

## Artikel Ulas Balik **Potensi Rizobakteri *Azotobacter* dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah**

**Reginawanti Hindersah, Tualar Simarmata**

Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung 40600

Diterima 26-01-04

Disetujui 17-03-04

### **ABSTRACT**

**Soil is a component of the whole ecosystem which is support plant production and determine ecosystem quality. In agriculture, healthy soil represent a balance between physical, chemical and biological factors which is promote optimal plant production, and contribute to conserve water and soil quality. In soil biotechnology, if the objective of microbial inoculation is to enhance soil health then rhizobacteria *Azotobacter* would be the good choice. This paper describe the capability of *Azotobacter* as biological agent in soil biotechnology related to biological nitrogen fixation and phytohormones production.**

**Keywords:** *Azotobacter*, nitrogen fixation, phytohormone, soil health

Tanah adalah sebuah komponen dari keseluruhan ekosistem dan tidak dapat dilepaskan dari kesehatan ekosistem tersebut. Di bidang pertanian, tanah yang sehat memiliki kondisi fisik, kimia dan biologis optimal untuk produksi tanaman dan memiliki kesanggupan untuk menjaga kesehatan tanaman serta kualitas ekosistem yang mencakup air dan tanah. Dalam sejumlah kondisi, tanah yang sehat mungkin saja tidak berfungsi sebagai komponen ekosistem yang sehat karena adanya penambahan komponen tanah yang tidak sehat dari luar tanah itu sendiri (Elliott 1998) misalnya penambahan bahan kimia yang berlebihan atau pembuangan limbah toksik.

Tanah sehat dan subur merupakan sistem hidup dinamis yang dihuni oleh berbagai organisme (mikro flora, mikro fauna, serta meso dan makro fauna). Organisme tersebut saling berinteraksi membentuk suatu rantai makanan sebagai manifestasi aliran energi dalam suatu ekosistem untuk membentuk tropik rantai makanan (Simarmata *et al*, 2003). Dalam ekosistem tanah, tropik rantai makanan dimulai dari tropik level pertama, yaitu kelompok organisme (tanaman dan bakteri) produsen yang mampu memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energinya. Selanjutnya diikuti oleh tropik kedua hingga ke tingkat tropik yang tertinggi. Hal ini berarti, bahwa kehadiran suatu organisme akan mempengaruhi keberadaan organisme lain secara

langsung maupun tidak langsung. Kesehatan tanah dapat dievaluasi secara kualitatif maupun kuantitatif dengan menggunakan indikator seperti kemampuan tanah sebagai media tumbuh tanaman maupun mikroba (Simarmata *et al*, 2003).

Secara umum, rizosfir ekosistem tanah yang sehat akan dihuni oleh organisme yang menguntungkan yang memanfaatkan substrat organik dari bahan organik atau eksudat tanaman sebagai sumber energi dan nutrisinya. Sejumlah mikroba memegang peran penting pada tanah yang normal dan sehat, dan merupakan indikator dalam menentukan kualitas tanah. Mikroba tanah berperan dalam proses penguraian bahan organik, melepaskan nutrisi ke dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman, dan mendegradasi residu toksik (Sparling 1998). Selain itu, mikroba juga berperan sebagai agen peningkat pertumbuhan tanaman (*plant growth promoting agents*) yang menghasilkan berbagai hormon tumbuh, vitamin dan berbagai asam-asam organik yang berperan penting dalam merangsang pertumbuhan bulu-bulu akar.

Salah satu kelompok organisme yang penting dalam ekosistem tanah dan berperan sebagai agen peningkat pertumbuhan tanaman adalah rizobakteri yaitu bakteri yang hidup di rizosfir tanaman dan mengalami interaksi yang intensif dengan akar tanaman maupun tanah. Kesehatan biologis suatu tanah akan banyak ditentukan oleh dominasi

rizobakteri ini atas mikroorganisme patogen sehingga tanaman mendapatkan manfaat yang optimal dari keberadaan rizobakteri non patogen.

*Azotobacter* adalah spesies rizobakteri yang telah dikenal sebagai agen biologis pemfiksasi dinitrogen, diazotrof, yang menkonversi dinitrogen ke amonium melalui reduksi elektron dan protonasi gas dinitrogen. Unsur hara yang membatasi produktivitas tanaman adalah nitrogen sehingga pupuk nitrogen selalu ditambahkan sebagai input dalam produksi tanaman. Untuk menghindari penurunan kesehatan tanaman akibat adanya input bahan kimia, diperlukan input biologis berupa rizobakteri.

Penambahan atau inokulasi *Azotobacter* dengan tujuan untuk meningkatkan ketersediaan nitrogen tanah telah sering dilakukan namun dengan hasil yang bervariasi, bahkan kadang-kadang tidak meningkatkan hasil tanaman. Kondisi tersebut sangatlah logis mengingat kontribusi rizobakteri hidup bebas terhadap nitrogen tanah hanya sekitar 15 kg N/ha/tahun yang jauh lebih rendah daripada kontribusi bakteri pemfiksasi nitrogen simbiosis yang mencapai 24-584 kg N/ha/t (Shantharam & Mattoo 1997). Namun demikian, upaya mempertahankan kesehatan tanah dan sekaligus produktivitas tanaman dengan inokulasi *Azotobacter* perlu dilakukan karena rizobakteri ini berperan sebagai agen peningkat pertumbuhan tanaman melalui produksi fitohormon yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Selain itu, input rizobakteri dalam suatu sistem pertanian sejalan dengan konsep Mekanisme Pembangunan Bersih (*Clean Development Mechanism*, CDM) yang penting diupayakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan serapan karbon (*carbon sequestration*) sehingga karbon berada dalam bentuk yang lebih stabil (Murdiyarto 2003)

Pada makalah ini akan dirangkum sejumlah hasil penelitian mengenai aplikasi *Azotobacter* di pembibitan tanaman sayuran. Tulisan ini bertujuan untuk memperlihatkan kemampuan *Azotobacter* sebagai agen hayati dalam aplikasi bioteknologi tanah di pembibitan tanaman sayuran, dan dalam mempertahankan kesehatan tanah, dalam hal ini kemampuan tanah sebagai media tumbuh tanaman maupun mikroba, melalui kapasitasnya dalam memfiksasi nitrogen dan produksi fitohormon.

**Fiksasi Nitrogen Biologis.** Salah satu inokulan bakteri yang penting untuk meningkatkan ketersediaan nitrogen tanah, dan peningkatan hasil adalah *Azotobacter*. Kemampuan *Azotobacter* dalam memfiksasi N<sub>2</sub> telah diketahui pertama kali oleh Beijerinck pada tahun 1901 (Page 1986). Namun demikian peningkatan hasil ini tidak konsisten jika dibandingkan dengan rendahnya kapasitas fiksasi bakteri pemfiksasi nitrogen non simbiotik. Karena itu, diduga terdapat faktor lain yang berperan dalam pengendalian pertumbuhan tanaman seperti produksi fitohormon, pemutusan siklus penyakit maupun hama melalui perubahan karakteristik mikroba, fisik atau kimia tanah, atau melalui peningkatan aktivitas makrofauna tanah seperti cacing tanah (Peoples *et al*, 1995).

Secara umum, fiksasi nitrogen biologis sebagai bagian dari input nitrogen untuk mendukung pertumbuhan tanaman telah menurun akibat intensifikasi pemupukan anorganik. Penurunan penggunaan pupuk nitrogen yang nyata agaknya hanya dapat dicapai jika agen biologis pemfiksasi nitrogen diintegrasikan dalam sistem produksi tanaman.

Sejumlah kajian mengindikasikan bahwa *Azotobacter* merupakan rizobakteri yang selalu terdapat di tanaman sereal seperti jagung dan gandum (Abbass & Okon 1993a; Abbass & Okon 1993b; Hindersah *et al*, 2000; Hindersah *et al*, 2003a) maupun sayuran (Hindersah & Setiawati 1997; Hindersah *et al*, 2003b). Dengan demikian akan terjadi sistem asosiatif yang intensif seperti yang diperlihatkan strain *Acetobacter* dan *Herbaspirillum* dengan tebu dan *Azospirillum* dengan gandum (Kennedy *et al*, 1997).

Asosiasi ini dirasakan penting mengingat nitrogen adalah unsur hara makro esensial, dan di lain pihak, produksi tanaman di Indonesia akan tergantung dari input nitrogen karena umumnya tanah di Indonesia hanya mengandung sedikit nitrogen. Pupuk nitrogen akan tetap berperan penting dalam peningkatan produksi tanaman, namun demikian penggunaannya harus diatur untuk menjamin produktivitas, stabilitas dan keberlanjutan ekosistem pertanian. Oleh karena itu, inokulasi rizobakteri *Azotobacter* selayaknya dijadikan salah satu faktor

dari manajemen nitrogen dalam suatu sistem tanam sehingga akan bersifat sinergis dengan input nitrogen lainnya seperti pupuk dan bahan organik yang selanjutnya dapat menjamin kesehatan tanah.

**Produksi Fitohormon.** Bentuk dan fungsi tanaman tergantung pada komunikasi antar sel yang dimediasi oleh senyawa kimia yang disebut fitohormon. Di dalam sel, fitohormon berinteraksi dengan protein khusus yang disebut reseptor. Kompleks fitohormon-reseptor ini adalah bentuk fitohormon yang aktif dan efektif dalam jumlah yang sangat kecil, yaitu antara  $10^{-6}$  sampai  $10^{-8}$  M. (Taiz & Zeiger 1991). Hormon tanaman dikelompokkan ke dalam lima grup yaitu auksin, giberelin, sitokinin, etilen dan asam absisat. Tanaman memenuhi kebutuhan akan hormon tumbuh melalui kemampuannya untuk mensintesis ke lima hormon tersebut (Davies 1995) atau mendapatkannya dari rizosfir (Hindersah *et al*, 2002) maupun filosfir (Werner 1992) sebagai akibat dari aktivitas mikroorganisme dalam mensintesis fitohormon.

Kemampuan *Azotobacter* dalam memproduksi fitohormon sitokinin dan auksin dilaporkan pertama kali oleh Vancura dan Macura pada tahun 1960 (Vancura 1988). Sampai saat ini sejumlah penelitian telah membuktikan kemampuan rizobakteri *Azotobacter chroococcum*, *A. beijerinckii*, *A. paspali* maupun *A. vinelandii* dalam memproduksi fitohormon terutama sitokinin. Taller & Wong (1989) membuktikan adanya sitokinin dari jenis zeatin ribosida (ZR), Zeatin (Z), isopenteniladenosin (2iPR), isopenteniladenin (2iP), metiltiozeatin (MSZ) dan metiltioisopentenil-adenin (MS2iP) yang diekskresikan oleh *A. vinelandii*. Abbass and Okon (1993b) memperlihatkan bahwa kemampuan *A. paspali* untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman berhubungan dengan kapasitasnya dalam mensintesis factor tumbuh.

Sejumlah isolat *Azotobacter* yang dikulturkan pada suhu kamar maupun 30 °C selama 60 jam mengekskresikan fitohormon sitokinin, atau giberelin ke dalam media pertumbuhan bebas N. Di dalam supernatant kultur cair *A. chroococcum*, yang diisolasi dari rizosfir jagung, dengan kepadatan  $10^8$  cfu/ml terdapat kinetin dan benziladenin-9-glukosida masing-masing dengan konsentrasi 0.0197 dan 0.004 µg/ml. Selain sitokinin, analisis khromatografi

menunjukkan supernatan mengandung 0.038 µg/ml GA<sub>5</sub> dan 0.028 µg/ml GA<sub>7</sub> (Hindersah *et al*, 2000). *Azotobacter* sp., diisolasi dari rizosfir tomat, yang dikulturkan di media bebas N mengekskresikan GA<sub>1</sub> sebanyak 13.57 µg/mL dan sitokinin sebanyak 10.13 µg/mL (Hindersah *et al*, 2001). Analisis HPLC fase terbalik pada kultur isolat *Azotobacter* yang diisolasi dari rizosfir bibit lettuce memperlihatkan adanya 0.04 ppm sitokinin, 1.9 ppm GA<sub>3</sub>, 0.9 ppm GA<sub>5</sub> dan 1.0 ppm GA<sub>7</sub> tetapi tidak terdeteksi adanya auksin (Hindersah *et al*, 2003b).

Meskipun secara teori pembentukan fitohormon terutama sitokinin dihambat oleh nitrogen tersedia, tetapi suatu isolat *Azotobacter* dari rizosfir tomat yang dikulturkan selama 72 jam pada suhu kamar di dalam media 3mL/L pupuk organik cair yang mengandung nitrogen kurang dari 1% dapat memproduksi hormon. Dengan kepadatan sel  $3.7 \times 10^9$  cfu/mL isolat ini mengekskresikan 2.39 µg/mL sitokinin, tetapi tidak terdeteksi adanya fitohormon giberelin dan auksin (Hindersah *et al*, 2002b)

Meskipun masih terlihat adanya inkonsistensi kualitas dan kuantitas fitohormon yang diekskresikan, data di atas membuktikan bahwa rizobakteri ini sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber fitohormon eksogen tanaman. Kemampuan ini penting untuk dieksplorasi mengingat peran fitohormon yang sangat penting bagi perkecambahan dan perkembangan akar di awal pertumbuhan tanaman.

**Pengaruh Inokulasi *Azotobacter* terhadap Fungsi Tanah sebagai Media Tumbuh Bibit Tanaman Sayuran dan *Azotobacter*.** Dalam produksi tanaman sayuran, pembibitan merupakan salah satu tahap penting Pembibitan tanaman sayuran berhubungan dengan fase perkecambahan yang meliputi pertumbuhan dan perkembangan akar pertama (radikula) dan daun pertama (plumula). Secara fisiologis perkecambahan diregulasi oleh cadangan makanan dan fitohormon yang terdapat di dalam biji. Setelah itu, pertumbuhan dan perkembangan akar dan tajuk bibit akan dikendalikan oleh ketersediaan unsur hara di dalam tanah.

Secara alami, akar berperan sebagai saluran untuk mensuplai unsur hara dan air dari tanah ke tanaman dan lokasi sintesis dan pertukaran sejumlah hormon tanaman. Dengan demikian pertumbuhan akar yang normal menjamin perkembangan tajuk.

Inokulasi rizobakteri *Azotobacter* pemfiksasi N dan penghasil fitohormon merupakan salah satu input yang dapat memenuhi kebutuhan bibit tersebut.

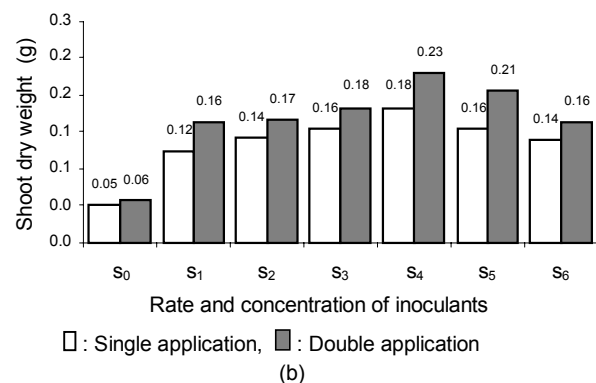
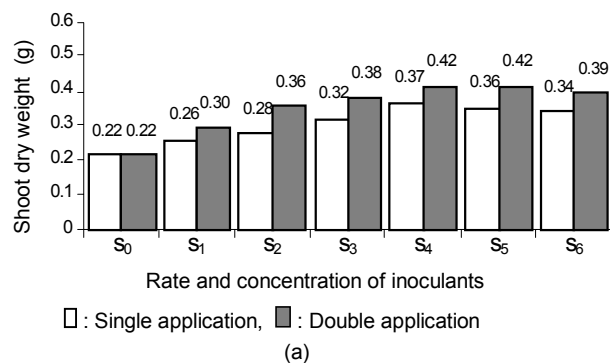
Nitrogen adalah salah satu unsur hara utama yang sangat penting dalam seluruh proses biokimia di tanaman. Di dalam tanah, sumber nitrogen adalah bahan organik, pupuk kandang, sisa tanaman yang terdekomposisi, fiksasi nitrogen biologis, air irigasi dan pupuk anorganik (Laegreid *et al*, 1999). Kekurangan nitrogen pada pembibitan seringkali membatasi pertumbuhan dan kualitas bibit. Dalam sistem nutrisi tanaman yang terintegrasi, kesehatan tanah yang berhubungan dengan ketersediaan nitrogen dapat dicapai dengan menyeimbangkan input sumber nitrogen dari pupuk anorganik dan dari mikroorganisme pemfiksasi nitrogen.

Dikemukakan oleh Krishnamoorthy (1981), di dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman sering ditemukan satu atau lebih fitohormon pada waktu yang bersamaan. Adapun kelompok tanaman yang paling banyak memanfaatkan fitohormon ini menurut Manurung (1987) adalah kelompok tanaman hortikultura, tanaman pangan, tanaman industri, tanaman perkebunan dan tanaman kehutanan. Dengan demikian kemampuan *Azotobacter* dalam memproduksi hormon sitokinin dan giberelin sangat menguntungkan mengingat kedua fitohormon tersebut berperan dalam perkembangan dan pembelahan sel (Taiz & Zeiger 1991).

Sampai saat ini, Inokulan *Azotobacter* diperbanyak di dalam kultur cair bebas N yang diaplikasikan dengan cara menyiramkan ke daerah perakaran tanaman. Inokulan cair ini memiliki kelebihan yaitu selama inkubasi untuk memperbanyak sel bakteri, kondisi media yang bebas nitrogen mendorong ekskresi N tersedia hasil fiksasi oleh bakteri ke dalam media dan menginduksi pembentukan fitohormon oleh bakteri. N tersedia dan fitohormon ini, di samping sel bakteri, merupakan komponen penting untuk mempertahankan fungsi tanah sebagai media pertumbuhan tanaman.

Sejumlah percobaan yang telah kami lakukan memperlihatkan bahwa inokulasi *Azotobacter* pada kecambah tanaman sayuran berumur 1 minggu tidak mengganggu perkembangan akar. Dalam hal ini meskipun *Azotobacter* menghasilkan fitohormon,

diduga tidak terdapat ketidakseimbangan hormonal di media tumbuh yang diperlihatkan dengan pertumbuhan akar yang normal. Tidak terdapat akar yang memendek, maupun menebal dan tidak ditemukan pengurangan panjang maupun densitas bulu akar. Pengaruh positif inokulasi *Azotobacter* terhadap perkembangan akar dan tajuk bibit terlihat pada hasil percobaan inokulasi pada bibit tomat pada Gambar 1 di atas. (Hindersah *et al*, 2003c). Pada percobaan di atas, bibit ditanam di tanah yang mengandung pupuk kandang tanpa penambahan pupuk anorganik. Jelas terlihat bahwa inokulasi berbagai konsentrasi dan dosis *Azotobacter* dengan nyata memperbaiki perkembangan tajuk dan akar (Gambar 1) dan tinggi tanaman (data tidak diperlihatkan). Dibandingkan dengan tajuk, inokulasi lebih mempengaruhi perakaran seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1b.



S<sub>1</sub> = 1 mL 10<sup>8</sup> cfu/mL, S<sub>2</sub> = 2 mL 10<sup>8</sup> cfu/mL, S<sub>3</sub> = 3 mL 10<sup>8</sup> cfu/mL, S<sub>4</sub> = 1 mL 10<sup>6</sup> cfu/mL, S<sub>5</sub> = 2 mL 10<sup>6</sup> cfu/mL, S<sub>6</sub> = 3 mL 10<sup>6</sup> cfu/mL  
 Gambar 1. Pengaruh konsentrasi dan dosis inokulan *Azotobacter* terhadap berat kering tajuk (a) dan akar (b) tomat umur 21 hari setelah perkecambahan.

Peningkatan tinggi pupus dan berat kering tajuk yang sejalan dengan peningkatan konsentrasi dan dosis inokulan juga diperlihatkan pada aplikasi 10<sup>6</sup> dan 10<sup>8</sup> cfu/mL *Azotobacter* dengan dosis 2.5 dan

5.0 mL. (Hindersah *et al*, 2002b). Pada percobaan ini peningkatan pertumbuhan tajuk terhenti pada tanaman yang mendapatkan 5 mL *Azotobacter* dengan kepadatan sel  $10^8$  cfu/mL. Peningkatan yang sama diperlihatkan oleh bibit tanaman selada lettuce (*Lactuca sativa* L.) yang diberi supernatan kultur cair *Azotobacter* seperti terlihat pada Tabel 1 di bawah ini (Hindersah *et al*, 2002a).

Tabel 1. Pengaruh supernatant *A. chroococcum* terhadap berat kering tajuk bibit tanaman selada umur 21 hari setelah perkecambahan.

Konsentrasi supernatan	Berat kering (mg)	
	Tajuk	Akar
Kontrol (supernatan steril)	21.63 a*	4.55 a*
20 % supernatan di dalam 100 ml akuades	37.02 b	6.42 b
40 % supernatan di dalam 100 ml akuades	49.87 cd	7.08 b
60 % supernatan di dalam 100 ml akuades	46.68 c	7.05 b
80 % supernatan di dalam 100 ml akuades	52.85 d	7.28 b
100 % supernatan di dalam 100 ml akuades	51.38 d	7.12 b

\*Nilai dengan huruf yang sama adalah tidak nyata menurut Uji Duncan pada taraf 5 %.

Namun demikian, inokulasi *Azotobacter* pada media tanam bibit sayuran yang tidak mengandung pupuk kandang tidak dapat memperbaiki pertumbuhan bibit seperti yang dibuktikan oleh Kristanti (2002) pada bibit tanaman tomat.

Peranan nitrogen dalam pertumbuhan awal tanaman tidak diragukan lagi. Bentuk utama nitrogen di dalam tanah adalah ammonium dan nitrat yang tersedia untuk tanaman serta bahan organik yang harus mengalami dekomposisi sebelum dapat langsung diambil akar tanaman. Adanya penambahan N tersedia dalam bentuk amonium di dalam inokulan *Azotobacter* meningkatkan daya dukung tanah untuk menyokong pertumbuhan tanaman. Selama pembibitan, jumlah nitrogen yang diperlukan akan jauh lebih kecil daripada yang diperlukan tanaman pada fase pertumbuhan selanjutnya. Agaknya amonium di dalam inokulan, yang akan dikonversi menjadi nitrat saat diinokulasikan ke tanah yang aerob, dapat mencukupi kebutuhan tanaman sayuran selama pembibitan.

Fitohormon di dalam inokulan juga berperan meregulasi pertumbuhan bibit. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman merupakan proses yang

sangat kompleks dan rumit. Kedua proses ini bergantung antara lain pada berbagai hormon yang telah diidentifikasi sebagai IAA, giberelin, sitokinin, etilen dan asam absisat. Walaupun hormon di atas memiliki fungsi tertentu, pertumbuhan dan perkembangan tanaman merupakan hasil interaksi aktivitas kelima hormon di atas (Taiz & Zeiger 1991).

Tidak bisa diabaikan bahwa *Azotobacter* mendukung fungsi tanah sebagai media pertumbuhan tanaman karena rizobakteri ini memiliki aktivitas lain yang berkenaan dengan kesehatan tanah. *Azotobacter* juga memproduksi ferrisiderofor (Page 1987) pada kondisi kahat besi; mengakumulasi polimer poli- $\beta$ -hidroksibutirat (pHB) (Page & Knops 1989) yang berperan sebagai cadangan makanan dan merupakan indikator kemampuan rizobakteri ini dalam bioremediasi tanah terkontaminasi minyak, melarutkan fosfat anorganik (Kumar & Narula 1999); memproduksi asam pantotenik dan tiamin pada kondisi *adiazotrophic* (Martinez-Toledo *et al*, 1996) dan melakukan dehalogenasi senyawa senobiotik (Zaborina *et al*, 1995).

Pengaruh inokulasi *Azotobacter* melalui akar terhadap tinggi tajuk ternyata diperkuat oleh inokulasi

Tabel 2. Pengaruh interaksi antara inokulasi melalui Rizosfir dan Melalui Filosfir terhadap tinggi tajuk lettuce berumur 3 minggu.

Perlakuan	Tinggi tajuk (cm)	
	Tanpa inokulasi rizosfir ( $r_0$ )	Inokulasi <i>Azotobacter</i> rizosfir $10^6$ CFU/mL ( $r_1$ )
Tanpa inokulasi filsofir ( $f_0$ )	11.70 a*	13.74 a
Inokulasi <i>Azotobacter</i> filsofir $10^6$ CFU/mL ( $f_1$ )	A*	B
Inokulasi <i>Azotobacter</i> filsofir $10^7$ CFU/mL ( $f_2$ )	12.44 a	14.90 b
	A	B
	14.66 b	14.94 b
	A	A

\*Nilai dengan huruf yang sama adalah tidak nyata menurut Uji BNT pada taraf 5 %. Huruf kecil dan huruf kapital masing-masing dibaca vertikal dan horizontal.

*Azotobacter* melalui filsofir/daun (Hindersah *et al*, 2003b) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Isolat yang digunakan mampu menghasilkan hormon giberelin dan sitokinin serta memfiksasi N sehingga inokulasi *Azotobacter* melalui daun akan meningkatkan kuantitas kedua hormon yang dimanfaatkan tanaman. Nitrogen adalah unsur hara penting dalam sintesis komponen sel yang dapat

diabsorpsi tanaman melalui akar dan daun.

Peningkatan tinggi dan berat kering tajuk yang lebih tinggi pada tanaman yang mendapatkan inokulasi melalui daun dan akar merupakan konsekuensi logis dari semakin meningkatnya ketersediaan nitrogen yang dimediasi oleh kedua isolat.

Salah satu tujuan inokulasi adalah meningkatkan populasi mikroorganisme. *Azotobacter* bukanlah rizobakteri yang dominan di rizosfir. Di rizosfir tanaman sayuran yang tumbuh di tanah-tanah vulkanik, populasi rizobakteri ini hanya berkisar antara  $10^3$ - $10^4$  cfu/g yang jauh lebih kecil daripada populasi ideal bakteri tanah yaitu  $10^6$  cfu/mL. Karena itu, inokulasi perlu dilakukan karena terbukti adanya peningkatan populasi di rizosfir sebesar 5-10 kali (Hindersah *et al*, 2002b; Budiarti 2003) saat bibit tanaman dipindahtanam ke lapangan.

Peningkatan ini penting karena selain meningkatkan aktivitas *Azotobacter* dalam memfiksasi N dan memproduksi hormon, juga akan meningkatkan jumlah sel bakteri mati yang merupakan sumber nitrogen di dalam tanah setelah bakteri tersebut mengalami dekomposisi.

Namun demikian, kepekatan dan dosis inokulan yang terlalu tinggi dapat menurunkan populasi di rizosfir dibandingkan dengan tanaman yang tidak mendapatkan inokulasi (Kristanti, 2002, Hindersah *et al.*, 2002a). Penurunan ini berkaitan dengan peningkatan kompetisi nutrisi dan tempat di dalam populasi.

## KESIMPULAN

Kemampuan rizobakteri *Azotobacter* dalam memfiksasi nitrogen menjadi ammonium yang tersedia untuk tanaman dan memproduksi fitohormon merupakan indikator kemampuan rizobakteri ini untuk digunakan sebagai input dalam suatu sistem produksi tanaman yang mengutamakan kesehatan tanah. Inokulasi *Azotobacter* telah dilakukan di pembibitan tanaman sayuran, dan memperlihatkan potensi rizobakteri ini untuk meningkatkan pertumbuhan perakaran dan tajuk bibit serta mendukung peningkatan populasi *Azotobacter* di rizosfir.

## DAFTAR PUSTAKA

Abbass, Z. & Okon, Y. 1993a. Physiological properties of *Azotobacter paspali* in culture and the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* **8**: 1061-1073.

- Abbass, Z. & Okon, Y. 1993b. Plant growth promotion by *Azotobacter paspali* in the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* **8**:1075-1083.
- Budiarti, Y. 2003. Pengaruh supernatan *Azotobacter chroococcum* pada N total tanah, serapan N, populasi *A. chroococcum*, dan pertumbuhan bibit tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) pada Andisols dan Inceptisols. Skripsi. Bandung: Universitas Padjadjaran
- Davies, P.J. 1995. The Plant Hormones: Their nature, Occurance, and function. Di dalam Davies, P.J. (ed). *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publiser.
- Elliott, E.T. 1998. Rationale for developing bioindicators of soil health. Di dalam Pankhurst, C., Doube, B.M. & Gupta, V.V.S.R. (eds). *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford: CABI Publishing.
- Hindersah, R., Arief, D.H. & Sumarni, Y. 2000. Kontribusi hormonal *Azotobacter chroococcum* pada pertumbuhan kecambah jagung sistem kultur cair. *Prosiding Seminar Nasional Bioteknologi Pertanian*.
- Hindersah, R., & Setiawati, M.R. 1997. Upaya peningkatan efisiensi pemupukan N pada lahan marginal dengan metode biologis dengan inikator tanaman tomat. *Laporan Penelitian*. Bandung: LP-UNPAD.
- Hindersah, R., Setiawati, M.R. & Fitriatin, B.N. 2001. Pengaruh supernatan suspensi kultur cair *Azotobacter* terhadap pertumbuhan bibit tanaman tomat. *Laporan Penelitian*. Bandung: Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran.
- Hindersah, R., Arifin, M. & Rudiwan, Y. 2002a. Pengaruh asam humat dan supernatan *Azotobacter chroococcum* terhadap pertumbuhan bibit selada (*Lactuca Sativa* L.) pada Andisol. Makalah disampaikan pada *Seminar Tahunan Himpunan Ilmu Tanah* di Mataram.
- Hindersah, R., Setiawati, M.R. & Fitriatin, B.N. 2002b. Penentuan sumber karbon dan nitrogen untuk meningkatkan kualitas inokulan *Azotobacter* sebagai pupuk biologis pada pembibitan tomat. *Laporan Penelitian*. Bandung: Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran.
- Hindersah, R., Kalay, A.M. & Setiani Muntalif, B. 2003a. Pemanfaatan lumpur instalasi pengolahan limbah domestik: Studi pendahuluan terhadap pertumbuhan vegetatif jagung manis (*Zea mays* L. var. saccharata) dan mikroba tanah. Makalah disampaikan pada *Seminar Persatuan Mikrobiologi Indonesia*, 29-30 Agustus 2003 di Bandung
- Hindersah, R., Setiawati, M.R. & Fitriatin, B.N. 2003b. Inokulasi *Azotobacter* sp. melalui filosfir dan rizosfir pada pembibitan selada lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Laporan Penelitian*. Bandung: Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran.
- Hindersah, R., Fitriatin, B.N. & Setiawati, M.R. 2003c. *Azotobacter* application in agricultural soil management. *Proceeding International Conference on Environment and urban management*.
- Kennedy, I.R., Lily L., Pereg-Gerk, Wood, C., Deaker, R., Gilchrist, K. & Katupitiya, S. 1997. Biological nitrogen fixation in non-legumonous field crops: Facilitating the evaluation of an effective association between *Azospirillum* and wheat. *Plant and Soil* **194**: 65-79
- Krishnamoorthy, H.N. 1981. *Plant Growth Substances*. Haryana Agricultural University Hissar. New Delhi: McGraw-Hill.
- Kumar, V. & Narula, N. 1999. Solubilization of inorganic phosphate and growth emergence of wheat as affected by *Azotobacter chroococcum* Mutans. *Biol. Fertil. Soil.* **28**: 301-307.
- Laegreid, M., Bockman, O.C., & Kaarstad, O. 1999. *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. Norsk Hydro ASA: CABI Publishing.
- Martinez-Toledo, M.V., Rodelas, B., Salmeron, V., Pozo, C., & Gonzalez-Lopez, J. 1996. production of pantothenic acid and thiamine by *Azotobacter vinelandii* in a chemically defined medium and a dialyzed soil medium. *Biol. Fertil. Soil.* **22**: 131-137.
- Murdiyarso, D. 2003. *CDM: Mekanisme Pembangunan Bersih*. Jakarta: Penerbit Buku Kompas.

- Page, W.J.** 1986. Sodium-dependent growth of *Azotobacter chroococcum*. *Appl. Environ. Microbiol.* **51**: 510-514.
- Page, W.J.** 1987. Iron Dependent Production of Hydroxamate by Sodium-Dependent *Azotobacter chroococcum*. *Appl. Environ. Microbiol.* **53**: 1418-1424.
- Peoples, M.B., Herridge, D.F., & Ladha, J.K.** 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil* **174**: 3-28.
- Shantharam, S. & Mattoo, A.K.** 1997. Enhancing biological nitrogen fixation: An appraisal of current and alternative technologies for N input into plants. *Plant and Soil* **194**: 205-216.
- Simarmata, T., Sumarni, Y. & Arief, D.H.** 2003. Teknologi bioremediasi untuk mempertahankan keberlanjutan kesehatan tanah dan produktivitas tanaman pada ekosistem lahan kering dalam era pertanian ramah lingkungan di Indonesia. Makalah dipresentasikan pada *Seminar Kajian Keilmuan Pertanian Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran Bandung* 14 Juli 2003.
- Sparling, G.P.** 1998. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicator of soil health. Didalam Pankhurst, C., Doube, B.M. & Gupta, V.V.S.R. (eds). *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford: CABI Publishing.
- Taller, B.J. & Wong, T.Y.** 1989. Cytokinins in *Azotobacter vinelandii* Culture Medium. *Appl. Environ. Microbiol.* **55**: 266-267.
- Taiz, L. & Zeiger, E.** 1991. *Plant Physiology*. California: The Benjamin/Cumming.
- Vancura, V.** 1988. Microorganisms, their mutual relation and functions in the rhizosphere. Di dalam Vancura, V. & Kunc, F. (eds.). *Soil Microbial Association*. Praha: Elsevier.
- Werner, D.** 1992. *Symbiosis of Plant and Microbes*. London: Chapman and Hall.
- Zaborina, O., Latus, M., Eberspacher, J., Golovleva, L.A. & Lingens, F.** Purification and characterization of 6-chlorohydroxyquinol 1,2-dioxygenase from *Streptomyces rechei* 303: Comparison with an analogous enzyme from *Azotobacter* sp. strain GP1. *J. Bacteriol.* **177**: 229-234.