

Peran Eksopolisakarida *Azotobacter* dan Bahan Organik untuk Meningkatkan Nodulasi dan Biomassa Kedelai pada Dua Ordo Tanah

Role of Azotobacter's Exopolysaccharide and Organic Matter on Increasing Nodulation and Biomass of Soybean Grown on Two Soil Order

Reginawanti Hindersah^{1*}, Neni Rostini¹, Arief Harsono², dan Agustinus Marthin Kalay³

¹Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor 45363, Indonesia

²Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi Litbang Pertanian Kementerian Pertanian

Jl. Raya Kendalpayak km 8, PO Box 66 Malang

³Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M Putuhena, Kampus Poka Ambon 97223

Diterima 20 September 2018/Disetujui 30 April 2019

ABSTRACT

*Exopolysaccharide (EPS) produced by nitrogen-fixing bacteria *Azotobacter* protect nitrogenase from oxygen. In legume, EPS plays a role in the immobilization of rhizobia to the roots. The objective of this experiment was to study the effect of EPS *Azotobacter* and organic matter on increasing number of nodules and biomass of soybeans grown in Inceptisols and Ultisols; as well as nitrogen-fixing bacteria population in soybean rhizosphere. The experiment was set up in a completely randomized block design with five replications to test combined treatments of two doses of crude EPS and organic matter. Nodule number, shoot dry weight and nitrogen uptake, as well as *Azotobacter* and *Rhizobium* population in soybean grown in Inceptisols following crude EPS and compost application, were higher than those grown in Ultisols. The application of EPS and compost in Ultisols did not affect the number of nodule and other traits, but in Inceptisols, adding 6.25 g of compost and 20 mL of EPS to each plant increased the number of nodules and shoot weight at 42 days after planting. However, the highest N uptake was demonstrated by soybean received 10 mL and 20 mL EPS along with 12.5 g compost.*

Keywords: Azotobacter, exopolysaccharide, nodule, soybean, shoot dry weight

ABSTRAK

*Eksopolisakarida (EPS) yang dihasilkan bakteri pemfiksasi nitrogen *Azotobacter* memproteksi nitrogenase dari oksigen. Pada tanaman legume EPS berperan dalam imobilisasi rizobia ke perakaran. Tujuan percobaan ini adalah untuk mendapatkan informasi peran aplikasi EPS *Azotobacter* dan bahan organik terhadap jumlah nodula dan biomassa kedelai yang ditanam di tanah ordo Ultisols dan Inceptisols; serta populasi bakteri pemfiksasi N₂ di rizosfer kedelai. Percobaan dirancang dalam rancangan acak kelompok dengan lima ulangan untuk menguji dua dosis bahan organik dan suspensi EPS. Jumlah nodula dan bobot kering tajuk serta populasi *Azotobacter* dan *Rhizobium* di kedelai yang ditanam di tanah ordo Inceptisols lebih tinggi daripada di Ultisols setelah pemberian bahan organik dan suspensi EPS. Pada Ultisols, aplikasi kompos dan EPS tidak mempengaruhi jumlah nodula dan karakter lainnya, tetapi pada Inceptisols, pemberian kompos 6.25 g dan EPS 20 mL per tanaman meningkatkan jumlah nodula dan tinggi tanaman pada 42 hst. Namun serapan N tajuk tertinggi diperoleh dari kedelai yang mendapatkan 10 mL dan 20 mL EPS yang diberikan bersamaan dengan 12.5 g kompos.*

Kata kunci: Azotobacter, eksopolisakarida, nodula, kedelai, bobot kering tajuk

PENDAHULUAN

Azotobacter adalah *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) penting karena mampu menyediakan N tersedia untuk tanaman melalui fiksasi dinitrogen (N₂)

nonsimbiotik. Rizobakteri ini juga memproduksi fitohormon dan eksopolisakarida (EPS) serta bersifat antagonistik terhadap fitopatogen. Secara alami, EPS *Azotobacter* dibentuk untuk melindungi sistem nitrogenase dari oksigen (Wang *et al.*, 2017), toleransi terhadap kekeringan, induksi pembentukan sista dan biofilm serta resistensi terhadap antimikroba (Gauri *et al.*, 2012). Di rizosfer, EPS berperan dalam stabilitas koloid tanah (Liu *et al.*, 2013), pembentukan

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: reginawanti@unpad.ac.id

agregat tanah yang stabil (Alami *et al.*, 2000), dan sebagai cadangan dan penyalur air ke akar tanaman ketika air terbatas (Carminati *et al.*, 2011).

Eksopolisakarida *Azotobacter* adalah polimer menyerupai alginat yang mengandung asam organik dan asam uronat (Patil *et al.*, 2010). Inokulasi ganda *Azotobacter* dengan *Bradyrhizobium* pada tanaman kedelai berdampak positif terhadap peningkatan nodulasi (Kozziel *et al.*, 2013) maupun populasi *Azotobacter* di tanah dan hasil kedelai (Marinkovic *et al.*, 2018). Namun penelitian mengenai EPS pada kedelai jarang dilakukan padahal EPS *Azotobacter* maupun kultur sel *Azotobacter* pada kedelai juga menginduksi pembentukan nodula kedelai di rumah kaca (Hindersah *et al.*, 2018).

Tanaman kacang-kacangan dapat memfiksasi 30-150 kg N ha⁻¹ (Unkovich *et al.*, 2008) dan kedelai termasuk legum penting di Indonesia; dengan ekstensifikasi ke tanah suboptimal seperti Inceptisols dan Ultisols (Dariah dan Heryani, 2014). Peran EPS *Azotobacter* dalam nodulasi akan berdampak terhadap penyerapan unsur hara nitrogen dan selanjutnya biomassa tanaman. Baik *Azotobacter* maupun *Rhizobium* bersifat heterotrof yang memerlukan bahan organik sebagai sumber karbon dan energi (Bergey dan Holt, 1994). Bahan organik pada pertanaman kedelai berfungsi bukan saja untuk meningkatkan kesuburan tanah tetapi juga menjamin proliferasi bakteri *Azotobacter* dan *Rhizobium*. Penelitian ini penting dilakukan untuk membandingkan efek EPS *Azotobacter* dan bahan organik terhadap jumlah nodula dan bobot tajuk kedelai yang ditanam di tanah ordo Inceptisols dan Ultisols; serta serta populasi bakteri pemfiksasi N₂ nonsimbiotik *Azotobacter* dan bakteri pemfiksasi N simbiotik *Rhizobium* di rizosfer kedelai.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan di Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat dengan ketinggian tempat 772.5 m di atas permukaan laut pada Juni-Agustus 2015. Bakteri pemfiksasi nitrogen *Azotobacter* sp. penghasil EPS dan *Bradyrhizobium* diisolasi dari rizosfer kedelai kultivar Anjasmoro yang ditanam di Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi Malang pada April 2015.

Tanah Inceptisols dan Ultisols dari Jatinangor bertekstur masing-masing liat berdebu dan liat dengan karakteristik kimia pada Tabel 1, diambil secara komposit dari lapisan atas tanah sampai kedalaman 20 cm sebelum dicampur dengan kompos kotoran sapi. Komposisi kompos adalah C organik 33.53%, N organik 1.8%, rasio C/N 18, kadar air 22.34%, pH 6.21, P₂O₅ 1.2% dan K₂O 3.71%; yang diberikan dua dosis yaitu setara 2.5 ton ha⁻¹ dan 5 ton ha⁻¹.

Percobaan dirancang dalam Rancangan Acak Kelompok yang menguji 5 kombinasi perlakuan dosis bahan organik dan EPS pada dua ordo tanah yaitu Inceptisols dan Ultisols. Kombinasi perlakuan bahan organik dan EPS

adalah: Kontrol (tanpa bahan organik dan tanpa EPS), Kompos 6.25 g, suspensi EPS *Azotobacter* 10 mL per polibag, Kompos 6.25 g, suspensi EPS *Azotobacter* 20 mL per polibag, Kompos 12.5 g, suspensi EPS *Azotobacter* 10 mL per polibag, Kompos 12.5 g, suspensi EPS *Azotobacter* 20 mL per polibag.

Lima perlakuan di atas diaplikasikan pada kedua ordo tanah sehingga terdapat 10 perlakuan yang masing-masing diulang lima kali sehingga terdapat 50 polibag.

Persiapan Inokulan dan suspensi eksopolisakarida

Kultur cair *Azotobacter* diproduksi pada media molase 1% dengan NH₄Cl 0.5%, diperkaya sistein dan serin. Setelah media disterilisasi pada 121 °C selama 20 menit, sebanyak 5% biakan murni *Azotobacter* dengan kepadatan 10⁸ CFU per gram tanah diinokulasikan. Media ditempatkan di dalam fermentor ukuran 2 L pada suhu kamar dengan pengadukan 115 rpm. Pada hari ketiga inokulan cair *Azotobacter* disentrifugasi pada kecepatan 9000 rpm dengan suhu 4 °C selama 20 menit dan supernatan yang mengandung EPS dikoleksi sebagai suspensi eksopolisakarida.

Persiapan Media Tanam dan Penanaman

Tanah ordo Inceptisol dan Ultisols asal Kampung Ciparanje, Desa Hegarmanah, Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, dikeringanginkan, ditimbang seberat 5 kg dan dimasukkan ke dalam polibag dengan diameter 18 cm dan tinggi 22 cm. Tanah dicampur dengan pupuk kandang sapi sesuai dosis dan suspensi EPS *Azotobacter* yang masing-masing mengandung *Azotobacter* sebanyak 10² CFU mL⁻¹. Suspensi EPS dengan volume 10 mL atau 20 mL diencerkan sampai volume 100 mL, disemprotkan merata ke tanah, dan tanah diaduk merata. Tanah ditutup terpal selama 7 hari.

Benih kedelai varietas Anjasmoro diinokulasi dengan inokulan cair *Bradyrhizobium* yang diproduksi pada media agar mannitol ragi pada kepadatan 10⁷ CFU mL⁻¹. Inokulasi dilakukan dengan merendam 100 butir benih di dalam 110 mL inokulan cair selama 10 detik. Lubang tanam pada tanah di polibag dibuat dengan cara tugal sedalam 5 cm dan dua benih kedelai ditanam di satu lubang. Penjarangan dilakukan pada dua minggu setelah tanam dan hanya satu tanaman terbaik yang dipelihara sampai fase vegetatif akhir yaitu 42 hari setelah tanam (hst) dengan kondisi air tanah pada kapasitas lapang.

Tanaman dipupuk dengan 0.2 g urea, 0.25 g SP-36 dan 0.25 g KCl (75 kg Urea ha⁻¹, 100 kg SP-36 ha⁻¹ dan 100 kg KCl ha⁻¹). Pupuk diaplikasikan pada 4 hari setelah tanam (hst) dengan cara ditugal di dua lubang dengan kedalaman 5 cm dekat dengan perakaran tanaman. Satu lubang untuk Urea dan satu lubang lagi untuk SP-36 dan KCl. Pengendalian lalat bibit *Agromyza phaseoli* yang menyerang tanaman kedelai pada umur 3-5 hari menggunakan pestisida berbahan aktif Deltametrin 25 g L⁻¹ dengan konsentrasi 2 mL L⁻¹.

Pengukuran Parameter dan Analisis Statistik

Pada fase vegetatif akhir, minggu ke enam, tajuk tanaman dipisahkan dari bagian akar; kemudian tajuk dikeringkan pada 60 °C sampai berat konstan selama 2 hari, Jumlah nodula efektif dihitung yang ditandai dengan ukurannya lebih dari 2 mm, bernas dan berwarna merah jika nodula dibelah menandakan keberadaan leghemoglobin. Konsentrasi N tajuk ditetapkan dengan metode Kjeldahl sedangkan kadar C-organik tanah dengan metode Walkley and Black (Sulaeman dan Eviati, 2012). Serapan N dihitung dengan mengalikan persentase nitrogen dengan bobot kering tajuk tanaman kedelai. Bobot isi tanah ditetapkan menggunakan contoh tanah utuh yang diambil dengan ring sampel diameter 5 cm setelah *ring sample* dipanaskan 105 °C selama 24 jam.

Tanah rizosfer dikoleksi dari permukaan akar setelah bongkahan tanah dihilangkan. Sampel berasal dari sampel komposit yang menggabungkan tanah rizosfer dari lima ulangan dengan perlakuan yang sama. Sampel dikompositkan karena tanah rizosfer di perakaran satu tanaman kedelai tidak mencukupi untuk analisis penghitungan bakteri dengan metode plat pengenceran berseri. Bakteri *Azotobacter* dan *Bradyrhizobium* di rizosfer masing-masing dihitung menggunakan media agar Ashby bebas nitrogen dan agar manitol ragi dengan *bromthymol blue*. Seluruh data kecuali populasi bakteri dianalisis dengan analisis ragam (Uji F) dan dilanjutkan dengan Uji Duncan pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah nodula dan Pertumbuhan Tanaman

Sebelum percobaan, C-organik Ultisols lebih rendah daripada Inceptisols, dan tekstur Ultisols lebih berat daripada Inceptisols (Tabel 1) yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Kemasaman kedua ordo tanah yaitu 5.6 pada Ultisols dan 6.4 pada Inceptisols sesuai untuk tanaman kedelai (Koesrini *et al.*, 2015).

Aplikasi EPS dan kompos pada Ultisols tidak mempengaruhi jumlah nodula, tinggi tajuk dan bobot kering tajuk; tetapi pada Inceptisol jumlah nodula dan bobot kering tajuk dengan nyata meningkat (Tabel 2). Di akhir percobaan, kemasaman (pH) tanah Ultisol lebih rendah daripada Inceptisol. Secara umum, jumlah nodula dan bobot kering tajuk kedelai di Ultisols dengan nyata jauh lebih sedikit daripada di Inceptisols.

Secara keseluruhan jumlah nodula per tanaman adalah rendah, penghambatan pembentukan nodula pada Ultisols

menyebabkan bobot kering tajuk kedelai menurun meskipun tinggi tanaman tidak berbeda nyata. Peningkatan nodulasi pada Inceptisols ini sejalan dengan efek ekstrak kultur bebas sel *A. vinelandii* yang meningkatkan nodulasi legum melalui pembentukan protein yang dapat meningkatkan nodulasi (Burns *et al.*, 1981). Peningkatan jumlah nodula pada Inceptisols dengan kompos 12.5 g dan EPS 20 mL sejalan dengan efek positif koinokulasi *R. leguminosarum* dan *A. chroococcum* pada jumlah nodula *Faba bean* (Dashadi *et al.*, 2011).

Tekstur Inceptisols adalah liat berdebu lebih mudah untuk ditembus akar dibandingkan dengan Ultisols. Selain itu tekstur ringan dapat menginduksi mobilisasi rizobia ke permukaan akar untuk membentuk benang infeksi. Rendahnya jumlah nodula kedelai di tanah Ultisol sejalan dengan penelitian Sato *et al.* (2003) bahwa bobot nodula kedelai di tanah berat lebih rendah daripada di tanah ringan disertai dengan menurunnya persentase nodula berukuran 2-5 mm.

Secara umum, jumlah nodula di setiap perlakuan adalah rendah. Pembentukan nodula erat kaitannya dengan nutrisi tanah terutama nitrogen dan pH. Ultisols dan Inceptisols mengandung 0.23% dan 0.26% N-total yang termasuk dalam kategori sedang. Penambahan pupuk Urea serta kompos kotoran sapi dapat meningkatkan kadar N tanah dan menekan nodulasi. Nitrogen tinggi menghambat pembentukan, jumlah dan bobot nodula karena nodulasi dipercepat oleh nitrogen rendah yaitu <50 mg L⁻¹ (Xia *et al.*, 2017). Nodula berkembang dengan baik dan aktif jika kandungan nitrogen tanah rendah, tanah tidak terlalu masam, meskipun beberapa strain rizobia toleran terhadap kemasaman rendah (Ferguson *et al.*, 2013).

Bobot kering tajuk tanaman di Inceptisol lebih tinggi daripada Ultisols (Tabel 2). Peningkatan ini disebabkan oleh porositas Inceptisols lebih baik dan efek dari EPS. Alami *et al.* (2000) membuktikan bahwa EPS mempengaruhi pertumbuhan tanaman karena serapan unsur hara N oleh akar meningkat sebagai respons dari peningkatan porositas tanah. Aplikasi 20 mL suspensi EPS disertai 6.25 g kompos pada Inceptisols meningkatkan bobot kering tajuk sampai 14.41 g yang berbeda nyata dengan perlakuan kontrol tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Aplikasi EPS dan kompos meningkatkan serapan N tajuk kedelai di kedua ordo tanah tetapi tidak mempengaruhi kadar N tajuk (Tabel 3).

Tanaman kedelai di Inceptisols lebih responsif terhadap aplikasi EPS karena sifat fisik Inceptisols lebih ringan dibandingkan Ultisols. Di akhir percobaan, bobot isi tanah Inceptisols lebih rendah daripada Ultisols (Tabel 4)

Tabel 1. Karakteristik kimia tanah Ultisols dan Inceptisols sebelum percobaan

Ordo Tanah	pH	C organik (%)	N total (%)	C/N	Fraksi tanah (%)			Tekstur
					Pasir	Liat	Debu	
Ultisols	5.6	1.69	0.23	7.3	4	44	52	Liat
Inceptisol	6.4	2.06	0.26	7.9	8	40	52	Liat berdebu

Tabel 2. Nodula dan pertumbuhan kedelai umur 42 hari setelah aplikasi suspensi EPS dan kompos pada Ultisols dan Inceptisols

Perlakuan	pH	Jumlah nodula	Tinggi tajuk (cm)	Bobot kering tajuk (g)
Ultisols				
Kontrol	5.8 ± 0.29a	6.6 ± 1.67a	42.92 ± 3.24a	8.24 ± 1.30a
EPS 10 mL, kompos 6.25 g	5.9 ± 0.25ab	6.8 ± 2.28a	39.88 ± 2.12a	7.64 ± 1.00a
EPS 20 mL, kompos 6.25 g	5.8 ± 0.38a	6.2 ± 3.49a	41.72 ± 2.53a	8.50 ± 1.02a
EPS 10 mL, kompos 12.5 g	5.8 ± 0.62a	6.0 ± 3.32a	42.54 ± 3.74a	7.40 ± 2.42a
EPS 20 mL, kompos 12.5 g	6.1 ± 0.66ab	7.8 ± 2.87a	44.34 ± 2.86a	8.57 ± 1.00a
Inceptisols				
Kontrol	6.3 ± 0.08bc	15.6 ± 5.94b	44.66 ± 2.75a	13.33 ± 1.53b
EPS 10 mL, kompos 6.25 g	6.3 ± 0.08bc	13.2 ± 6.14ab	44.40 ± 6.35a	14.27 ± 1.72bc
EPS 20 mL, kompos 6.25 g	6.4 ± 0.09b	26.8 ± 5.45d	46.02 ± 4.11a	14.41 ± 1.89c
EPS 10 mL, kompos 12.5 g	6.4 ± 0.24b	13.4 ± 6.35ab	43.96 ± 2.04a	14.04 ± 2.23bc
EPS 20 mL, kompos 12.5 g	6.4 ± 0.09b	18.2 ± 6.98c	45.04 ± 4.16a	13.88 ± 1.32bc

Keterangan: Angka yang ditandai dengan huruf yang sama pada kolom sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf nyata 0.05

menjelaskan bahwa pertumbuhan akar di Inceptisols dapat lebih baik meskipun tidak diukur. Tekstur Inceptisols lebih mendukung pembentukan nodula dan fiksasi N₂ karena sirkulasi udara dan ketersediaan air lebih baik (Al-Saedi *et al.*, 2016) dan meningkatkan serapan N (Tabel 3).

Populasi *Azotobacter* dan *Bradyrhizobium* di rizosfer

Aplikasi EPS dan kompos pada berbagai dosis tidak mengubah populasi *Azotobacter* di kedua ordo tanah tetapi menurunkan populasi *Bradyrhizobium* di Ultisols sebesar satu log (Tabel 5). Dibandingkan dengan populasi kedua bakteri sebelum percobaan yang ditetapkan dari *bulk soil*, populasi *Azotobacter* meningkat satu log sedangkan *Bradyrhizobium* hanya meningkat pada Inceptisols. Peningkatan populasi bakteri karena adanya eksudat yang dilepaskan akar dan menjadi sumber nutrisi (Dennis *et al.*, 2010) dan aplikasi kompos.

Populasi *Azotobacter* dan *Rhizobium* di Inceptisols pada kontrol masing-masing sekitar 13.5% dan 14.5% lebih tinggi daripada Ultisols yang menjelaskan bahwa mikroba pemiksasi N₂ indigenus mendapatkan kondisi lingkungan yang lebih baik di Inceptisols. Kadar C-organik Inceptisols pada setiap perlakuan lebih tinggi daripada Ultisols (Tabel 4). *Azotobacter* dan *Rhizobium* adalah rizobakteri yang bersifat heterotrof, menggunakan bahan organik sebagai sumber karbon dan energi (Bergey dan Holt, 1994). Tekstur Inceptisol, liat berdebu dengan bobot isi lebih rendah (Tabel 3) memberikan lebih banyak oksigen untuk kedua bakteri pemfiksasi N₂ aerobik.

Penambahan EPS dan kompos sedikit menurunkan populasi kedua bakteri di Ultisols maupun Inceptisols meskipun tidak sampai satu log. Pada Inceptisols, perlakuan 10 mL EPS menurunkan populasi kedua bakteri pemfiksasi N di rizosfer. Suspensi EPS mengandung hanya sekitar 10² CFU mL⁻¹ *Azotobacter*; penurunan populasi diduga karena

Tabel 3. Persentase dan serapan nitrogen tajuk kedelai umur 42 hari setelah aplikasi suspensi EPS dan bahan organik pada Ultisols dan Inceptisols

Perlakuan	Konsentrasi N tajuk (%)		Serapan N tajuk (mg)	
	Ultisols	Inceptisols	Ultisols	Inceptisols
Kontrol	3.87 ± 0.09ab	3.72 ± 0.27ab	315.66 ± 4.27a	502.86 ± 8.31a
EPS 10 mL, kompos 6.25 g	3.96 ± 0.25ab	3.89 ± 0.31ab	322.12 ± 6.33a	555.30 ± 8.65b
EPS 20 mL, kompos 6.25 g	4.12 ± 0.11b	2.14 ± 0.41a	334.14 ± 4.66b	568.76 ± 4.98c
EPS 10 mL, kompos 12.5 g	3.60 ± 0.38a	4.18 ± 0.13b	315.66 ± 4.27b	597.96 ± 4.95d
EPS 20 mL, kompos 12.5 g	3.94 ± 0.28ab	4.11 ± 0.20ab	342.80 ± 6.47b	602.94 ± 7.66d

Keterangan: Angka yang ditandai dengan huruf yang sama pada kolom sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf nyata 0.05

ada interaksi negatif dengan mikroba indigenus karena hanya 10 mL suspensi EPS ditambahkan. Peningkatan dosis EPS menjadi 20 mL per polibag diduga menginduksi proliferasi kedua mikroba untuk meningkatkan atau mempertahankan populasinya di rizosfer.

Peningkatan populasi *Rhizobium* di kedua ordo tanah setelah aplikasi EPS 20 mL per polibag sejalan dengan

hasil penelitian Sara *et al.* (2014) pada tanah Inceptisols di musim hujan. Percobaan jangka panjang selama 8 tahun juga memperlihatkan bahwa inoculasi *Rhizobium* dan *Azotobacter* mendukung proliferasi rizobia di rizosfer karena tanaman tumbuh dengan baik akibat penyediaan N (Rawat *et al.*, 2013).

Tabel 4. Bobot isi tanah Ultisols dan Inceptisols yang ditanami kedelai sampai umur 42 hari setelah aplikasi bahan organik dan suspensi EPS

Perlakuan	Bobot isi (g cm ³)		C organik (%)	
	Ultisols	Inceptisols	Ultisols	Inceptisols
Kontrol	0.77 ± 0.04a	0.74 ± 0.02c	1.70 ± 0.02c	2.05 ± 0.02a
EPS 10 mL, kompos 6.25 g	0.87 ± 0.04b	0.67 ± 0.06b	1.76 ± 0.11c	2.11 ± 0.04b
EPS 20 mL, kompos 6.25 g	0.88 ± 0.04b	0.61 ± 0.02a	1.73 ± 0.01c	2.14 ± 0.01b
EPS 10 mL, kompos 12.5 g	0.90 ± 0.12b	0.58 ± 0.01a	1.81 ± 0.13b	2.33 ± 0.06c
EPS 20 mL, kompos 12.5 g	0.93 ± 0.04b	0.57 ± 0.08a	2.06 ± 0.06a	2.36 ± 0.01c

Keterangan: Angka yang ditandai dengan huruf yang sama pada kolom sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf nyata 0.05

Tabel 5. Populasi *Azotobacter* dan *Rhizobium* di rizosfer kedelai yang ditanam di tanah ordo Ultisols dan Inceptisols

Perlakuan	Populasi <i>Azotobacter</i> * (x 10 ⁵ CFU g ⁻¹)		Populasi <i>Rhizobium</i> * (x 10 ⁷ CFU g ⁻¹)	
	Ultisols	Inceptisols	Ultisols	Inceptisols
Kontrol	0.25 ± 0.08	0.75 ± 0.23	15.4 ± 0.71	5.7 ± 1.20
Kompos 6.25 g, EPS 10 mL	8.10 ± 0.29	9.30 ± 0.68	11.6 ± 0.40	13.4 ± 0.61
Kompos 6.25 g, EPS 20 mL	3.80 ± 0.55	6.90 ± 0.42	9.4 ± 0.89	7.6 ± 0.75
Kompos 12.5 g, EPS 10 mL	5.60 ± 0.61	9.80 ± 1.15	9.6 ± 0.50	15.6 ± 1.20
Kompos 12.5 g, EPS 20 mL	6.50 ± 1.13	7.40 ± 0.75	6.8 ± 0.58	12.2 ± 0.26

Keterangan: *Data berasal dari dua kali pengukuran pada sampel yang sama

KESIMPULAN

Penambahan suspensi EPS dan bahan organik hanya meningkatkan pembentukan nodula kedelai di Inceptisols. Peningkatan nodula ini menyebabkan bobot kering tajuk tanaman dan serapan N Kedelai di Inceptisols pada 42 hst lebih tinggi daripada Ultisols. Namun tinggi tanaman kedelai di kedua ordo tanah tidak berbeda, baik tanaman yang mendapatkan EPS maupun tidak. Pada Inceptisols, pemberian kompos 6.25 g dan EPS 20 mL per tanaman menghasilkan tanaman dengan jumlah nodula tertinggi pada 42 hst. Namun serapan N tajuk tertinggi diperoleh dari kedelai yang mendapatkan 10 mL dan 20 mL EPS yang diberikan bersamaan dengan 12.5 g kompos. Populasi bakteri *Azotobacter* dan *Rhizobium* di rizosfer kedelai di kedua ordo meningkat dibandingkan di tanah sebelum percobaan. Di akhir percobaan, populasi kedua bakteri di Inceptisols lebih

tinggi daripada di Ultisols karena tekstur Inceptisol lebih ringan, bobot isi lebih rendah dan C-organik lebih tinggi daripada Ultisols. Bobot isi dan C-organik kedua ordo tanah dengan nyata dipengaruhi oleh aplikasi EPS dan kompos. Peningkatan C-organik secara langsung dapat mendukung proliferasi sel *Azotobacter* yang berperan pula dalam fiksasi nitrogen; sedangkan penurunan bobot isi memfasilitasi peningkatan serapan N oleh tajuk kedelai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini adalah bagian dari skema Penelitian Strategis Nasional 2015 Dirjen Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan RI. Kami berterimakasih kepada Yosaera Thoriq Ramadhan yang membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alami, Y., W. Achouak, C. Marol, T. Heulin. 2000. Rhizosphere soil aggregation and plant growth promotion of sunflowers by an exopolysaccharide-producing *Rhizobium* sp. strain isolated from sunflower roots. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:3393-3398.
- Al-Saedi, S.A., I.B. Razaq, N. A. Ali. 2016. Effect of soil textural classes on the biological nitrogen fixation by *Bradyrhizobium* measured by ¹⁵N dilution analysis. *Baghdad Sci. J.* 13:734-743.
- Bergey. D.H., J.G. Holt. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Williams & Wilkin, Baltimore, USA.
- Burns, T.A., P.E. Bishop, D.W. Israel. 1981. Enhanced nodulation of leguminous plant roots by mixed cultures of *Azotobacter vinelandii* and rhizobium. *Plant Soil* 62:399-412.
- Carminati, A., C.L. Schneider, A.B. Moradi, M. Zarebanadkouki, D. Vetterlein, H.J. Vogel, A. Hildebrandt, U. Weller, L. Schuler, S.E. Oswald. 2011. How the rhizosphere may favor water availability to roots. *Vadose Zone J.* 10:988-998.
- Dariah, A., N. Heryani. 2014. Pemberdayaan lahan kering suboptimal untuk mendukung kebijakan diversifikasi dan ketahanan pangan. *J. Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*:1-16.
- Dashadi, M., H. Khosravi, A. Moezzi, H. Nadian, M. Heidari, R. Radjabi. 2011. Co-inoculation of *Rhizobium* and *Azotobacter* on growth indices of faba bean under water stress in the green house condition. *Adv. Studies Biol.* 3:373-385.
- Dennis, P.G., A.J. Miller, P.R. Hirsch. 2010. Are root exudates more important than other sources of rhizodeposits in structuring rhizosphere bacterial communities?. *FEMS Microbiol. Ecol.* 72:313-327.
- Ferguson, B.J., M.H. Lin, P. M. Gresshoff. 2013. Regulation of legume nodulation by acidic growth conditions. *Plant Signal Behav.* 8:e23426.
- Gauri, S.S., S.M. Mandal, B.R. Pati. 2012. Impact of *Azotobacter* exopolysaccharides on sustainable agriculture. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 95:331-338.
- Hindersah, R., N. Rostini, D.S. Sara, A. Harsono. 2018. Increasing soybean nodulation and growth following inoculation of exopolysaccharide producing *Azotobacter* in pot culture. *Asian J. Microbiol. Biotech. Env. Sci.* 20:S52-S58.
- Juandi, M., Y. Hasanah, S. Silitonga. 2013. Produksi kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dengan pemberian berbagai sumber unsur hara N dan perbedaan kondisi air tanah. *Agroekotek.* 1:535-541.
- Koesrini, K. Anwar dan E. Berlian. 2015. Penggunaan kapur dan varietas adaptif untuk meningkatkan hasil kedelai di lahan sulfat masam aktual. *Berita Biologi.* 14:155-161.
- Kozieł, M., B. Gębala, S. Martyniuk. 2013. Response of soybean to seed inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and with mixed inoculants of *B. japonicum* and *Azotobacter chroococcum*. *Pol. J. Microbiol.* 62:457-460.
- Liu Liu, X., K. Eusterhues, J. Thieme, V. Ciobota, C. Höschel, C.W. Mueller, K. Küsel, I. Kögel-Knabner, P. Rösch, J. Popp, K.U. Totsche. 2013. STXM and NanoSIMS investigations on EPS Fractions before and after adsorption to Goethite. *Environ. Sci. Technol.* 47:3158-3166.
- Marinković, J., D. Bjelić, B. Tintor, J. Miladinović. V. Dukić, V. Đorđević. 2018. Effects of soybean co-inoculation with plant growth promoting rhizobacteria in field trial. *Rom. Biotech. Lett.* 23:13401-13408.
- Patil, S.V., R.B. Salunkhe, C.D. Patil, D.M. Patil, B.K. Salunke. 2010. Bioflocculant exopolysaccharide production by *Azotobacter indicus* using flower extract of *Madhuca latifolia* L. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 162:1095-108.
- Rawat, A.K., D.L.N. Rao, R.K. Sahu, 2013. Effect of soybean inoculation with *Bradyrhizobium* and wheat inoculation with *Azotobacter* on their productivity and N turnover in a Vertisol. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201500160199> [14 November 2016].
- Sara, D.S., R. Hindersah, M.R. Setiawati. 2014. Peningkatan populasi *Bradyrhizobium* di rizosfer dan pertumbuhan vegetatif kedelai melalui aplikasi eksopolisakarida *Azotobacter*. hal. 319-323. *Dalam* D. Kurnia, D. Chaerani, L. Safriani (Eds.). *Prosiding Seminar Nasional MIPA. Jatinangor* 18 Oktober 2014.

- Sato, T., Y. Kaneta, N. Furuta, H. Kobayashi, H. Shindo, T. Ota, A. Sato. 2003. Effect of soil physical properties on soybean nodulation and N₂ fixation at the early growth stage in heavy soil field in Hachirougata Polder, Japan. *J. Soil Sc. Pl. Nutr.* 49:695-702.
- Sulaeman, Eviati. 2012. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Unkovich, M., D. Herridge, M. Peoples, G. Cadisch, R. Boddey, K. Giller, B. Alves, P. Chalk. 2008. Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. *ACIAR Monograph No. 136*, 258 pp.
- Wang, D., A. Xu, C. Elmerich, L.Z. Ma. 2017. Biofilm formation enables free-living nitrogen-fixing rhizobacteria to fix nitrogen under aerobic conditions. *The ISME Journal* 11:1602-1613.
- Xia, X., C. Ma, S. Dong, Y. Xu, Z. Gong. 2017. Effects of nitrogen concentrations on nodulation and nitrogenase activity in dual root systems of soybean plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 63:470-482.