisakarida bakteri mendapat perhatian yang cukup besar dalam membentuk kemantapan agregat (Santi *et al.*, 2008).

Eksopolisakarida dapat ditemukan dibagian struktur luar sel prokariot atau eukariot. Sejumlah bakteri Gram (-) dan Gram (+) mengekskresikan eksopolisakarida ke dalam lingkungannya atau tetap berada di permukaan sel bakteri sebagai kapsul polisakarida atau dalam bentuk lendir (*slime*). *Burkholderia tropica* menghasilkan sejumlah besar eksopolisakarida di dalam medium pertumbuhan sintetik yang mengandung manitol dan glutamat sebagai sumber karbon dan nitrogen (Serrato *et al.* 2006). Karakteristik pembentukan agregat pada tanah berpasir sangat unik karena menyangkut mekanisme interaksi antara bakteri penghasil eksopolisakarida dengan tanah berpasir atau bahan organik. Pada umumnya untuk mengupayakan peningkatan agregasi pada tanah berpasir dilakukan dengan menggunakan bahan organik yang berasal dari proses dekomposisi tumbuhan. Kebutuhan akan bahan organik yang cukup besar pada aplikasi di lapang merupakan suatu kendala tersendiri dalam mencapai efisiensi teknik pengelolaan tanah khususnya tanah dengan dominasi fraksi pasir yang cukup tinggi. Sementara itu, informasi mengenai potensi eksopolisakarida yang dihasilkan oleh bakteri dan interaksinya dengan bahan organik dalam pembentukan agregat pada bahan tanah berpasir masih sangat terbatas. Tulisan ini menyajikan hasil penelitian mengenai pengaruh inokulasi *B. cenocepacia* dan penambahan bahan organik (jerami dan kompos jerami) terhadap sifat fisik bahan tanah berpasir berdasarkan pengujian di laboratorium.

Bahan dan Metode

Mikroorganisme

Bakteri *Burkholderia cenocepacia* yang digunakan dalam penelitian ini diisolasi dari rizosfer kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di kebun kelapa sawit milik perusahaan perkebunan swasta di Kotawaringin

Barat, Provinsi Kalimantan Tengah. Biakan dipelihara dalam agar miring berisi medium padat ATCC14 dengan komposisi (per liter medium): 0,2 g KH_2PO_4 ; 0,8 g K_2HPO_4 ; 0,2 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2,0 mg FeCl_3 ; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (trace); 0,5 g ekstrak kamir; 20 g sukrosa; dan 15 g bacto agar dengan pH 7,2. Identitas bakteri diperoleh berdasarkan analisis *sekuensing* 16S rRNA. Isolasi DNA dilakukan berdasarkan metode lisis alkali. Amplifikasi DNA dilakukan dengan menggunakan pasangan primer Universal untuk bakteri (16SF & 1387R). Sekuensing dilakukan dengan menggunakan ABI-Prism 3100-*Avant Genetic Analyzer*. Hasil sekuensing selanjutnya dianalisis tingkat kesamaannya menggunakan program *ClustalW* version 1.82 dari *European Bioinformatics Institute* (EMBL-EBI) (<http://www.ebi.ac.uk/serve/clustalW>).

Potensi produksi eksopolisakarida *B.cenocepacia*

Optimasi pertumbuhan dan produksi eksopolisakarida *B. Cenocepacia* ditetapkan berdasarkan metode yang dikemukakan oleh Emtiazi *et al.* (2004). *B. cenocepacia* ditumbuhkan pada suhu 28°C, di atas mesin pengocok dengan kecepatan 200 rpm selama 72 jam. Medium uji yang digunakan untuk menetapkan optimasi produksi eksopolisakarida adalah medium cair ATCC 14 dengan enam sumber dan tiga tingkat konsentrasi karbon. Sumber karbon yang digunakan terdiri atas: (i) sukrosa, (ii) glukosa, (iii) 4-hydroxyphenyl acetic acid (4-HAA), (iv) manitol, (v) glutamat, dan (vi) laktosa (Moreno *et al.*, 1999; Serrato *et al.*, 2006). Sementara itu, tingkat konsentrasi karbon yang digunakan masing-masing: 1, 2, dan 3% (b/v).

Analisis bahan tanah

Tiga jenis bahan tanah dengan fraksi pasir sekitar 20 [Rendah (FPR)], 60 [Sedang (FPS)], dan 80% [Tinggi (FPT)] masing-masing diambil dari kedalaman 0-20 cm di horizon permukaan tanah di kebun kelapa sawit milik swasta di Provinsi Kalimantan Tengah. Bahan tanah ini selanjutnya dikeringanginkan dan disaring hingga lolos saringan berukuran 2 atau 3 mm. Sifat fisika dan kimia bahan tanah ditetapkan di Laboratorium Fisika Tanah, Balai Penelitian Tanah, Bogor dan Laboratorium Analitik, Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan, Bogor. Analisis meliputi: analisis fraksi pasir, N (metode Kjeldahl), P dan K (ekstrak HCl 25%), Mg (AAS), KTK (metode Bower-Soil Survey Staff, 1993), Al_2O_3 dan Fe_2O_3 , pH tanah dalam suspensi air 1:2,5 (w/v) - pH meter, dan C-organik metode Walkley-Black (Eneje *et al.*, 2007). Perbandingan relatif fraksi pasir, debu, dan liat dari bahan tanah yang digunakan untuk penelitian disajikan pada Tabel 1.

Pengaruh pemberian inokulan B. cenocepacia terhadap sifat fisik tanah

Sebanyak 10⁹ CFU bakteri *B. cenocepacia* ditumbuhkan di dalam 500 mL Erlenmeyer yang berisi 250 mL medium ATCC 14. Biakan ditumbuhkan pada suhu 28^oC selama 72 jam di atas mesin pengocok dengan kecepatan 200 rpm. Sel bakteri kemudian disentrifugasi dan dicuci dengan menggunakan akuades steril sebelum digunakan untuk percobaan. Bahan tanah dengan kandungan fraksi pasir rendah (FPR), sedang (FPS) dan tinggi (FPT) masing-masing ditimbang seberat satu kg dan dimasukkan ke dalam kantong plastik tahan panas. Sterilisasi tanah dilakukan dengan menggunakan Gamma radiasi 50 Kgray selama 11 jam. Selanjutnya 10⁸-10⁹ CFU suspensi sel *B. cenocepacia* diinokulasikan secara aseptik ke dalam masing-masing kantong berisi satu kg tanah steril tersebut. Inkubasi dilakukan pada suhu 28^oC selama 30, 60, dan 90 hari dalam kondisi statis. Sebagai pembanding digunakan bahan tanah tanpa inokulan. Selama periode inkubasi, tanah dijaga dalam kondisi kapasitas lapang dan untuk mengamati interaksi eksopolisakarida bakteri dengan bahan tanah dilakukan *scanning electron microscopy* (SEM) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung. Spesifikasi alat *scanning electron microscope* yang digunakan dalam penelitian ini adalah RDCMCT tipe JEOL 6360LA. Pada tahap awal, bahan contoh diratakan dengan alat khusus. Apabila bahan contoh kurang kering maka terlebih dahulu dihampa-udarkan selama tiga jam. Bahan contoh di *coating* dengan platina dan ditembak

dengan neutron. Selanjutnya bahan contoh dimasukkan ke dalam alat (SEM) dan dilakukan pemilihan gambar yang diinginkan melalui monitor alat tersebut.

Studi interaksi B. cenocepacia dengan bahan organik terhadap sifat fisik tanah

Dalam penelitian ini digunakan bahan organik segar (jerami padi) dan bahan organik yang telah dikomposkan (kompos jerami). Penyiapan kompos jerami sebagai berikut: sebanyak 500 kg jerami padi dicacah sehingga diperoleh cacahan 2,5 – 5,0 cm. Jerami kemudian dikomposkan dengan menggunakan 0,325% (b/b) bioaktivator *SuperDec* (Goenadi & Santi, 2006) dan diinkubasi selama 28 hari. Karakteristik jerami dan kompos jerami yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 2. Bahan tanah dengan kandungan fraksi pasir rendah (FPR), sedang (FPS) dan tinggi (FPT) masing-masing ditimbang seberat 1 kg dan dimasukkan ke dalam kantong plastik tahan panas kemudian ditambah dengan jerami atau kompos jerami sesuai dengan rancangan percobaan yang ditetapkan. Sterilisasi tanah yang telah ditambah jerami atau kompos jerami dilakukan dengan menggunakan Gamma radiasi 50 Kgray selama 11 jam. Selanjutnya 10⁸ CFU suspensi sel *B. cenocepacia* diinokulasikan secara aseptik ke dalam masing-masing kantong berisi satu kg campuran tanah dan jerami atau kompos jerami steril tersebut. Inkubasi dilakukan pada suhu 28^oC selama 30, 60, dan 90 hari dalam kondisi statis.

Tabel 1. Analisis fraksi pasir bahan tanah asal Kalimantan Tengah.
 Table 1. The analysis of sandy soil fraction from Central Kalimantan.

Fraksi pasir <i>Sand fractions (%)</i>	Pasir (<i>sand</i>) (%)	Debu (<i>silt</i>) (%)	Liat (<i>clay</i>) (%)	Kelas tekstur <i>Texture class</i>
Rendah (R) <i>Low</i>	21,37	32,85	45,78	Liat (<i>clay</i>)
Sedang (S) <i>Medium</i>	59,80	35,20	5,00	Lempung berpasir <i>Sandy loam</i>
Tinggi (T) <i>High</i>	86,50	12,44	1,06	Pasir berlempung <i>Loamy sand</i>

Tabel 2. Karakteristik kimia jerami padi dan kompos jerami.
 Table 2. Chemical characteristic of fresh rice straw and its compost.

Jenis bahan <i>Type of materials</i>	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	C-org (%)	C/N (%)
Jerami padi <i>Rice Straw</i>	0,74	0,20	1,31	0,15	33,20	44,86
Kompos jerami <i>compost</i>	1,55	0,48	2,49	0,40	23,32	15,05

Data yang diperoleh diolah dengan analisis ragam dan apabila ada beda nyata dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5% (Steel & Torrie, 1980). Peubah yang diamati pada akhir inkubasi 30, 60, dan 90 hari meliputi: (i) indeks kemantapan agregat (Canton *et al.*, 2009), (ii) ruang pori total, (iii) air tersedia, (iv) daya hantar listrik, dan (v) kerapatan lindak (Bhardwaj *et al.*, 2007) dalam kondisi artifisial.

Hasil dan Pembahasan

Potensi produksi eksopolisakarida

Pada umumnya bakteri penghasil eksopolisakarida akan tumbuh baik di dalam medium dengan sumber karbon yang mudah dioksidasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sumber karbon terbaik bagi *B. cenocepacia* adalah sukrosa dan 4-hydroxyphenyl acetic acid. Dengan sumber karbon sukrosa konsentrasi 2% (b/v) dihasilkan bobot kering eksopolisakarida rata-rata 3,9 mg/mL. Sedangkan sumber karbon 4-hydroxyphenyl acetic acid dengan konsentrasi 3% (b/v) menghasilkan bobot kering eksopolisakarida rata-rata 6,9 mg/mL. Bobot eksopolisakarida yang dihasilkan tersebut lebih tinggi apabila dibandingkan dengan yang diperoleh oleh Moreno *et al.* (1999) dari *Azotobacter vinelandii* dengan menggunakan kedua sumber karbon tersebut. Hasil pengukuran bobot kering eksopolisakarida secara lengkap disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil tersebut diperkirakan bahwa *B. cenocepacia* lebih mudah memetabolismekan sukrosa dan 4-hydroxyphenyl acetic acid dibandingkan dengan penggunaan empat sumber karbon lain yang diujikan dalam penelitian ini. Kemudahan dalam menggunakan sukrosa dan 4-hydroxyphenyl acetic acid sebagai sumber energi ini memungkinkan untuk pertumbuhan dan pembentukan biomassa sel *B. cenocepacia* secara optimal.

Rancangan percobaan

Percobaan disusun dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga ulangan. Adapun perlakuan yang diujikan adalah :

- (i) 1 kg bahan tanah FP-20 + 10^8 CFU *B.cenocepacia*
- (ii) 1 kg bahan tanah FP-20 + 2% (b/b) jerami
- (iii) 1 kg bahan tanah FP-20 + 2% (b/b) kompos jerami
- (iv) 1 kg bahan tanah FP-20 + 2% (b/b) jerami + 10^8 CFU *B.cenocepacia*
- (v) 1 kg bahan tanah FP-20 + 2% (b/b) kompos jerami 10^8 CFU *B.cenocepacia*
- (vi) 1 kg bahan tanah FP-60 + 10^8 CFU *B. cenocepacia*
- (vii) 1 kg bahan tanah FP-60 + 2% (b/b) jerami
- (viii) 1 kg bahan tanah FP-60 + 2% (b/b) kompos jerami
- (ix) 1 kg bahan tanah FP-60 + 2% (b/b) jerami + 10^8 CFU *B. cenocepacia*
- (x) 1 kg bahan tanah FP-60 + 2% (b/b) kompos jerami + 10^8 CFU *B. cenocepacia*

Analisis bahan tanah

Bahan tanah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas bahan tanah dengan kandungan fraksi pasir (FP) sekitar 20 (FPR), 60 (FPS), dan 80% (FPT). FPT memiliki kandungan fraksi pasir yang cukup ekstrim (86,5%).

Untuk bahan oksida yang bersifat sebagai *cementing agent*, terlihat bahwa semakin besar kandungan fraksi pasir, maka konsentrasi Al_2O_3 dan Fe_2O_3 juga semakin menurun. Demikian pula halnya dengan kapasitas tukar kation (KTK) dan C-organik yang semakin menurun dengan semakin meningkatnya kadar fraksi pasir. Konsentrasi hara N, P, dan Mg juga semakin rendah dengan semakin besarnya persen fraksi pasir. Sementara itu, kadar hara K umumnya sama untuk semua tingkat fraksi. Hasil analisis (Tabel 4) tersebut membuktikan bahwa pada bahan tanah dengan kadar fraksi pasir sedang-tinggi (FPS dan FPT) maka potensi meretensi hara juga sangat rendah.

Pengaruh pemberian inokulan *B. cenocepacia* terhadap sifat fisik tanah

Pengujian interaksi bakteri dengan bahan tanah yang terkait dengan kemampuan eksopolisakarida *B. cenocepacia* membentuk agregat bahan tanah FPR, FPS dan FPT dengan masa inkubasi 30, 60 dan 90 hari secara lengkap disajikan pada Tabel 5. Dari hasil tersebut diketahui perlakuan inokulasi *B. cenocepacia* rata-rata belum menunjukkan hasil yang nyata dalam meningkatkan agregasi FPR terhadap perlakuan kontrol (tanpa inokulan). Namun demikian, indeks kemantapan agregat pada FPR yang diinokulasi dengan 10^8 - 10^9 CFU *B. cenocepacia* mengalami peningkatan yang sangat nyata pada hari ke-60 inkubasi jika dibandingkan hari ke-30 dan 90. Fenomena ini tidak terjadi pada perlakuan tanpa inokulan. Indeks kemantapan agregat FPR tanpa inokulan tidak berbeda nyata dalam tiap masa inkubasi.

Pengaruh inokulasi *B. cenocepacia* yang lebih nyata terhadap pembentukan agregasi terjadi di dalam FPS. Pemberian 10^8 CFU *B. cenocepacia* ke dalam satu kg FPS mampu meningkatkan indeks kemantapan agregat FPS pada inkubasi 30 dan 60 hari. Indeks kemantapan agregat FPS meningkat masing-masing sebesar 68,1% (inkubasi 30 hari) dan 19,3% (inkubasi 60 hari) terhadap kontrol (tanpa inokulan). Indeks kemantapan agregat FPS dengan perlakuan ini meningkat secara nyata pada hari ke-60 inkubasi jika dibandingkan inkubasi 30 dan 90 hari. Pada FPT, pemberian inokulan *B. cenocepacia* belum berpengaruh terhadap indeks kemantapan agregat. Kemantapan agregat tidak terbentuk pada bahan tanah ini lebih disebabkan karena dominasi fraksi pasir yang sangat tinggi sehingga pengaruh perekatan oleh eksopolisakarida rendah. Di lain pihak perlu dicermati bahwa kondisi lingkungan di dalam bahan tanah sangat

mempengaruhi pertumbuhan bakteri yang berdampak terhadap jumlah eksopolisakarida yang dihasilkan oleh bakteri. Kemantapan agregat tanah melalui akumulasi sel bakteri sangat berkorelasi dengan pembentukan eksopolisakarida bakteri. Hasil penghitungan populasi *B. cenocepacia* pada bahan tanah FPR, FPS, dan FPT menunjukkan bahwa pada inkubasi 30 dan 60 hari, populasi bakteri rata-rata

10^7 - 10^8 CFU/g contoh tanah. Sedangkan pada masa inkubasi 90 hari populasi *B. cenocepacia* sedikit mengalami penurunan yaitu rata-rata 10^5 - 10^6 CFU/g contoh tanah.

Berdasarkan analisis regresi linier seperti yang disajikan pada Gambar 1 diketahui bahwa kemantapan agregat FPR yang diinokulasi dengan

Tabel 3. Bobot kering eksopolisakarida yang dihasilkan *B. cenocepacia* di dalam medium ATCC 14 dengan enam jenis sumber karbon konsentrasi 1, 2, dan 3% (b/v) selama 72 jam inkubasi.

Table 3. Dry weight of exopolysaccharide produced by *B. cenocepacia* in ATCC 14 medium with 1, 2, and 3% (w/v) concentrations of six types carbon sources at 72 hour incubations time.

Sumber karbon Carbon sources	Konsentrasi (% b/v) Concentration (% w/v)	Bobot kering eksopolisakarida Dry weight of exopolysaccharide (mg/mL)
Sukrosa <i>Sucrose</i>	1	0,89 fg ^{a)}
	2	3,90 b
	3	1,15 ef
Glukosa <i>Glucose</i>	1	0,35 i
	2	0,25 i
	3	0,45 hi
4-HAA	1	0,90 fg
	2	2,75 c
	3	6,90 a
Laktosa <i>Lactose</i>	1	0,70 gh
	2	1,25 e
	3	1,25 e
Monitol <i>Manitol</i>	1	0,25 i
	2	1,60 d
	3	0,90 fg
Glutamat <i>Glutamate</i>	1	0,16 i
	2	0,16 i
	3	0,31 i
Koefisien keragaman (%) <i>Coefficient variable (%)</i>		10,70

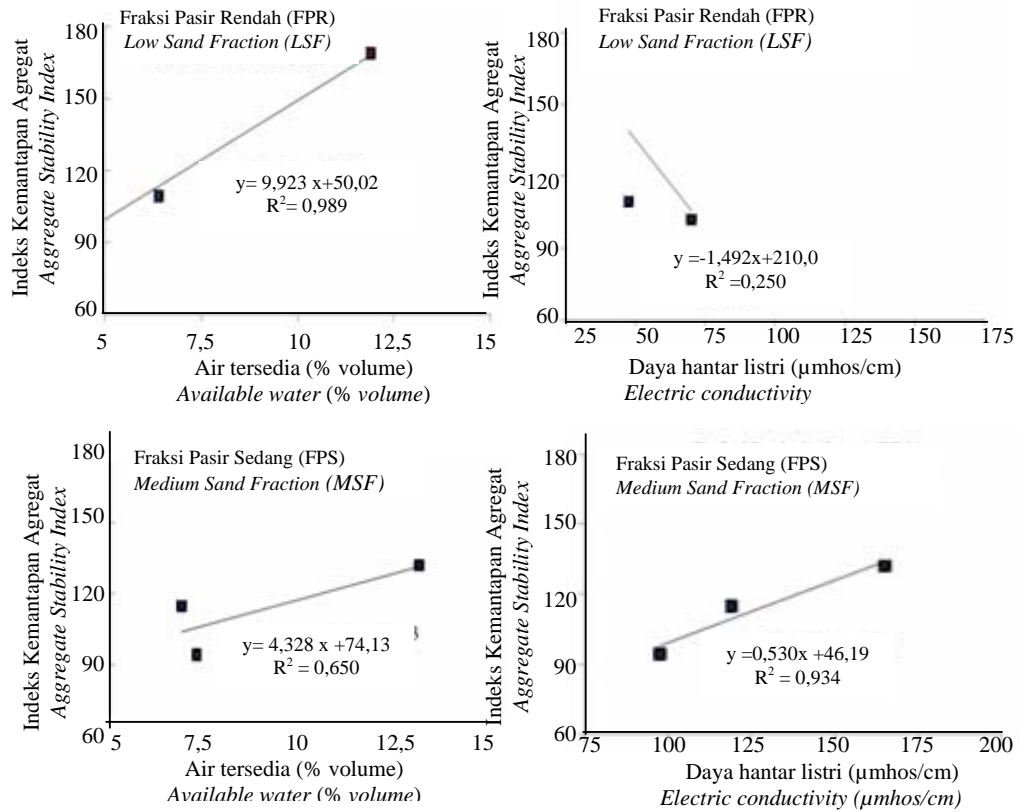
^{a)} Angka dalam kolom yang sama yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan ($P>0,05$).

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

Tabel 4. Analisis kimia fraksi pasir bahan tanah asal Kalimantan Tengah.

Table 4. The chemical properties analysis of sandy soil fraction from Central Kalimantan.

Fraksi Pasir Sand fraction (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	KTK CEC (me/100g)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	pH	C-organik C-organic (%)
Rendah (<i>Low</i>)	0,217	0,038	0,001	0,0006	9,03	2,100	0,50	4,65	2,67
Sedang (<i>Medium</i>)	0,126	0,018	0,001	0,0005	3,83	0,770	0,10	4,08	1,65
Tinggi (<i>High</i>)	0,126	0,018	0,001	0,0003	2,08	0,013	0,01	4,39	0,83



Gambar 1. Hubungan antara air tersedia (% volume) dan daya hantar listrik (µmhos/cm) dengan Indeks kemantapan agregat FPR dan FPS.

Figure 1. Interaction between available water (% volume) and electric conductivity (µmhos/cm) with aggregate stability index in LSF and MSF.

10^8 CFU *B. cenocepacia* berkorelasi sangat nyata ($r = 0,994^{**}$) dengan air tersedia tetapi berkorelasi tidak nyata terhadap daya hantar listrik ($r = 0,5^{ns}$). Sementara itu, kemantapan agregat FPS yang diinokulasi dengan 10^8 CFU suspensi *B. cenocepacia* berkorelasi nyata terhadap air tersedia ($r = 0,806^*$) dan sangat nyata terhadap daya hantar listrik ($r = 0,966^{**}$). Hubungan antara air tersedia dengan indeks kemantapan agregat pada FPR lebih nyata apabila dibandingkan dengan FPS. Hal ini diduga karena indeks kemantapan agregat dan air tersedia pada FPR dengan penambahan 10^8 CFU *B. cenocepacia* secara konsisten meningkat sampai 60 hari inkubasi. Indeks kemantapan agregat dan air tersedia dalam FPR inkubasi 60 hari meningkat masing-masing 35,3 dan 46,2% dari masa inkubasi 30 hari. Sementara pada FPS hanya meningkat 13,0 dan 47,7%. Interaksi yang terjadi dapat pula dipengaruhi oleh dominasi ukuran partikel. Berdasarkan analisis distribusi partikel diketahui bahwa distribusi partikel FPR yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini adalah 21,37% (pasir), 32,85% (debu), dan 45,78% (liat). Pada umumnya partikel berukuran kecil (debu dan liat) memiliki luas area permukaan yang lebih besar

daripada pasir sehingga kemampuan memegang air juga akan lebih besar.

Hubungan daya hantar listrik dengan indeks kemantapan agregat pada FPR lebih rendah apabila dibandingkan dengan FPS. Pada FPS, daya hantar listrik akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan indeks kemantapan agregat. Namun sebaliknya, peningkatan nilai indeks kemantapan agregat tidak mempengaruhi peningkatan nilai daya hantar listrik pada FPR. Nilai daya hantar listrik dalam FPR dan FPS yang diinkubasi 60 hari meningkat masing-masing 5,0 dan 27,9% dari masa inkubasi 30 hari. Hal ini dapat menjelaskan mengenai peran eksopolisakarida yang diekskresikan oleh *B. cenocepacia* dalam meningkatkan kemantapan agregat bahan tanah FPS. Indeks kemantapan agregat FPS yang diinokulasi *B. cenocepacia* meningkat secara nyata dalam masa inkubasi 30 dan 60 hari apabila dibandingkan tanpa inokulan. Peningkatan kemantapan agregat ini diikuti dengan peningkatan nilai daya hantar listrik. Pembentukan koloni bakteri yang melapisi butir partikel primer memiliki pengaruh penting di dalam sifat utama struktur tanah. Peran eksopolisakarida dalam meningkatkan kemantapan agregat terutama

Tabel 5. Pengaruh pemberian inokulan *B. cenocepacia* terhadap indeks kemandapan agregat bahan tanah dengan waktu inkubasi 30, 60, dan 90 hari.Table 5. Effect of the inoculation of *B. cenocepacia* on soil materials aggregate stability index at 30, 60, and 90 days incubation periods.

Perlakuan Treatments	Indeks kemandapan agregat Aggregate stability index		
	Waktu inkubasi (hari) (Incubation periods) (days)		
	30	60	90
Fraksi Pasir Rendah (FPR) <i>Low Sand Fraction (LSF)</i>	109,35 a A ^{*)}	118,0 b A	100,9 a A
FPR + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> LSF + 10 ⁸ CFU of <i>B. cenocepacia</i>	109,40 a B	194,0 a A	101,9 a B
FPR + 10 ⁹ CFU <i>B. cenocepacia</i> LSF + 10 ⁹ CFU of <i>B. cenocepacia</i>	118,10 a B	125,0 b A	114,3 a C
Fraksi Pasir Sedang (FPS) <i>Medium Sand Fraction (MSF)</i>	68,30 b B	110,6 b A	118,0 a A
FPS + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> MSF + 10 ⁸ CFU of <i>B. cenocepacia</i>	114,80 a B	132,0 a A	94,2 a C
FPS + 10 ⁹ CFU <i>B. cenocepacia</i> MSF + 10 ⁹ CFU of <i>B. cenocepacia</i>	113,95 a A	111,00 b A	109,20 a A
Fraksi Pasir Tinggi (FPT) <i>High Sand Fraction (HSF)</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>
FPT + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> HSF + 10 ⁸ CFU of <i>B. cenocepacia</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>
FPT + 10 ⁹ CFU <i>B. cenocepacia</i> HSF + 10 ⁹ CFU of <i>B. cenocepacia</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>	tdk terdeteksi <i>nd</i>

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

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

sebagai agen pengikat atau perekat. Bentuk eksopoli-sakarida bakteri *B. cenocepacia* yang menyerupai perekat dapat dilihat melalui *scanning electron microscopy* (SEM) yang dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung seperti ditampilkan pada Gambar 2.

Studi interaksi *B. cenocepacia* dengan bahan organik terhadap sifat fisik tanah

Potensi *B. cenocepacia* dalam berinteraksi dengan bahan organik (jerami dan kompos jerami) terkait dengan pembentukan agregat pada FPR dan FPS secara lengkap disajikan pada Tabel 6. Inokulasi *B. cenocepacia* di dalam FPR dengan penambahan 2% kompos jerami masa inkubasi 60 hari memberikan indeks kemandapan agregat yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini diduga karena ketersediaan nutrisi dari kompos jerami dapat

mendukung pertumbuhan sel *B. cenocepacia*. Namun demikian, pada masa inkubasi 90 hari, nilai indeks kemandapan dengan perlakuan tersebut turun. Keterbatasan nutrisi yang dapat tersedia dan berkurangnya daya dukung lingkungan terhadap pertumbuhan *B. cenocepacia* di dalam FPR diperkirakan merupakan salah satu sebab bakteri tersebut tidak dapat tumbuh secara optimal. Pada FPS, interaksi *B. cenocepacia* dengan bahan tanah FPS ataupun dengan jerami dan kompos jerami menghasilkan indeks kemandapan agregat FPS yang tinggi pada masa inkubasi 60 hari. Fenomena ini dapat menjelaskan mekanisme agregasi yaitu didahului dengan proses interaksi jerami/kompos jerami dan adaptasi *B. cenocepacia* dengan FPS yang terjadi pada awal inkubasi sampai hari ke-30, selanjutnya dengan kondisi lingkungan yang optimal, agregasi dapat terbentuk lebih baik karena jerami atau kompos jerami

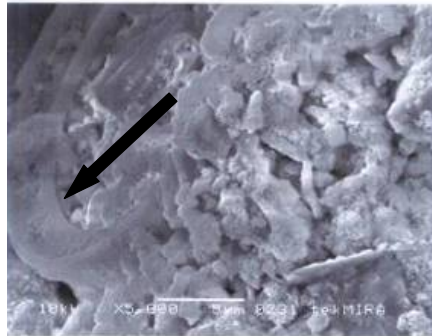
Tabel 6. Studi interaksi bakteri penghasil eksopolisakarida dengan bahan tanah berpasir dan organik, waktu inkubasi 30, 60, dan 90 hari.

Table 6. Interaction study of exopolysaccharide bacteria with sandy soil fraction and organic materials, 30,60, and 90 days incubation periods.

Perlakuan (Treatments)	Indeks Kemantapan Agregat Aggregate stability index		
	30 hari (days)	60 hari (days)	90 hari (days)
Fraksi Pasir Rendah (FPR) + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> <i>Low Sand fraction (LSF) + 10⁸ CFU of B. cenocepacia</i>	124,45 ab A ^{*)}	125,0 b A	53,7 b B
FPR + 2% (b/b) jerami <i>LSF + 2% (w/w) of rice straw</i>	156,65 a A	111,0 c B	114,8 a B
FPR + 2% (b/b) kompos jerami <i>LSF + 2% (w/w) of compost</i>	132,35 ab A	105,0 d A	109,0 a A
FPR + 2% (b/b) jerami + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> <i>LSF + 2% (w/w) rice straw + 10⁸ CFU of B. cenocepacia</i>	137,95 ab A	106,0 d B	129,8 a A
FPR + 2% (b/b) kompos jerami + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> LSF + <i>2% (w/w) of compost + 10⁸ CFU of B. cenocepacia</i>	107,70 b C	177,0 a A	138,9 a B
Fraksi Pasir Sedang (FPS) + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> <i>Medium Sand fraction (MSF) + 10⁸ CFU of B. cenocepacia</i>	126,90 a B	185,0 a A	78,5 b C
FPS + 2% (b/b) jerami <i>MSF + 2% (w/w) of rice straw</i>	128,90 a B	179,0 a A	130,5 a B
FPS + 2% (b/b) kompos jerami <i>MSF + 2% (w/w) of compost</i>	118,00 a B	202,0 a A	123,9 a B
FPS + 2% (b/b) jerami + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> <i>MSF 60 + 2% (w/w) rice straw + 10⁸ CFU of B. cenocepacia</i>	123,20 a B	194,0 a A	113,7 a B
FPS + 2% (b/b) kompos jerami + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> <i>MSF + 2% (w/w) of compost + 10⁸ CFU of B. cenocepacia</i>	118,80 a B	132,0 b A	130,3 a A

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

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



Gambar 2. Struktur eksopolisakarida *B. cenocepacia* (tanda panah) yang berfungsi sebagai perekat partikel di dalam fraksi pasir sedang (FPS).

Figure 2. The structure of *B. cenocepacia* exopolysaccharide (arrow) as binding particle in medium sand fraction (MSF).

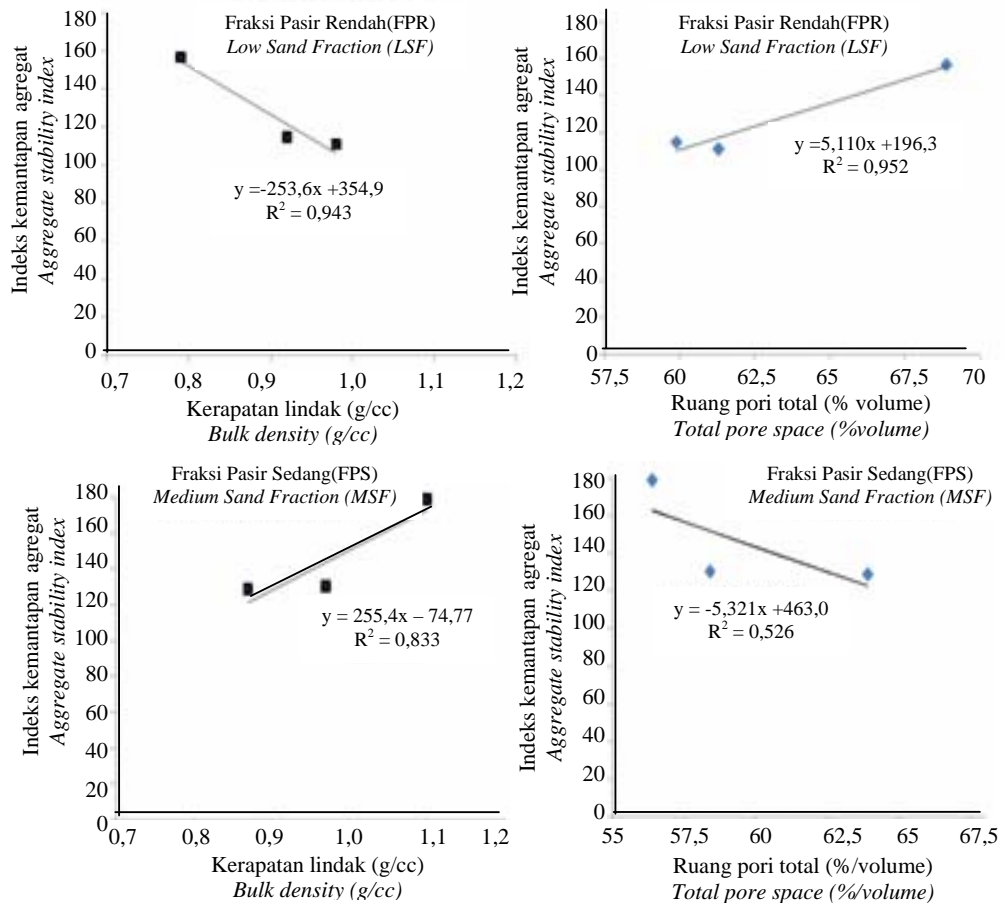
telah berinteraksi dan terintegrasi dengan bahan FPS. Dalam masa ini, pertumbuhan sel *B. cenocepacia* dan ekskresi eksopolisakarida juga memasuki tahap optimum. Namun dengan semakin berkurangnya

nutrisi tersedia yang dihasilkan dari jerami atau kompos jerami serta semakin banyak akumulasi sel mati maka agregasi yang terbentuk juga mengalami penurunan. Hubungan antara indeks kemantapan

agregat dan kerapatan lindak dalam kaitannya dengan fungsi jerami sebagai agens pembentuk agregat dan dapat meningkatkan jumlah ruang pori total disajikan pada Gambar 3. Hasil analisis regresi linier pada FPR yang ditambah dengan 2% jerami memiliki indeks kemantapan agregat yang berkorelasi sangat nyata dengan kerapatan lindak ($r = 0,97^{**}$) dan ruang pori total ($r = 0,98^{**}$). Pada FPR ini, kerapatan lindak akan semakin turun (korelasi negatif) dan ruang pori total akan meningkat (korelasi positif) dengan semakin meningkatnya nilai indeks kemantapan agregat. Sementara itu analisis regresi linier terhadap indeks kemantapan agregat FPS yang ditambah 2% jerami

menunjukkan hubungan yang sangat nyata dengan kerapatan lindak ($r = 0,91^{**}$) dan hubungan nyata dengan ruang pori total ($r = 0,73^*$).

Menurut Ahmad *et al.* (2007) pemberian bahan organik dapat menurunkan kerapatan lindak dan meningkatkan ruang pori total. Namun demikian, dengan kondisi artifisial dalam penelitian ini kerapatan lindak pada FPS tetap tinggi dan ruang pori total rendah walaupun nilai indeks kemantapan agregat FPS meningkat sejalan dengan waktu inkubasi. Nilai kerapatan lindak FPS yang tetap tinggi sampai dengan inkubasi 90 hari, diduga karena dominasi fraksi pasir yang masih cukup tinggi pada bahan tanah tersebut.



Gambar 3. Hubungan antara kerapatan lindak (g/cc) dan ruang pori total (% volume) dengan indeks kemantapan agregat dalam FPR dan FPS dalam kondisi artifisial.

Figure 3. Interaction between bulk density (g/cc) and total pore space (% volume) with aggregate stability index in LSF and MSF in artificial condition.

Kesimpulan dan Saran

Burkholderia cenocepacia yang diisolasi dari bahan tanah berpasir asal Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah mampu meningkatkan kemantapan agregat tanah FPS. Di dalam FPR dan FPS yang diinokulasi dengan *B. cenocepacia* memiliki pola peningkatan indeks kemantapan agregat yang sama. Peran eksopolisakarida *B. cenocepacia* dalam peningkatan indeks kemantapan agregat FPS lebih nyata terhadap kontrol apabila dibandingkan perlakuan pada FPR. Kemantapan agregat tanah FPS yang diinokulasi 10^8 CFU *B. cenocepacia* berkorelasi nyata terhadap air tersedia dan sangat nyata terhadap daya hantar listrik. Eksopolisakarida *B. cenocepacia* dapat digunakan untuk membentuk kemantapan agregat di dalam bahan tanah FPS (kadar fraksi pasir lebih besar atau sama dengan 60%).

Disarankan pengamatan yang lebih detail mengenai fenomena mekanisme pembentukan agregat melalui interaksi eksopolisakarida dan/atau bahan organik asal tumbuhan pada FPS dengan metode irisan tipis (*thin section*) untuk memperoleh justifikasi yang lebih akurat mengenai hubungan kerapatan lindak dan total ruang pori terhadap peningkatan indeks kemantapan agregat FPS.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada manajemen PT Astra Agro Lestari, Tbk yang telah memberikan ijin dan bantuan untuk memperoleh bahan tanah yang diperlukan dalam kegiatan penelitian ini. Kepada Administratur dan staf substation PT Gunung Sejahtera Ibu Pertiwi - PT Astra Agro Lestari, Tbk disampaikan penghargaan atas partisipasinya di lapang.

Daftar Pustaka

- Ahmad N F, Hassan & G Qadir (2007). Effect of subsurface soil compaction and improvement measures on soil properties. *Int J Agric & Biol* 9(3), 510-513.
- 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 J* 71(2), 406-412.
- Canton Y, A Sole-Benet, C Asensio, S Chamizo & J Puigdefabregas (2009). Aggregate stability in range sandy loam soils relationships with runoff and erosion. *Catena* 77, 192-199.
- Caravaca F, A Lax & J Albaladejo (2004). Aggregate stability and carbon characteristic of particle-size fractions in cultivated and forested soils of semiarid Spain. *Soil Till Res* 78, 83-90.
- Carter MR (2002). Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron J* 94, 38-47.
- 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.
- Emtiazi G, Z Ethemadifar & MH Habibi (2004). Production of extracellular polymer in *Azotobacter* and biosorption of metal by exopolymer. *African J Biotechnol* 3(6), 330-333.
- 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.
- Goenadi DH & LP Santi (2006). Aplikasi bioaktivator *SuperDec* dalam pengomposan limbah padat organik tebu. *Bul Agr* 34 (3), 173-180.
- Moreno J, CV Garcia, MJ Lopez & GS-Serrano (1999). Growth and exopolysaccharide production by *Azotobacter vinelandii* in media containing phenolic acids. *J Appl Microbiol* 86, 439-445.
- Pinheiro EFM, MG Pereira & LHC Anjos (2004). Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage system for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. *Soil Till Res* 77,79-84.
- Rohoskova M & M Valla (2004). Comparison of two methods for aggregate stability measurement- a review. *Plant Soil Environ* 50(8), 379-382.
- Santi LP, Ai Dariah & DH Goenadi (2008). Peningkatan kemantapan agregat tanah mineral oleh bakteri penghasil eksopolisakarida. *Menara Perkebunan* 76 (2), 92-102.
- Serrato RV, GL Sasaki, LM Cruz, FO Pedrosa, PAJ Gorin & M Lacomini (2006). Culture conditions for the production of an acidic exopolysaccharide by the nitrogen-fixing bacterium *Burkholderia tropica*. *Can J Microbiol* 52(5), 489-493.
- Soil Survey Staff (1993). *Soil Survey Manual*. USDA Handbook No. 18, Washington, USA.
- Steel RGD & JH Torrie (1980). *Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach*. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.