

POTENSI *BURKHOLDERIA CENOCEPACIA* STRAIN KTG DALAM AGREGASI TANAH TEKSTUR BERPASIR
(The potential use of *Burkholderia cenocepacia* KTG strain in aggregation of a sandy soil texture)

Laksmita Prima Santi^{*1)}, Sudarsono²⁾, Didiek Hadjar Goenadi¹⁾,
Kukuh Murtalaksono²⁾ & Dwi Andreas Santosa²⁾

1) Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan, PT Riset Perkebunan Nusantara, Jl. Taman Kencana No. 1
(0251) 8327449, Fax (0251) 8328516, email: laksmita@ibriec.org (* Penulis untuk korespondensi)

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

ABSTRACT

This research was carried out to investigate the potential use of a selected exopolysaccharide-producing bacterium on aggregation as well as water retention of a sandy soil texture. Results obtained throughout this research indicate that fourier-transformed infrared spectroscopy (FTIR) analysis of exopolysaccharide B. cenocepacia KTG strain showed the presence of O-H (hydroxyl), C=O (carbonyl), CH, CH₃ (aliphatic), and β glucosidic linkages as the major hydrophilic functional group of the exopolysaccharide B. cenocepacia KTG strain, believed to be an important role in the sandy soil texture aggregation. Yield of dry mass of a-six-months old oil palm seedlings at main nursery was higher 1.9% (leaf), 10.5% (frond), 17.2% (stem), and 23.2% (root) by application of 75% standard dosage NPK-Mg and 100 gram of bio-ameliorant B. cenocepacia KTG strain as an active substance/seedling than those by 100% standard dosage of NPK-Mg fertilizer. The results also showed that the B. cenocepacia KTG strain treatment caused better available water up to 11.2 – 61.6%.

Keywords: aggregation, bio-ameliorant, *Burkholderia cenocepacia* KTG strain, oil palm seedlings, sandy soil texture

ABSTRAK

Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk mempelajari potensi *Burkholderia cenocepacia* strain KTG dalam agregasi dan retensi air pada bahan tanah tekstur berpasir. Analisis dengan menggunakan infra red spektrofotometer (FTIR) terhadap eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG menunjukkan keberadaan O-H (hidroksil), C=O (karbonil), -CH, CH₃ (alifatik), dan ikatan β glikosidik yang merupakan gugus fungsional utama dari eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG bersifat hidrofilik serta diyakini memegang peran penting dalam agregasi tanah tekstur berpasir. Bobot kering bibit kelapa sawit umur enam bulan di pembibitan utama dengan perlakuan 75% penggunaan NPKMg dari dosis standar kebun dan 100 gram bioamelioran *B. cenocepacia* strain KTG sebagai bahan aktif/bibit menghasilkan bobot kering 1,9% (daun), 10,5% (pelepah), 17,2 % (batang), dan 23,2% (akar) yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan 100% NPKMg dosis standar kebun. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa perlakuan dengan *B. cenocepacia* strain KTG di dalam bahan tanah yang mengandung 61.3% fraksi pasir dapat meningkatkan nilai air tersedia 11,2 – 61,6%.

PENDAHULUAN

Ketidakstabilan agregat pada jenis tanah tekstur berpasir merupakan faktor pembatas untuk pertumbuhan tanaman yang dicirikan dengan tidak adanya agregasi yang baik dari butir-butir tanah yang kasar. Butir-butir tanah lepas satu sama lain sehingga jumlah pori drainasenya tergolong tinggi dan kemampuan menahan air, nutrisi, dan memegang akar tanaman sangat rendah. Pada umumnya untuk mengupayakan peningkatan agregasi pada tanah teksstur 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 tinggi. Sementara itu, informasi mengenai potensi eksopolisakarida yang dihasilkan oleh bakteri dalam pembentukan agregat pada bahan tanah tekstur berpasir masih sangat terbatas.

Struktur fisik eksopolisakarida berupa kapsul sampai dengan dinding sel *slime* masif yang terbentuk di luar membran sel bakteri (Serrato *et al.* 2006). Sebanyak 5-16% populasi bakteri yang

PROSIDING

dapat dihitung dengan teknik penghitungan cawan dapat mensintesis eksopolisakarida. Pelekatan sel pada permukaan partikel tanah dan antar sel lainnya melalui suatu matrik kompleks yang terdiri atas beragam substansi polimer ekstraselular yaitu eksopolisakarida, protein dan DNA (Ramey *et al.* 2004). Makalah ini menyajikan: (i) karakteristik eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG, (ii) potensi *B. cenocepacia* strain KTG dalam agregasi bahan tanah tekstur berpasir dalam hubungannya dengan nilai air tersedia, dan (iii) efektivitas *B. cenocepacia* strain KTG dalam media bahan tanah tekstur berpasir sesuai dengan kondisi di lapang dengan bioindikator bibit kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Mikroorganisme

Burkholderia cenocepacia strain KTG merupakan bakteri potensial penghasil eksopolisakarida yang diisolasi dari rizosfer kelapa sawit di perkebunan kelapa sawit Kalimantan Tengah. Identifikasi bakteri dilakukan dengan sekuensing 16S rRNA. Bakteri ini toleran terhadap pH rendah (3-5).

Karakterisasi eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG

Penelitian mengenai peran eksopolisakarida di dalam tanah terutama difokuskan pada fungsinya sebagai bahan perekat untuk memantapkan agregat tanah (Oades 1989). Oleh karena itu, perlu diketahui karakteristik gugus fungsional eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG sehubungan dengan perannya dalam agregasi bahan tanah. Pada tahap awal, bakteri tersebut dikulturkan di dalam 50 ml medium cair ATCC no. 14 dengan 2% (b/v) sukrosa sebagai sumber karbon. Biakan *B. cenocepacia* strain KTG ini ditumbuhkan pada temperatur 28 °C di atas mesin pengocok dengan kecepatan 200 rpm selama 72 jam. Ekstraksi eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG dari medium pertumbuhan dilakukan dengan menggunakan metode Emtiazi (2004). Karakterisasi eksopolisakarida dilakukan melalui penetapan dengan *fourier-transformed infrared spectroscopy* (FTIR) yang dibaca pada bilangan gelombang 4000–400 cm⁻¹.

Pengaruh pemberian inokulan *B. cenocepacia* strain KTG terhadap air tersedia pada bahan tanah tekstur berpasir

Tiga jenis bahan tanah dengan fraksi pasir sekitar 20 [Rendah (FPR)], 60 [Sedang (FPS)], dan 80% [Tinggi (FPT)] masing-masing diambil di kedalaman 0-20 cm. Bahan tanah FPS dan FPT diambil dari tanah Typic Udipsamment di Kalimantan Tengah. Analisis bahan tanah meliputi: analisis fraksi pasir, N (metode Kjeldahl), P dan K (ekstrak HCl 25%), Mg (AAS), KTK (metode Bower-Soil Survey Staff, 1993), Al₂O₃ dan Fe₂O₃, pH tanah dalam suspensi air 1:2,5 (w/v) - pH meter, dan C-organik metode Walkley-Black (Eneje *et al.* 2007).

Ketiga jenis bahan tanah tersebut 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 sebanyak 10⁸-10⁹ CFU suspensi sel *B. cenocepacia* strain KTG diinokulasikan secara aseptik ke dalam masing-masing kantong berisi satu kg bahan tanah steril tersebut. Inkubasi dilakukan pada temperatur 28°C selama 30, 60, dan 90 hari dalam kondisi statis. Sebagai pembanding digunakan bahan tanah tanpa inokulan. Peubah yang diamati pada setiap akhir inkubasi adalah air tersedia (Bhardwaj *et al.* 2007). Untuk mengetahui fisik eksopolisakarida dan interaksinya pada bahan tanah berpasir dilakukan pengamatan dengan *scanning electron microscope* (SEM).

Uji keefektifan bakteri penghasil eksopolisakarida dalam media bahan tanah tekstur berpasir dan vegetatif bibit kelapa sawit sesuai dengan kondisi di lapang di Kalimantan Tengah

Uji keefektifan dilakukan di pembibitan utama (*main nursery*) PT Astra Agro Lestari, Tbk. Penelitian disusun dalam rancangan acak kelompok (RAK) dengan sembilan perlakuan dan empat ulangan. Sebanyak 10 bibit kelapa sawit digunakan untuk setiap perlakuan, sehingga jumlah total bibit kelapa sawit yang digunakan dalam penelitian ini = 9 perlakuan x 4 ulangan x 10 bibit = 360 bibit. Bahan tanah untuk media bibit kelapa sawit adalah bahan tanah dengan kadar fraksi pasir sedang (FPS) jenis Typic Udipsamment dengan karakteristik tercantum dalam Tabel 1.

PROSIDING

Tabel 1 Analisis bahan tanah media pertumbuhan bibit kelapa sawit di pembibitan utama

Asal bahan tanah	Fraksi tanah (%)			Kerapatan lindak	Air tersedia	Daya hantar listrik	C-organik
	pasir	debu	liat	(g/cc)	(%)	(dS/m)	(%)
	61,3	22,9	15,8	1,11	13,8	0,019	1,6
	N			P ₂ O ₅	K ₂ O		MgO
F11-GSDI	-----%						
	0,12			0,004	0,001		0,004

Kecambah kelapa sawit jenis Dura x Pisifera (DxP) terlebih dahulu ditumbuhkan dalam media persemaian di *pre nursery*. Setelah disemaikan selama tiga bulan, bibit kelapa sawit dipilih untuk memperoleh bahan tanaman yang seragam. Bibit kelapa sawit selanjutnya ditanam dalam kantong plastik ukuran 40 x 60 cm berisi 20 kg bahan tanah yang telah disiapkan seperti tersebut di atas. BPE terpilih digunakan sebagai bahan aktif bioamelioran yang dikemas dalam bentuk butiran berdiameter 2-3 mm. Pada saat umur bibit 6 bulan dilakukan penetapan: (i) berat kering daun, (ii) pelepah, (iii) batang, (iv) akar, dan (v) kapasitas menahan air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG

Pada umumnya bakteri penghasil eksopolisakarida akan tumbuh baik di dalam medium dengan sumber karbon yang mudah dioksidasi. Eksopolisakarida dapat diperoleh secara optimum pada pH 7, temperatur 30-37°C dengan menggunakan sukrosa atau glukosa sebagai sumber karbon (Sutherland 2001; Iqbal *et al.* 2002; Duta *et al.* 2004; Bueno & Garcia-Cruz 2006; Santi *et al.* 2008; Santi *et al.* 2010). Jumlah dan komposisi eksopolisakarida ini sangat bervariasi tergantung pada genus, spesies, dan lingkungan pertumbuhan bakteri yang bersangkutan. Sumber karbon di dalam media tumbuh selain dapat berfungsi sebagai komponen pembentukan sel dapat pula berfungsi sebagai sumber energi yang diperlukan untuk sintesis dan ekskresi eksopolisakarida. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa eksopolisakarida yang dihasilkan *B. cenocepacia* strain KTG di dalam medium ATCC no. 14 dengan sumber karbon sukrosa memiliki dominasi gugus fungsional utama atas dasar kekuatan pita absorpsi pada bilangan gelombang 3383 cm⁻¹, 2926 cm⁻¹, 1649 cm⁻¹, dan 1115-993 cm⁻¹. Kisaran absorpsi tersebut masing-masing menandakan gugus -O-H (hidroksil); C-H, CH₃ (alifatik); -C=O (karbonil); dan C-C, C-OH, C-O-C (ikatan glikosidik). Gugus hidrofilik diyakini memegang peran penting dalam agregasi tanah tekstur berpasir. Selanjutnya Emnova *et al.* (2006) menyatakan bahwa adsorpsi polisakarida oleh liat tergantung pada konformasi dan konfigurasi molekul, khususnya ikatan β-glikosidik. Ikatan ini memberikan konformasi untuk hubungan terdekat antara eksopolisakarida dan permukaan liat.

Pengaruh pemberian inokulan bakteri penghasil eksopolisakarida terhadap agregasi bahan tanah tekstur berpasir dan air tersedia

Bahan tanah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas bahan tanah dengan kandungan fraksi pasir (FP) sekitar 20 (FPR), 60 (FPS), dan 80% (FPT). Hasil analisis fraksi pasir disajikan pada Tabel 2.

Hasil analisis terhadap bahan tanah tekstur berpasir (Lempung berpasir dan Pasir berlembung) yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kapasitas tukar kation, N, P, dan Mg, serta aluminium dan besi oksida rendah. Kadar C-organik bahan tanah tersebut juga tergolong sangat rendah (Tabel 3). Bahan tanah dengan kadar fraksi pasir 59.8- 86.5% ini tidak memiliki struktur sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada agregasi di dalam bahan tanah ini.

Tabel 2 Analisis fraksi pasir, debu, dan liat yang digunakan untuk studi interaksi bakteri penghasil eksopolisakarida

Fraksi pasir	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)	Kelas Tekstur	Jenis Tanah ^{*)}	Indeks Kemantapan Agregat
Rendah (R)	21,37	32,85	45,78	Liat (clay)	Typic Epiaquept	110
Sedang (S)	59,80	35,20	5,00	Lempung berpasir (sandy loam)	Typic Udipsamment	68
Tinggi (T)	86,50	12,44	1,06	Pasir berlempung (loamy sand)	Typic Udipsamment	Tidak terdeteksi

Tabel 3. Analisis kimia fraksi pasir bahan tanah asal Kalimantan Tengah

Fraksi Pasir	N (ppm)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)	MgO (ppm)	KTK (me/100g)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	pH	C-organik (%)
Rendah	2 170	380	10	6	9,03	2,100	0,500	4,65	2,67
Sedang	1 260	180	10	5	3,83	0,70	0,100	4,08	1,65
Tinggi	1 260	180	10	3	2,08	0,013	0,010	4,39	0,83

Tabel 4 Air tersedia pada FPR, FPS, dan FPT yang diinokulasi *B. cenocepacia* strain KTG dengan masa inkubasi 30,60, dan 90 hari

Perlakuan	Air tersedia (% volume) ^{**)}		
	30 hari	60 hari	90 hari
Fraksi Pasir Rendah (FPR)	5,8 b ^{*)}	11,1 a	4,9 b
FPR + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> strain KTG	6,4 ab	11,9 a	5,7 b
FPR + 10 ⁹ CFU <i>B. cenocepacia</i> strain KTG	7,8 a	11,7 a	9,0 a
Fraksi Pasir Sedang (FPS)	6,2 a	5,9 c	3,5 b
FPS + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> strain KTG	6,9 a	13,2 a	7,3 a
FPS + 10 ⁹ CFU <i>B. cenocepacia</i> strain KTG	6,5 a	12,8 b	6,0 ab
Fraksi Pasir Tinggi (FPT)	4,5 b	6,3 c	6,5 ab
FPT + 10 ⁸ CFU <i>B. cenocepacia</i> strain KTG	5,8 a	8,3 a	7,4 a
FPT + 10 ⁹ CFU <i>B. cenocepacia</i> strain KTG	5,8 a	7,1 b	6,3 b

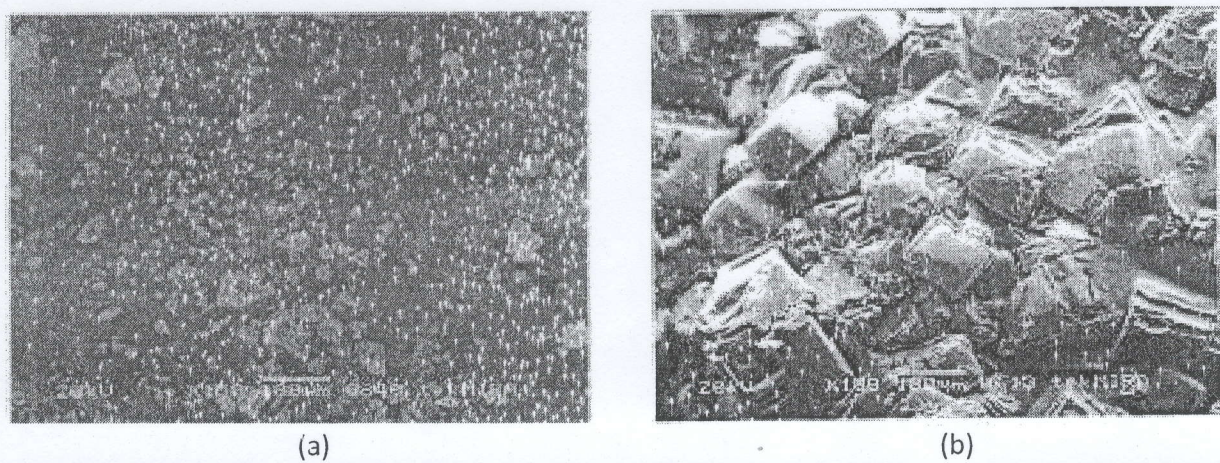
*) Angka dalam kolom yang sama yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan (P>0,05).

**) Nilai pori air tersedia : < 5 = sangat rendah; 5-10 = rendah; 10-15 = sedang; 15-20 tinggi; > 20 = sangat tinggi (Kurnia *et al.* 2006).

Peubah yang diamati terhadap peran bakteri penghasil eksopolisakarida dalam agregasi bahan tanah tekstur berpasir di dalam kondisi *artificial* adalah air tersedia yang terdapat pada bahan tanah uji seperti yang disajikan pada Tabel 4. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada masa inkubasi 30 hari, nilai air tersedia pada FPR dan FPT lebih tinggi dengan pemberian 10⁸-10⁹ CFU *B. cenocepacia* strain KTG. Selanjutnya untuk masa inkubasi 60 dan 90 hari, pemberian 10⁸ CFU inokulan *B. cenocepacia* strain KTG berpengaruh nyata terhadap nilai air tersedia di dalam FPS dan FPT jika dibandingkan terhadap perlakuan kontrol (tanpa inokulan). Inokulasi *B. cenocepacia* strain KTG pada FPS memberikan pengaruh yang lebih nyata terhadap air tersedia jika dibandingkan dengan inokulasi dalam FPR. Jumlah air tersedia sangat erat hubungannya dengan pembentukan mikroagregat. Berdasarkan hal tersebut dapat dijelaskan bahwa di dalam FPR, selain peran eksopolisakarida bakteri, pembentukan mikroagregat dapat diperantarai oleh bahan organik yang kadarnya di dalam FPR cukup tinggi (2,67%) jika dibandingkan di dalam FPS (1,65%). Sementara itu, pembentukan mikroagregat dalam FPS sebagian besar karena peran eksopolisakarida asal *B. cenocepacia* strain KTG yang diinokulasikan ke dalam FPS tersebut. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa peran eksopolisakarida dalam agregasi akan terlihat lebih nyata di dalam bahan tanah apabila agens lainnya yang mempengaruhi agregasi terutama bahan organik, kadar liat, dan kation dalam jumlah yang rendah.

Jumlah air tersedia pada FPR, FPS, dan FPT secara umum mengalami peningkatan pada masa inkubasi hari ke-60 dan menurun pada hari ke-90. Sejalan dengan lama waktu inkubasi dan dalam kondisi tanpa penambahan nutrisi dari lingkungan luar, maka akan terjadi penurunan aktivitas bakteri penghasil eksopolisakarida. Ketidakstabilan agregat akan terjadi kembali jika jumlah agens pengikat dalam hal ini eksopolisakarida juga menurun. Ketidakstabilan agregat terutama yang terkait dengan mikroagregat akan berpengaruh terhadap jumlah air tersedia.

Pembentukan koloni bakteri yang melapisi butir partikel primer memiliki pengaruh penting di dalam struktur tanah. Bentuk eksopolisakarida bakteri *B. cenocepacia* strain KTG yang menyerupai perekat dapat dilihat melalui *scanning electron microscope* (Gambar 1).



Gambar 1 Fraksi pasir sedang (FPS) tanpa inokulasi *B. cenocepacia* strain KTG [(a) perbesaran 150x] dan dengan inokulasi *B. cenocepacia* strain KTG [(b), perbesaran 150x].

Tabel 5 Bobot kering bibit kelapa sawit umur 6 bulan (*main nursery*) di dalam media bahan tanah fraksi pasir 61,3%

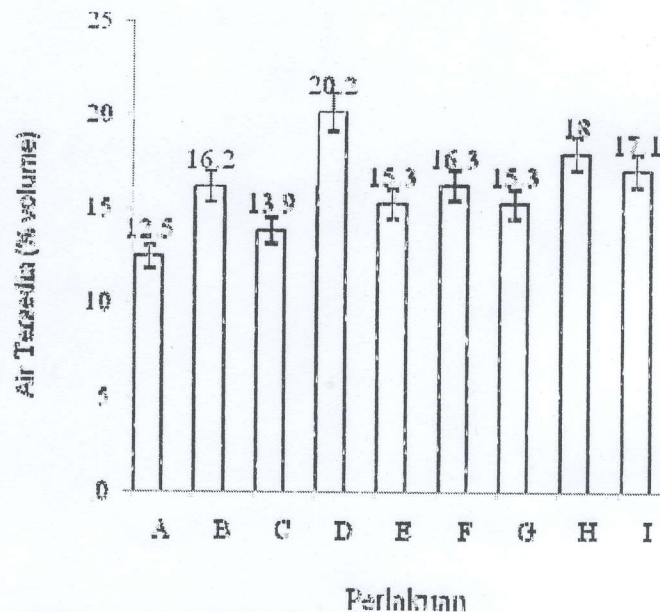
Perlakuan	Daun	Daun ke-3	Pelepah	Pelepah ke-3	Batang	Akar	Bobot kering Total	%Total thd konv.
(A)100% pupuk NPK-Mg dosis standar	104,9 a	8,6 a	68,8 ab	4,7 ab	92,1 a	26,3 a	305,4 ab	100
(B) 100 g bioamelioran + 100% (NPK-Mg)	104,2 a	8,2 a	78,4 a	4,4 ab	107,9 a	27,0 a	330,1 a	108,1
(C) 100 g bioamelioran + 75% (NPK-Mg)	106,9 a	7,9 a	76,0 a	5,1 a	107,9 a	32,4 a	336,2 a	110,1
(D)100 g bioamelioran + 50% (NPK-Mg)	82,9 b	7,6 a	60,5 b	4,2 b	84,5 a	31,5 a	271,0 b	88,7
(E) 50 g bioamelioran + 100% (NPK-Mg)	94,2 ab	7,8 a	76,7 a	4,5 ab	96,1 a	26,0 a	305,3 ab	99,9
(F) 50 g bioamelioran + 75% (NPK-Mg)	101,3 a	7,7 a	76,3 a	4,7 ab	93,8 a	25,8 a	310,3 ab	101,6
(G) 50 g bioamelioran + 50% (NPK-Mg)	94,1 ab	6,5 b	62,9 b	4,0 b	91,4 a	26,6 a	285,4 b	93,5
(H) 100g bioamelioran	40,2 c	3,5 c	31,3 c	2,2 c	37,4 b	16,0 b	130,5 c	42,7
(I) 50 g bioamelioran	38,1 c	3,3 c	30,9 c	1,8 c	43,5 b	16,5 b	134,0 c	43,9
Koefisien keragaman (%)	13,2	9,9	13,2	13,7	18,9	23,5	9,6	

*) Angka dalam kolom yang sama yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak ganda Duncan ($P>0.05$).

Uji keefektifan bakteri penghasil eksopolisakarida dalam media bahan tanah tekstur berpasir dan vegetatif bibit kelapa sawit sesuai dengan kondisi di lapang

Perlakuan aplikasi pupuk di dalam media tanah dengan kadar fraksi pasir 61,3% (FPS) sampai bulan ke-6 pengamatan di pembibitan utama menunjukkan bahwa pengurangan dosis pupuk NPK-Mg sampai dengan 25% yang dikombinasikan dengan 100 g bioamelioran berbahan aktif *B. cenocepacia* strain KTG/pokok menghasilkan bobot kering daun, pelepah, batang, dan akar rata-rata lebih tinggi

1,9% (daun), 9,5% (pelepah), 14,6% (batang), dan 18,8% (akar) jika dibandingkan dengan perlakuan 100% dosis pupuk NPK-Mg anjuran kebun (Tabel 5). Hasil percobaan di lapang juga menunjukkan bahwa di dalam media FPS yang diberi perlakuan bioamelioran berbahan aktif *B. cenocepacia* strain KTG (B-I), jumlah air tersedia rata-rata lebih tinggi apabila dibandingkan dengan perlakuan tanpa pemberian bioamelioran (A) (Gambar 3).



Gambar 3 Perbandingan perlakuan tanpa bioamelioran (perlakuan A) dan pemberian bioamelioran *B. cenocepacia* strain KTG (perlakuan B-I) terhadap air tersedia pada bahan tanah berkadar pasir 61,3%.

KESIMPULAN

Burkholderia cenocepacia strain KTG memiliki kemampuan dalam memantapkan agregasi bahan tanah tekstur berpasir dengan dominasi fraksi pasir 59,8% atas dasar nilai air tersedia dalam kondisi *artificial*. Beberapa jenis gugus fungsional hidrofilik yang terdapat di dalam eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG membantu perekatan permukaan butiran pasir dan pemerantara pembentukan makro dan mikroagregat. Nilai air tersedia pada bahan tanah FPS dan FPT yang diinokulasi *B. cenocepacia* strain KTG dengan masa inkubasi 60 dan 90 hari nyata lebih tinggi jika dibandingkan perlakuan kontrol.

Potensi *B. cenocepacia* strain KTG sebagai agens hayati pembentuk agregat FPS pada kondisi lapang di Kalimantan Tengah dapat dilihat melalui peningkatan bobot kering bibit kelapa sawit dan nilai air tersedia dalam FPS yang diberi *B. cenocepacia* strain KTG terhadap perlakuan 100% dosis pupuk NPK-Mg tanpa inokulan.

SARAN

Pengujian lebih lanjut diperlukan sebagai upaya penerapan aplikasi pada skala yang lebih luas di lapang pada tanah dengan dominasi fraksi pasir serta melalui tahapan uji laboratorium dan klinis lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Manajemen PT Astra Agro Lestari, Tbk atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan kegiatan penelitian di lingkup kebun PT Astra Agro Lestari, Tbk.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhardwaj AK, Shainberg I, Goldstein D, Warrington DN, Levy GJ. 2007. Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamides in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **71**(2), 406-412.
- Bueno SM, Garcia-Cruz, CH. 2006. Optimization of polysaccharides production by bacteria isolated from soil. *Brazilian J. Microbiol.* **37**, 296-301.
- Duta FP *et al.* 2004. Effect of process parameters on production of a biopolymer by *Rhizobium* sp. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **114** (1), 639-652.
- Emtiazi G, Ethemadifar Z, Habibi MH. 2004. Production of extracellular polymer in *Azotobacter* and biosorption of metal by exopolymer. *African J. Biotechnol.* **3**(6), 330-333.
- Emnova E, Ciocarlan A, Caunova N. 2006. Exopolysaccharide synthesis by rhizospheric bacteria of *Pseudomonas* genus. *Ovidius University Annals of Chemistry.* **17**(2), 187-189.
- Eneje RC, Oguike PC, 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.
- Iqbal A, Bhatti HN, Nosheen S, Jamil A, Malik MA. 2002. Histochemical and physicochemical study of bacterial exopolysaccharides. *Biotechnol.* **1**(1), 28-33.
- Kurnia U, Agus F, Adimihardja A, Dariah A. 2006. Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian. 282 hal.
- Oades JM. 1989. An Introduction to organic matter in mineral soils. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds.) *Mineral in soil environments*. 2nd ed., Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America. Pp. 89-159.
- Ramey BE, Koutsoudis M, von Bodman SB, Fuqua C. 2004. Biofilm formation in plant-microbe associations. *Current Opinion in Microbiology.* **7**, 602-609.
- Santi LP, Ai Dariah, Goenadi DH. 2008. Peningkatan kemantapan agregat tanah mineral oleh bakteri penghasil eksopolisakarida. *Menara Perkebunan* **76** (2), 92-102.
- Santi LP, Sudarsono, Goenadi DH, Murti Laksono K, Santosa DA. 2010. Pengaruh pemberian inokulan *Burkholderia cepacia* dan bahan organik terhadap sifat fisik bahan tanah berpasir. *Menara Perkebunan* **78**(1), 1-16.
- Serrato RV *et al.* 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.
- Sutherland IW. 2001. Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. *Microbiol.* **147**, 3-9.