

Karakteristik gugus fungsional eksopolisakarida *Burkholderia cenocepacia* strain KTG dalam tiga kelas tekstur tanah

The characteristic of exopolysaccharide functional group of Burkholderia cenocepacia strain KTG in three soil texture classes

Laksmi Prima SANTI^{1*)}, SUDARSONO²⁾, Didiek Hadjar GOENADI¹⁾,
Kukuh MURTILAKSONO²⁾ & Dwi Andreas SANTOSA²⁾

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

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

Diterima tgl 18 April 2011/Disetujui tgl 10 Juli 2011

Abstract

This research was carried out to investigate the characteristics of exopolysaccharide functional groups of Burkholderia cenocepacia strain KTG originated from three different soil texture classes. This bacterium was isolated from rhizosphere of oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) and has a highly potential exopolysaccharides production (4.3-5.8 mg/mL) promoting soil aggregate formation. Fourier-transformed infrared spectroscopy (FTIR) was used for obtaining vibrational spectra of the exopolysaccharide. The bacterium was cultured in ATCC no.4 medium with a different source of carbon i.e. 2% (w/v) of sucrose, glucose, manitol, lactose, and 4-hydroxy-phenyl acetic acid as carbon sources respectively for initial characterization and then soil suspension of clay, sandy loam, and loamy sand. Analysis of the FTIR spectrum of the exopolysaccharide B. cenocepacia strain KTG both contain similar source of carbon in liquid ATCC no.14 medium and soil solution after 72 hours incubation showed intensive bands in the range of 3403-3400 cm⁻¹ and 1651-1636 cm⁻¹ corresponding to the stretching band of O-H (hydroxyl) and C=O (carbonyl) of exopolysaccharide. In the region 1135-993 cm⁻¹, exopolysaccharide of B. cenocepacia strain KTG exhibited the characteristic absorption at 1126 cm⁻¹ corresponding to the existence of α and β configurations.

[Key words : Soil aggregate, exopolysaccharide, soil texture B. cenocepacia]

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik gugus fungsional eksopolisakarida *Burkholderia cenocepacia* strain KTG di dalam tiga kelas tekstur tanah yang berbeda. Bakteri ini diisolasi dari rizosfer kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dan memiliki potensi menghasilkan eksopolisakarida dalam jumlah tinggi (4,3-5,8 mg/mL) untuk membentuk agregat tanah. Fourier-transformed infrared spectroscopy (FTIR) digunakan untuk memperoleh gambaran spektra dari eksopolisakarida. Sebagai tahap awal karakterisasi gugus fungsional, bakteri ditumbuhkan di dalam medium ATCC no.14 dengan 2 % (b/v) sumber karbon berbeda yaitu: sukrosa, glukosa, manitol, laktosa, dan 4-hydroxyphenyl acetic acid dan diuji pula dalam larutan bahan tanah berliat, lempung berpasir, dan pasir berlempung. Hasil

analisis dengan spektrum menunjukkan bahwa di dalam medium ATCC no.14 dengan jenis karbon berbeda ataupun di dalam larutan tanah setelah inkubasi 72 jam terlihat penyerapan pita yang intensif pada bilangan gelombang 3403-3400 cm⁻¹ dan 1651-1636 cm⁻¹ yang menandakan gugus hidroksil dan karbonil. Pada wilayah bilangan gelombang 1135-992.9 cm⁻¹, eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG menunjukkan penyerapan spesifik pada bilangan gelombang 1126 cm⁻¹ yang menandakan konfigurasi ikatan α dan β .

[Kata kunci: Agregat tanah, eksopolisakarida, struktur tanah *B. cenocepacia*]

Pendahuluan

Di dalam tanah, bakteri menghasilkan eksopolisakarida untuk melindungi sel dari kekeringan atau menempel pada suatu substrat untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya. Eksopolisakarida bakteri banyak dijumpai di sekeliling struktur luar sel serta berhubungan erat dengan bentuk kapsul sel bakteri atau yang diekskresikan ke medium pertumbuhan dalam bentuk *slime* (Tallgren *et al.*, 1999). Eksopolisakarida merupakan polimer dengan bobot molekul tinggi yang tersusun dari monosakarida dan beberapa bahan non karbohidrat seperti asetat, piruvat, suksinat, dan fosfat (Duta *et al.*, 2004).

Struktur dan komposisi eksopolisakarida yang dihasilkan oleh bakteri tergantung pada faktor lingkungan seperti medium, sumber karbon dan nitrogen, sistem fisiologi bakteri (aerobik atau anaerobik), dan kondisi fermentasi (pH, suhu, konsentrasi oksigen). Pada umumnya eksopolisakarida dapat diperoleh secara optimum pada pH 7, suhu 30-37°C dengan menggunakan sukrosa atau glukosa sebagai sumber karbon (Sutherland, 2001; Duta *et al.*, 2004; Bueno & Garcia-Cruz, 2006).

Bronick & Lal (2005) mengatakan bahwa adsorpsi eksopolisakarida oleh liat tergantung pada konformasi dan konfigurasi molekul, khususnya ikatan β -glikosidik. Ikatan ini memberikan konformasi untuk

*) Penulis korespondensi: laksmi_69@yahoo.co.id

hubungan tertutup atau terdekat antara eksopolisakarida dengan permukaan liat. Penelitian mengenai peran eksopolisakarida bakteri di dalam tanah terutama difokuskan pada fungsinya sebagai pemantap mikroagregat tanah (Hattori, 1988). Selanjutnya Ramey *et al.* (2004) menyebutkan sebanyak 5-16% populasi bakteri yang 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 ekstra selular yaitu eksopolisakarida, protein dan DNA.

Dalam satu tahapan penelitian yang dilakukan, bakteri potensial penghasil eksopolisakarida asal Kalimantan Tengah telah berhasil diisolasi. Bakteri ini diisolasi dari rizosfer kelapa sawit TM dengan kedalaman pengambilan sampling tanah 0-20 cm. Identifikasi bakteri dilakukan dengan sekuensing 16S rRNA. Hasil identifikasi sekuensing tersebut menyatakan sebagai *B. cenocepacia* strain KTG. *B. cenocepacia* strain KTG dapat meningkatkan kemantapan agregat bahan tanah tekstur berpasir dan toleran terhadap pH rendah (3-5) (Santi *et al.*, 2010).

Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan, diduga bahwa adanya gugus fungsional eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG, khususnya yang bersifat hidrofilik diyakini berperan dalam meningkatkan agregasi pada tiga kelas tekstur tanah yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi gugus fungsional eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG dalam tanah tekstur berliat, lempung berpasir, dan pasir berlempung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai landasan untuk mengetahui mekanisme pembentukan agregat tanah oleh eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG.

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. Biakan *B. cenocepacia* strain KTG dipelihara pada suhu 4°C di dalam agar miring berisi medium ATCC no.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 bacto agar dengan pH 7,2. Biakan ini merupakan koleksi Laboratorium Mikrobiologi dan Lingkungan, Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia.

Karakterisasi eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG

Untuk pengujian karakterisasi gugus fungsional, *B. cenocepacia* strain KTG ditumbuhkan di dalam

medium ATCC no. 14 pada suhu 28°C di atas mesin pengocok dengan kecepatan 200 rpm selama 72 jam. Untuk melihat keragaman gugus fungsional eksopolisakarida, *B. cenocepacia* strain KTG ditumbuhkan di lima sumber karbon yang berbeda yaitu: (i) sukrosa, (ii) glukosa, (iii) manitol, (iv) laktosa, dan 4-hydroxyphenyl acetic acid (4-HAA) dengan konsentrasi masing-masing 2% (b/v) (Moreno *et al.*, 1999; Serrato *et al.*, 2006). Perlakuan tersebut dilakukan dengan tiga ulangan. Pada akhir inkubasi, sel dipanen dengan menggunakan metode Emtiazi *et al.* (2004) dan selanjutnya dikarakterisasi dengan *fourier transform infrared* (FTIR). Analisis FTIR dilakukan di Laboratorium Biofarmaka, Institut Pertanian Bogor.

Karakterisasi eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG dalam agregat tanah

Bahan tanah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga contoh tanah dengan kelas tekstur yang berbeda. Karakteristik masing-masing contoh tanah yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Bakteri ditumbuhkan di dalam 50 mL medium ATCC no. 14, masing-masing mengandung 10 g bahan tanah steril dengan spesifikasi seperti tercantum pada Tabel 1 tersebut di atas. Inkubasi dilakukan pada suhu 28°C selama 72 jam di atas mesin pengocok 200 rpm. Pada akhir inkubasi akan teramati bentuk agregasi pada bahan tanah. Sementara itu, sel dipanen dengan cara menambahkan 1 mM EDTA sebanyak 500 µL, kemudian dikocok sampai homogen lalu disentrifus dengan kecepatan 9000 g selama 10 menit. Supernatan bakteri yang telah terpisah dari endapan sel diambil, ditambah dengan larutan aseton dingin dengan perbandingan 1:3. Selanjutnya dilakukan sentrifus kembali dengan kecepatan 15.000 g selama dua kali 30 menit. Endapan biomassa berupa eksopolisakarida selanjutnya dicuci dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam atau sampai diperoleh bobot kering yang tetap (Emtiazi *et al.*, 2004; El-Tayeb & Khodair, 2007).

Analisis gugus fungsional eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG dengan *fourier transform infrared* (FTIR)

Karakterisasi gugus fungsional eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG dilakukan dengan FTIR. Pellet yang digunakan untuk analisis infra red diperoleh dengan cara menghaluskan 2 mg eksopolisakarida yang sudah dicampur dengan 200 mg kalium bromida (KBr) kering, selanjutnya campuran ditekan sampai membentuk lingkaran tipis dengan diameter 16 mm. Spektrum FTIR ditetapkan dan dibaca dengan alat Bruker Tensor 27 (Bruker SA, Wissembourg, France) pada bilangan gelombang 4000–400 cm⁻¹. Pembacaan spektrum yang muncul ditampilkan melalui Hewlett Packard (Houston, TX, USA).

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG dalam sumber karbon yang berbeda

Beberapa bakteri mengekskresikan eksopolisakarida di sekitar lingkungan pertumbuhannya. Jumlah dan komposisi eksopolisakarida ini sangat bervariasi tergantung pada genus dan spesies bakteri. Dalam beberapa kasus tergantung pula pada kondisi lingkungan pertumbuhan bakteri yang bersangkutan. Bakteri sangat membutuhkan energi dan sumber karbon untuk menghasilkan eksopolisakarida. Oleh karena itu, adanya 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. Beberapa medium spesifik dengan jenis sumber karbon yang berbeda digunakan untuk optimalisasi produksi eksopolisakarida.

Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Santi *et al.* (2008 & 2010) menunjukkan bahwa sukrosa dan *4-hydroxyphenyl acetic acid* (4-HAA) merupakan sumber karbon yang paling sesuai bagi *B. cenocepacia* strain KTG dan bakteri pemantap agregat lainnya untuk menghasilkan eksopolisakarida dalam jumlah tinggi. Dalam hal agregasi tanah, khususnya untuk tanah dengan tekstur berpasir, maka gugus fungsional yang bersifat polar (hidrofilik) diperlukan untuk proses pembentukan mikro agregat (Eynard *et al.*, 2006; Gryze *et al.*, 2006). Berdasarkan karakterisasi terhadap gugus fungsional yang dihasilkan dari perlakuan dalam penelitian ini diketahui ada perbedaan pada tampilan penyerapan pita bilangan gelombang FTIR dari eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG yang ditumbuhkan di dalam medium ATCC no. 14 dengan sumber karbon berbeda (Gambar 1). Namun eksopolisakarida yang dihasilkan *B. cenocepacia* strain KTG di dalam medium ATCC

no. 14 dengan lima jenis sumber karbon yang digunakan dalam pengujian ini memiliki dominasi gugus fungsional utama pada bilangan gelombang 3397-3383 cm^{-1} , 2933-2924 cm^{-1} , 1651-1648 cm^{-1} , dan 1115-1068 cm^{-1} . Kisaran absorpsi tersebut masing-masing menandakan gugus O-H (hidroksil); C-H, CH_3 (alifatik); C=O (karbonil); dan C-C, C-OH, C-O-C (penciri ikatan glikosidik).

Karakterisasi eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG dalam agregat tanah

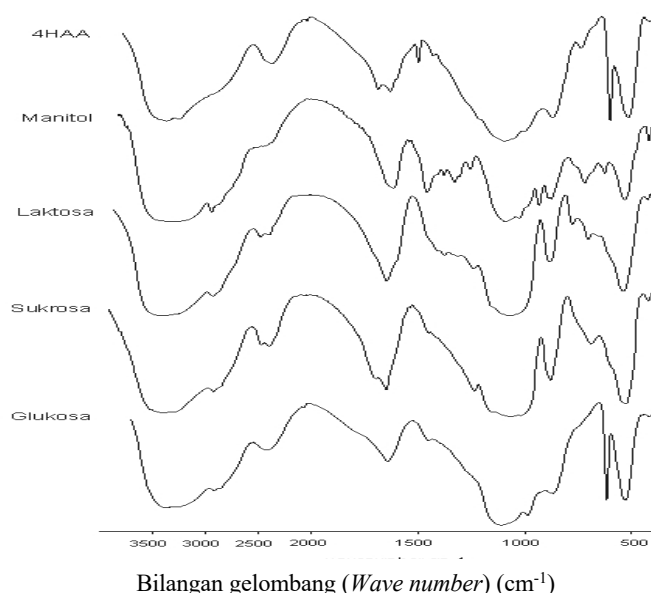
Karakterisasi gugus fungsional eksopolisakarida melalui analisis FTIR juga dilakukan terhadap *B. cenocepacia* strain KTG yang ditumbuhkan di dalam medium ATCC no.14 dengan penambahan FPR, FPS, dan FPT (Tabel 2). Berdasarkan hasil yang disajikan diketahui bahwa eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG yang ditumbuhkan dalam medium ATCC no.14 dengan penambahan FPS dan FPT memiliki kesamaan dalam hal bilangan gelombang yang dihasilkan. Apabila eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG yang dihasilkan dalam FPS dan FPT dibandingkan dengan yang dihasilkan dalam FPR, perbedaan dalam FPR terdapat pada bilangan gelombang 3396 cm^{-1} yang menandakan ikatan OH dan N-H.

Berdasarkan analisis FTIR diketahui bahwa gugus fungsional utama eksopolisakarida yang dihasilkan oleh *B. cenocepacia* strain KTG terdiri atas -OH, -CH, -C=C, dan C-O-C. Gugus fungsional tersebut ada yang bersifat polar (hidrofilik) dan ada pula yang bersifat nonpolar (hidrofobik). Puncak 3406 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan ikatan hidrogen gugus OH dan OH bebas. Gugus tersebut membawa sifat hidrofilik pada eksopolisakarida. Selain itu sifat hidrofilik juga dibawa oleh gugus C-H, pada puncak 2927 cm^{-1} , absorpsi lemah pada puncak 2365 cm^{-1} yang menandakan ada hidrogen dalam bentuk ikatan -OH di dalam rangkaian eksopolisakarida ini dan -C=O

Tabel 1. Hasil analisis tekstur tanah (kandungan pasir, debu, dan liat), jenis tanah dan indeks kemantapan agregat.
Table 1. The analyses results of soil texture (sand, silt, and clay contents), soil types, and aggregate stability index.

Fraksi pasir <i>Sand fraction</i>	Pasir <i>Sand (%)</i>	Debu <i>Silt (%)</i>	Liat <i>Clay (%)</i>	Kelas Tekstur <i>Texture class</i>	Jenis Tanah*) <i>Soil Types</i>	Indeks Kemantapan Agregat <i>Aggregate stability Index</i>
Rendah (FPR) <i>Low</i>	21,37	32,85	45,78	Liat <i>clay</i>	Typic Epiaquept	110
Sedang (FPS) <i>medium</i>	59,80	35,20	5,00	Lempung berpasir <i>sandy loam</i>	Typic Udipsamment	68
Tinggi (FPT) <i>high</i>	86,50	12,44	1,06	Pasir berlempung <i>loamy sand</i>	Typic Udipsamment	Tidak terdeteksi (<i>nd</i>)

*) Diambil dari satu perkebunan kelapa sawit swasta di Kabupaten Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah
Taken from a private oil palm plantation at Kotawaringin Barat district, Central Kalimantan



Gambar 1. Spektrum infra red gugus fungsional utama eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG yang ditumbuhkan dalam medium ATCC no. 14 dengan 2% (b/v) sumber karbon glukosa, sukrosa, laktosa, manitol, dan 4-hydroxyphenyl acetic acid (4-HAA).

Figure 1. The infra red spectra of exopolysaccharide *B. cenocepacia* strain KTG cultured in ATCC no.14 medium with 2% (w/v) of glucose, sucrose, lactose, mannitol, and 4-hydroxyphenyl acetic acid (4-HAA) as carbon sources.

Keterangan Gambar : Deskripsi bilangan gelombang dan jenis gugus fungsional
The description of wave number and functional group type

Jenis karbon Carbon types	Bilangan gelombang Wave number (cm ⁻¹) ^{*)}	Gugus fungsional Functional Group	Jenis karbon Carbon types	Bilangan gelombang Wave number (cm ⁻¹)	Gugus fungsional Functional Group
4-HAA	3397	-O-H dan N-H	Sukrosa	3383	-OH
	2409	-OH		2926.3	-CH, CH ₃
	1650.9	-C=O		2427.7	-OH
	1447	-C-H		1649.2	-C=O
	1135	-C-C, C-OH, C-O-C		1456	-CC-H ₃
			1115-992.9	C-C, C-OH, C-O-C	
Manitol	3276	-O-H dan N-H	Glukosa	3395.9	-OH
	2933.6	-C-H		2924.8	-CH, CH ₃
	1615.7	-C=C dan COO ⁻		2479-2402	-OH
	1457	-CC-H ₃		1651.9	-C=O
	1377	-COOH		1541	-N-H, C=N
	1253	Aromatik C-O	1454	-C-H	
			1239.7	C-O, C-OH	
Laktosa	3397.8	-O-H dan N-H			
	2425.3-2482	-OH			
	1648.8	-C=O			
	1378	-COOH			
	1072-883	-O-CH ₃			

^{*)} Bilangan gelombang tersebut merupakan pola umum dari tiga ulangan spektrum FTIR.
The wave number are common pattern of three replicates FTIR spectra.

Tabel 2. Penetapan gugus fungsional eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG yang ditumbuhkan dalam medium ATCC no. 14 yang mengandung FPR, FPS, dan FPTTable 2. Determination of exopolysaccharide functional group of *B. cenocepacia* strain KTG in ATCC no.14 medium with LSF, MSF, and HSF contents.

Fraksi pasir <i>Sand fraction</i>	Bilangan gelombang (cm ⁻¹) <i>Wave number (cm⁻¹)</i>	Gugus fungsional <i>Functional group</i>
FPR <i>LSF</i>	3396	-OH
	2939	C-H
	1638	C=O
	1403	COO ⁻ antisimetrik
	1128	C-C, C-OH, C-O-C
FPS <i>MSF</i>	3403	O-H dan N-H
	2935	C-H
	1636	C=O
	1400	COO ⁻ antisimetrik
	1126	C-C, C-OH, C-O-C
FPT <i>HSF</i>	3400	O-H dan N-H
	2937	C-H
	1637	C=O
	1406	COO ⁻ antisimetrik
	1126	C-C, C-OH, C-O-C

(karbonil) pada puncak 1630 cm⁻¹. Puncak 1058 cm⁻¹ yang terdapat di antara bilangan gelombang 1170-950 cm⁻¹ menandakan ikatan glikosidik. Selanjutnya Emnova *et al.* (2006) menyatakan bahwa adsorpsi eksopolisakarida oleh liat tergantung pada konformasi dan konfigurasi molekul, khususnya ikatan β-glikosidik. Ikatan ini memberikan konformasi untuk hubungan terdekat antara eksopolisakarida dan permukaan liat.

Menurut Chenu & Stotzky (2002), interaksi antara bakteri dan partikel tanah dikelompokkan dalam mekanisme secara biologi, fisik dan fisik-kimia. Interaksi secara biologi terjadi melalui pertumbuhan dan perbanyakan sel serta ekskresi senyawa organik seperti enzim dan biopolimer lainnya. Sementara interaksi secara fisik berhubungan dengan geometri dan kohesi matrik tanah seperti distribusi ukuran pori, retensi air, kemandapan agregat, dan sifat mekanik tanah. Oleh karena itu interaksi secara fisik sangat tergantung pada ukuran, bentuk, penyusunan dari partikel-partikel tanah. Interaksi secara fisik kimia terjadi dalam larutan tanah yang meliputi penyerapan, pelarutan, hidrolisis, oksidasi, dan kondisi pH tanah. Karakteristik permukaan partikel tanah yang menentukan dalam interaksi secara fisik-kimia dapat ditinjau dari area permukaan, muatan elektrostatis, dan gugus fungsional.

Dalam hal agregasi tanah khususnya untuk tanah berpasir, maka fungsi gugus fungsional yang bersifat polar (hidrofilik) diperlukan untuk proses pembentukan agregat pada mikroagregat. Pembentukan agregat di dalam mikroagregat dapat mengoptimalkan jumlah air yang tersedia bagi tanaman (Chenu & Stotzky, 2002). Lebih lanjut Gryze *et al.* (2006) menyatakan

bahwa gugus yang terdapat pada eksopolisakarida memiliki fungsi ganda terhadap struktur tanah. Gugus hidrofilik akan meningkatkan stabilitas tanah melalui pengikatan inter partikel, sementara yang bersifat hidrofobik (fraksi alifatik) dapat membentuk penyelubungan pada dinding pori tanah. Penyelubungan ini meningkatkan pelekatan pada sistem pori tanah sehingga mengurangi pengaruh pemecahan agregat tanah (karena dispersi) menjadi ukuran yang lebih kecil. Penjelasan sederhana yang dapat menggambarkan peran gugus fungsional dalam kemandapan agregat tanah adalah mekanisme kemandapan agregat yang dibangun oleh sifat ampifilik molekul bahan organik, dimana inter partikel saling berhubungan satu sama lain melalui ikatan partikel mineral-senyawa hidrofilik dan hidrofobik dari bahan organik tanah+hidrofobik-hidrofilik bahan organik tanah-partikel mineral.

Kesimpulan

Eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG memiliki pola yang konsisten dalam hal karakter gugus fungsional di dalam tiga kelas tekstur tanah yang berbeda [FPR (liat), FPS (lempung berpasir), dan FPT (pasir berlempung)]. Gugus fungsional utama eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG adalah gugus O-H (hidroksil), -C-H, C-H₃ (alifatik), -C=O (karbonil), dan penciri ikatan glikosidik yaitu C-C, C-OH, C-O-C. Gugus fungsional dominan bersifat hidrofilik: -OH, -CH, dan -C=O serta konfigurasi ikatan α dan β memungkinkan untuk perekatan dengan permukaan partikel tanah.

Saran

Melalui informasi karakteristik gugus fungsional eksopolisakarida yang diketahui dari hasil penelitian ini, maka pemahaman mekanisme agregasi tanah dengan agen perantara eksopolisakarida, khususnya eksopolisakarida *B. cenocepacia* strain KTG dapat diteliti lebih lanjut. Modifikasi medium dan lingkungan tumbuh *B. cenocepacia* strain KTG dengan sumber karbon yang paling sesuai dalam menghasilkan gugus fungsional utama yang berperan dalam memantapkan agregat akan mengoptimalkan fungsi bakteri tersebut sebagai agen pemantap agregat tanah, khususnya untuk tanah dengan tingkat agregasi rendah. Dalam kondisi *artificial* di laboratorium, peran bakteri pemantap agregat terhadap perbaikan sifat fisik tanah dapat diamati melalui indikator nilai indeks kemandapan agregat dan kapasitas menahan air.

Daftar Pustaka

- Bronick CJ & R Lal (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3–22.
- Bueno SM & CH Garcia-cruz. (2006). Optimization of polysaccharides production by bacteria isolated from soil. *Brazilian J Microbiol* 37, 296-301.
- Chenu C & G Stotzky (2002). Interaction between microorganism and soil particle: An overview. In: Huang PM et al. eds. *IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry of Environmental Systems*. Chichester, England, John Wiley & Sons
- Duta FP, ACA Da Costa, LMDA Lopes, A Barros, EFC Servulo & FP de Franca (2004). Effect of process parameters on production of a biopolymer by *Rhizobium* sp. *Appl Biochem Biotechnol* 114 (1), 639-652.
- El-Tayeb TS & TA Khodair (2007). Production and purification of a bioemulsifier and flocculating agent produced by *Pseudomonas* sp. UBF 2. *J Appl Sci Res* 3(11), 1564-1570.
- Emnova E, A Ciocarlan & N Caunova (2006). Exopolysaccharide synthesis by rhizospheric bacteria of *Pseudomonas* genus. *Ovidius University Annals of Chemistry* 17(2), 187-189.
- 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.
- Eynard A, TE Schumacher, MJ Lindstrom, DD Malo & RA Kohl (2006). Effects of aggregate structure and organic C on wettability of Ustolls. *Soil & Till Res* 88, 205-216.
- Gryze SD, L Jassogne, H Bossuyt, J Six & R Merckx (2006). Water repellence and soil aggregate dynamics in a loamy grassland soil as affected by texture. *Eur J Soil Sci* 57, 235-246.
- Hattori T (1988). Soil aggregates in microhabitats of microorganisms. *Rep Inst Agric Res Tohoku Univ. Japan* 37, 23-36.
- 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(3), 439-445.
- Ramey BE, M Koutsoudis, SB von Bodman & C Fuqua (2004). Biofilm formation in plant-microbe associations. *Curr Opinion in Microbiol* 7, 602-609.
- Santi LP, A Dariah & DH Goenadi (2008). Peningkatan kemandapan agregat tanah mineral oleh bakteri penghasil eksopolisakarida. *Menara Perkebunan* 76 (2), 92-102.
- Santi LP, Sudarsono, DH Goenadi, K Murti Laksono & DA Santosa (2010). Pengaruh pemberian inokulan *Burkholderia cenocepacia* dan bahan organik terhadap sifat fisik bahan tanah tekstur berpasir. *Menara Perkebunan* 78(1), 8-16.
- Serrato RV, GL Sasaki, LM Cruz, FO Pedrosa, PAJ Gorin & M Iacomini (2006). Culture conditions for the production of an acidic exopolysaccharide by the nitrogen-fixing bacterium *Burkholderia tropica*. *Can J Microbiol* 52(5), 489-493.
- Sutherland IW (2001). Biofilm exopolysaccharides: a strong and sticky framework. *Microbiol* 147(1), 3-9
- Tallgren AH, U Airaksinen, R von Weissenberg, H Ojamo, J Kuusisto & M Leisola (1999). Exopolysaccharide-producing bacteria from sugar beets. *Appl Environ Microbiol* 65(2), 862-864.