

## **Produksi dan nutrisi kedelai dengan inokulasi ganda (cendawan mikoriza arbuskular + *Bradyrhizobium japonicum*) dan pemupukan fosfat**

*(Yield and nutrition of soybean with dual inoculation (mycorrhizal arbuscular fungi + *Bradyrhizobium japonicum*) and phosphate fertilization)*

**R. Anggarani (1), D.R. Lukiwati (1), dan D. Wulandari (2)**

1. Department of Agriculture, Faculty of Animal and Agricultural Science,  
Diponegoro University, Tembalang Campus, Semarang 50275 – Indonesia

2. Environmental Engineering, Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta 55584 - Indonesia

Corresponding E-mail: [rizkianggarani.artha@gmail.com](mailto:rizkianggarani.artha@gmail.com)

### **ABSTRACT**

The use of rock phosphate with mycorrhizal arbuscular fungi and rhizobium inoculation can be an alternative source to replace SP-36 role to increase soybean production. The objective of the research was to evaluate the effect of dual inoculation (Mycorrhizal Arbuscular Fungi + *Bradyrhizobium japonicum*) and phosphate fertilization on dry weight, N and P straw concentration of soybean. The study used monofactor completely randomized design with five replications of treatments T0 (control), T1 (RP fertilizer), T2 (SP-36 fertilizer), T3 (mycorrhizal inoculation), T4 (*B. japonicum* inoculation), T5 (mycorrhizal + RP), T6 (mycorrhizal + SP-36), T7 (*B. japonicum* + RP), T8 (*B. japonicum* + SP-36), T9 (dual inoculation), T10 (dual inoculation + RP), T11 (dual inoculation + SP-36). Parameters measured were seed weight, dry weight, N and P concentration of soybean straw. Data were analyzed by anova and DMRT at  $\alpha = 5\%$ . The results showed that T10 was non significant different on seed weight with T2. The T10 was higher in N and P straw concentration compared to T2 respectively. The use of RP with single mycorrhizal or double inoculation could be recommended source of P to replace SP-36.

Keywords: Dry weight, mycorrhiza, rhizobium, rock phosphate, soybean

### **ABSTRAK**

Penggunaan batuan fosfat (BP) dengan inokulasi cendawan mikoriza arbuskular (CMA) dan rhizobium diharapkan mampu menggantikan peran SP-36 untuk meningkatkan produksi kedelai. Penelitian bertujuan untuk mengkaji pengaruh inokulasi ganda (Cendawan Mikoriza Arbuskular + *Bradyrhizobium japonicum*) dan pemupukan fosfat terhadap produksi dan nutrisi kedelai. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) monofaktor lima ulangan dengan perlakuan T0 (kontrol), T1 (pupuk BP), T2 (pupuk SP-36), T3 (inokulasi CMA), T4 (inokulasi *B. japonicum*), T5 (CMA + BP), T6 (CMA + SP-36), T7 (*B. japonicum* + BP), T8 (*B. japonicum* + SP-36), T9 (inokulasi ganda), T10 (inokulasi ganda + BP), T11 (inokulasi ganda + SP-36). Parameter yang diamati adalah berat biji, berat kering jerami, kadar N dan P jerami kedelai. Data dianalisis ragam dan uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf  $\alpha = 5\%$ . Hasil biji dan berat kering jerami T10 tidak berbeda nyata terhadap T2. Perlakuan T10 menghasilkan kadar N dan P jerami nyata lebih tinggi dibanding perlakuan T2. Penggunaan BP dengan inokulasi CMA tunggal maupun ganda dapat menjadi alternatif sumber P yang lebih ramah lingkungan dibanding SP-36.

Kata Kunci: Berat kering, batuan fosfat, kedelai, mikoriza, rhizobium

## PENDAHULUAN

Kedelai merupakan salah satu jenis legum yang bersimbiosis mutualistik dengan bakteri rhizobium dan cendawan mikoriza arbuskular (CMA). Rhizobium dan CMA masing-masing berkontribusi dalam fiksasi N dan serapan P tanaman. Sebaliknya, kedua mikroorganisme tersebut mendapatkan fotosintat tanaman inang. Cendawan MA memperoleh 16 % (Kaschuk *et al.*, 2009) sementara rhizobium memperoleh 30 % fotosintat dari tanaman inang (Provorov dan Tikhonovich, 2003). Meskipun rhizobium berkontribusi dalam fiksasi N, banyak penelitian menunjukkan bahwa secara tidak langsung CMA juga berperan dalam serapan N tanaman. Tanaman yang diinokulasi CMA menghasilkan jumlah nodul lebih banyak sehingga meningkatkan nutrisi N tanaman buncis (Mortimer *et al.*, 2008). Nodul memerlukan P dalam jumlah banyak sebagai energi untuk memfiksasi N (Xavier dan Germida, 2002). Tanaman mentransfer P sebanyak 20 % untuk metabolisme dalam nodul (Suliaman dan Tran, 2015).

Kedelai memerlukan P untuk merangsang pembentukan polong. Defisiensi P dapat menghambat pembentukan ATP yang diperlukan selama proses fotosintesis (Hernandez dan Munne-Bosch, 2015). Kebutuhan P tanaman selama ini diatasi dengan penggunaan pupuk superphosphate (SP-36) dengan harga relatif mahal. Bahan baku utama pembuatan pupuk SP-36 adalah batuan fosfat (BP) dengan kadar  $P_2O_5$  berkisar 19 – 36 % (El-Yazid dan Abou-Aly, 2011). Konversi BP menjadi SP membutuhkan biaya ekstra untuk penambahan asam sulfat sehingga mudah larut dalam tanah netral (Mahanta dan Rai, 2008). Aplikasi BP pada tanah dengan pH lebih dari 5,5 tidak dapat tersedia bagi tanaman (Kaur dan Reddy, 2015). Kelarutan BP sebagai pupuk dapat ditingkatkan dengan adanya inokulasi CMA pada tanaman. Cendawan MA menghasilkan enzim fosfatase yang meningkatkan kelarutan P sehingga dapat diserap oleh akar tanaman (Joner dan Johanson, 2000).

Beberapa penelitian menunjukkan pengaruh inokulasi ganda (CMA + rhizobium) serta inokulasi CMA dan BP dapat meningkatkan hasil tanaman. Inokulasi ganda menghasilkan berat kering tajuk kedelai lebih tinggi dibanding tanpa

inokulasi (Bertham, 2007). Inokulasi ganda meningkatkan kadar N dan P tajuk tanaman buncis masing-masing 29% dan 40 % dibanding rhizobium tunggal (Tajini *et al.*, 2012). Cendawan MA mentransfer tiga kali lebih banyak P untuk fiksasi oleh rhizobium (Bulgarelli *et al.*, 2017). Penggunaan BP dengan inokulasi CMA menunjukkan hasil biji kedelai lebih tinggi dibanding tanpa inokulasi (Mahanta *et al.*, 2018).

Sampai saat ini belum pernah ditemukan pasangan *Bradyrhizobium japonicum* dan CMA serta aplikasi BP secara bersamaan untuk meningkatkan produksi dan nutrisi kedelai. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh inokulasi ganda yaitu *B. japonicum* dan CMA serta pemupukan fosfat terhadap hasil biji, berat kering, serta kadar N dan P jerami kedelai.

## MATERI DAN METODE

Penelitian telah dilakukan pada tanggal 19 September 2017 – 13 April 2018 di *Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology* (SEAMEO BIOTROP), Bogor; Laboratorium Fisiologi dan Pemuliaan Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang; dan Laboratorium Kimia, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

### Materi

Bahan crude inokulum *Glomus mosseae* dan *B. japonicum* serta benih kedelai varietas Wilis masing-masing diperoleh dari Laboratorium Silvikultur SEAMEO BIOTROP, Bogor; Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta; dan Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Malang. Digunakan juga pupuk urea, KCl, SP-36, BP dan bahan kimia pendukung analisis di laboratorium. Perlengkapan yang digunakan antara lain pot kapasitas 5 kg tanah dan peralatan penunjang analisis di laboratorium.

### Metode

Tanah ultisol dari lahan SEAMEO BIOTROP, Bogor dianalisis untuk mengetahui kadar N, P, K, pH, C-organik, dan rasio C/N (Tabel 1). Tanah steril ditempatkan dalam pot

Tabel 1. Hasil Analisis Kimia Tanah Awal Penelitian

Unsur	Kadar	Kriteria *)
N (%)	0,18	Rendah
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,14	Sangat rendah
K <sub>2</sub> O (%)	0,09	Sangat rendah
pH	6,10	Agak masam
C-organik (%)	1,85	Rendah
Rasion C/N	10,27	Sedang

Keterangan : \*) Balai Penelitian Tanah, 2009.

kapasitas 5 kg. Pupuk KCl sebagai pupuk dasar diberikan sebanyak 0,8 gram/pot (50 kg K<sub>2</sub>O/ha) bersamaan dengan waktu tanam benih. Setiap pot ditanamkan 5 benih kedelai yang telah diinokulasi *B. japonicum* (5,2 x 10<sup>6</sup> cfu/ml) sesuai dengan perlakuan.

Penanaman telah dilakukan pada tanggal 11 Oktober 2017. Penjarangan menjadi 2 tanaman dilakukan saat tanaman berumur 13 hari setelah tanam (HST). Pupuk urea diberikan 14 HST sebanyak 0,4 gram/pot (23 kg N/ha). Ajir bambu diberikan pada setiap pot untuk menyangga tumbuhnya tanaman. Pupuk BP dan SP-36 diberikan 21 HST, masing-masing sebanyak 2,26 gram/pot dan 1,2 gram/pot (54 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). Perawatan tanaman meliputi penyiraman, penyiangan, dan pengendalian organisme pengganggu dilakukan bila diperlukan. Panen telah dilakukan pada tanggal 3 Januari 2018 (84 HST). Parameter yang diamati adalah berat biji, berat kering jerami, kadar N dan P jerami kedelai.

#### Rancangan Penelitian dan Analisis Data

Penelitian telah dilaksanakan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) monofaktor. Perlakuan yang diberikan adalah T0 (kontrol), T1 (pupuk BP), T2 (pupuk SP-36), T3 (inokulasi CMA), T4 (inokulasi *B. japonicum*), T5 (CMA + BP), T6 (CMA + SP-36), T7 (*B. japonicum* + BP), T8 (*B. japonicum* + SP-36), T9 (inokulasi ganda), T10 (inokulasi ganda + BP), T11 (inokulasi ganda + SP-36). Perlakuan diulangi sebanyak lima kali. Data dianalisis ragam dan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf  $\alpha = 5\%$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Produksi Kedelai

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi dan pemupukan fosfat berpengaruh nyata ( $P < 0,05$ ) terhadap berat biji dan berat kering jerami kedelai. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa perlakuan pupuk BP (T1) menghasilkan berat biji 0,34 g/pot tidak berbeda nyata terhadap kontrol (T0) 0,18 g/pot. Perlakuan inokulasi CMA (T3) menghasilkan berat biji 6,21 g/pot tidak berbeda nyata terhadap perlakuan pupuk SP-36 (T2) 6,42 g/pot tetapi nyata lebih tinggi dibanding perlakuan T1. Perlakuan CMA + pupuk BP (T5) menghasilkan berat biji 6,39 g/pot tidak berbeda nyata terhadap CMA + pupuk SP-36 (T6) 6,58 g/pot. Perlakuan inokulasi *B. japonicum* + pupuk BP (T7) menghasilkan berat biji 0,31 g/pot nyata lebih rendah dibanding inokulasi *B. japonicum* + pupuk SP-36 (T8). Perlakuan inokulasi ganda (T9) menghasilkan berat biji 6,40 g/pot tidak berbeda nyata terhadap inokulasi ganda + pupuk BP (T10) 6,96 g/pot dan inokulasi ganda + pupuk SP-36 (T11) 7,41 g/pot.

Hasil biji T4 yang rendah karena tidak adanya P yang ditambahkan ke dalam tanah. Perlakuan T1 dan T7 menghasilkan biji yang rendah karena BP yang diberikan memiliki tingkat kelarutan rendah sehingga ketersediaan P terbatas. Perlakuan T10 menghasilkan biji 6,96 g/pot tidak berbeda nyata terhadap perlakuan T2 6,42 g/pot. Salah satu faktor berpengaruh terhadap hasil biji adalah ketersediaan P. Terpenuhinya kebutuhan P tanaman dapat meningkatkan produksi tanaman.

Tabel 2. Hasil Biji dan Berat Kering Jerami Kedelai pada Berbagai Perlakuan Inokulasi dan Pemupukan Fosfat

Perlakuan	Hasil Biji	Berat Kering Jerami
	.....g/pot.....	
T0. Kontrol	0,18 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,52 ± 0,04 <sup>c</sup>
T1. BP	0,34 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,52 ± 0,08 <sup>c</sup>
T2. SP-36	6,42 ± 0,44 <sup>a</sup>	3,36 ± 0,41 <sup>ab</sup>
T3. CMA	6,21 ± 0,26 <sup>a</sup>	2,62 ± 0,35 <sup>b</sup>
T4. <i>B. japonicum</i>	0,16 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,58 ± 0,04 <sup>c</sup>
T5. CMA + BP	6,39 ± 0,31 <sup>a</sup>	3,21 ± 0,45 <sup>ab</sup>
T6. CMA + SP-36	6,58 ± 0,61 <sup>a</sup>	4,13 ± 0,50 <sup>a</sup>
T7. <i>B. japonicum</i> + BP	0,31 ± 0,12 <sup>b</sup>	0,65 ± 0,03 <sup>c</sup>
T8. <i>B. japonicum</i> + SP-36	6,72 ± 0,57 <sup>a</sup>	4,42 ± 0,76 <sup>a</sup>
T9. Ganda (CMA + <i>B. japonicum</i> )	6,40 ± 0,52 <sup>a</sup>	3,38 ± 0,44 <sup>ab</sup>
T10. Ganda + BP	6,96 ± 0,26 <sup>a</sup>	3,22 ± 0,27 <sup>ab</sup>
T11. Ganda + SP-36	7,41 ± 0,47 <sup>a</sup>	4,58 ± 0,70 <sup>a</sup>

Keterangan : Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ( $P < 0,05$ ), untuk  $n = 5 \pm$  standar eror

Unsur P berperan dalam fase vegetatif untuk membentuk bunga, buah, biji, serta meningkatkan kualitas hasil tanaman (Damanik *et al.*, 2011).

Cendawan MA dapat meningkatkan penyerapan unsur P sehingga hasil biji juga mengalami peningkatan. Enzim fosfatase yang dihasilkan oleh CMA dapat melarutkan P dari pupuk BP (Joner dan Johanson, 2000). Hifa eksternal CMA menyerap P tanah kemudian diteruskan ke hifa internal dalam bentuk polifosfat, diubah menjadi P anorganik dalam arbuskel untuk ditransfer ke tanaman (Smith dan Read, 2008).

Berdasarkan Tabel 2, perlakuan pupuk BP (T1) menghasilkan berat kering jerami tidak berbeda nyata terhadap kontrol (T0) yaitu 0,52 g/pot. Perlakuan pupuk SP-36 (T2) menghasilkan berat kering jerami 3,36 g/pot nyata lebih tinggi dibanding T1. Perlakuan inokulasi CMA (T3) menghasilkan berat kering jerami 2,62 g/pot nyata lebih tinggi dibanding inokulasi *B. japonicum* (T4) 0,58 g/pot. Perlakuan CMA + pupuk BP (T5) menghasilkan berat kering jerami 3,21 g/pot tidak berbeda nyata terhadap CMA + pupuk SP-36 (T6) 4,13 g/pot. Perlakuan *B. japonicum* + pupuk BP (T7) menghasilkan berat kering jerami 0,65 g/pot nyata lebih rendah dibanding *B. japonicum* + pupuk SP-36 (T8) 4,42 g/pot. Perlakuan inokulasi

ganda (T9) menghasilkan berat kering jerami 3,38 g/pot tidak berbeda nyata terhadap inokulasi ganda + pupuk BP (T10) 3,22 g/pot dan perlakuan inokulasi ganda + pupuk SP-36 (T11) 4,58 g/pot.

Perlakuan T1, T4, dan T7 menghasilkan berat kering jerami yang rendah karena kurangnya ketersediaan unsur hara terutama N dan P. Perlakuan T10 menghasilkan berat kering jerami 3,22 g/pot tidak berbeda nyata terhadap T2 3,36 g/pot. Selain meningkatkan serapan hara P dari pupuk BP, CMA juga mengoptimalkan serapan unsur hara lain sehingga mampu meningkatkan bahan kering tanaman. Cendawan MA juga membantu meningkatkan serapan hara N, K, Mg, dan Ca (Lehman *et al.*, 2014). Hifa CMA berdiameter 2 – 4  $\mu\text{m}$  sehingga mudah menembus tanah yang tidak dapat dijangkau oleh akar tanaman (Mahanta *et al.*, 2014).

#### Nutrisi Kedelai

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi dan pemupukan fosfat berpengaruh nyata ( $P < 0,05$ ) terhadap kadar N dan P jerami kedelai. Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa perlakuan perlakuan pupuk SP-36 (T2) menghasilkan kadar N jerami 0,57 % tidak berbeda nyata terhadap CMA + BP (T5) 0,52

Tabel 3. Kadar N Jerami, P Jerami, dan P Biji Kedelai pada Berbagai Perlakuan Inokulasi dan Pemupukan Fosfat

Perlakuan	Kadar N Jerami	Kadar P Jerami
	.....%.....	
T0. Kontrol	0,17 ± 0,005 <sup>g</sup>	0,16 ± 0,005 <sup>fg</sup>
T1. BP	0,19 ± 0,005 <sup>g</sup>	0,17 ± 0,004 <sup>ef</sup>
T2. SP-36	0,57 ± 0,076 <sup>de</sup>	0,18 ± 0,004 <sup>de</sup>
T3. CMA	0,78 ± 0,093 <sup>bc</sup>	0,13 ± 0,011 <sup>g</sup>
T4. <i>B. japonicum</i>	0,15 ± 0,005 <sup>g</sup>	0,15 ± 0,009 <sup>fg</sup>
T5. CMA + BP	0,52 ± 0,008 <sup>e</sup>	0,27 ± 0,004 <sup>b</sup>
T6. CMA + SP-36	0,77 ± 0,092 <sup>bc</sup>	0,20 ± 0,017 <sup>d</sup>
T7. <i>B. japonicum</i> + BP	0,33 ± 0,004 <sup>f</sup>	0,16 ± 0,006 <sup>fg</sup>
T8. <i>B. japonicum</i> + SP-36	0,71 ± 0,084 <sup>cd</sup>	0,24 ± 0,013 <sup>c</sup>
T9. Ganda	0,91 ± 0,052 <sup>ab</sup>	0,27 ± 0,005 <sup>b</sup>
T10. Ganda + BP	0,78 ± 0,022 <sup>bc</sup>	0,30 ± 0,007 <sup>a</sup>
T11. Ganda + SP-36	0,99 ± 0,112 <sup>a</sup>	0,27 ± 0,006 <sup>b</sup>

Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ( $P < 0,05$ ), untuk  $n = 5 \pm$  standar eror

% dan *B. japonicum* + SP-36 (T8) 0,71 %. Perlakuan inokulasi CMA (T3) menghasilkan kadar N jerami 0,78 % nyata lebih tinggi dibanding T2, tetapi tidak berbeda nyata terhadap CMA + pupuk SP-36 (T6), *B. japonicum* + SP-36 (T8), inokulasi ganda (T9), dan inokulasi ganda + BP (T10) masing-masing 0,77; 0,71; 0,91; dan 0,78 %. Perlakuan pupuk BP (T1) dan inokulasi *B. japonicum* (T4) menghasilkan kadar N jerami masing-masing 0,19 % dan 0,15 % nyata lebih rendah dibanding perlakuan lain. Inokulasi ganda + pupuk SP-36 (T11) menghasilkan kadar N jerami 0,99 % tidak berbeda nyata terhadap T9 tetapi nyata lebih tinggi dibanding perlakuan lain.

Perlakuan T10 menghasilkan kadar N jerami 0,78 g/pot nyata lebih tinggi dibanding perlakuan T2 yaitu 0,57 g/pot. Perlakuan T1 dan T7 menghasilkan kadar N jerami nyata lebih rendah dibanding perlakuan lain karena belum terpenuhinya kebutuhan P tanaman sehingga menghambat penyerapan N. Aplikasi BP secara langsung sukar larut dalam air sehingga belum mampu memenuhi kebutuhan P tanaman. Enzim fosfatase yang dihasilkan CMA mampu melarutkan P dari pupuk BP sehingga dapat diserap oleh akar tanaman.

Perlakuan T4 dan T7 menghasilkan kadar N

jerami yang rendah karena inokulum *B. japonicum* yang diberikan memiliki jumlah koloni  $5,2 \times 10^6$  cfu/ml sehingga potensinya untuk memfiksasi  $N_2$  juga rendah. Jumlah koloni untuk menghasilkan inokulum Rhizobium yang optimal adalah  $10^8 - 10^9$  cfu/ml (Elkan, 1987). Adanya inokulasi CMA dapat membantu menyumbangkan unsur P yang diperlukan dalam fiksasi  $N_2$  oleh *B. japonicum*.

Cendawan mikoriza arbuskular juga menghasilkan hormon auksin dan sitokinin untuk mendukung penyerapan air dan unsur hara oleh akar (Muis *et al.*, 2013). Terpenuhinya kebutuhan unsur hara dapat meningkatkan produksi karbohidrat sehingga mampu memberikan energi bagi *B. japonicum* dalam memfiksasi  $N_2$  udara dan meningkatkan kadar N tanaman.

Berdasarkan Tabel 3, perlakuan inokulasi ganda + pupuk BP (T10) menghasilkan kadar P jerami 0,30 % nyata lebih tinggi dibanding perlakuan lain (Tabel 4; Lampiran 6). Perlakuan CMA + pupuk BP (T5), inokulasi ganda (T9), dan inokulasi ganda + pupuk SP-36 (T11) menghasilkan kadar P jerami masing-masing 0,27; 0,27; dan 0,26 %. Hasil tersebut nyata lebih tinggi dibanding kontrol (T0), pupuk BP (T1), pupuk SP-36 (T2), inokulasi CMA (T3), inokulasi *B.*

*japonicum* (T4), CMA + pupuk SP-36 (T6), *B. japonicum* + pupuk BP (T7), dan *B. japonicum* + pupuk SP-36 (T8) masing-masing 0,16; 0,17; 0,18; 0,13; 0,15; 0,20; 0,16 dan 0,24 %.

Perlakuan pupuk BP (T1) yang diaplikasikan langsung ke media tanam belum mampu memenuhi kebutuhan P tanaman. Aplikasi BP akan lebih efektif apabila didampingi dengan inokulasi CMA. Hifa CMA memproduksi enzim fosfatase yang dapat melarutkan P tanah sehingga dapat diserap oleh akar (Joner dan Johanson, 2000). Hara P diserap oleh hifa eksternal, diteruskan ke hifa internal dalam bentuk polifosfat, kemudian dalam arbuskel diubah menjadi P anorganik untuk ditransfer ke tanaman (Smith dan Read, 2008). Cendawan MA mampu meningkatkan serapan hara P tanaman kedelai sampai dengan 30% (Mahanta *et al.*, 2018).

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa inokulasi ganda (CMA + *B. japonicum*) dilengkapi pupuk BP menghasilkan produksi dan nutrisi kedelai setara dengan pupuk SP-36 dan lebih tinggi dibanding perlakuan lain.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. Indofood Sukses Makmur Tbk. yang telah memberikan bantuan dana penelitian melalui program Indofood Riset Nugraha 2017-2018.

### DAFTAR PUSTAKA

- Balai Penelitian Tanah. 2009. Analisis Kimia Tanah, Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian, Bogor.
- Bertham, R. Y. H. 2007. Inokulasi ganda fungi mikoriza arbuskula dan rhizobium lokal meningkatkan pertumbuhan dan hasil tiga genotipe kedelai di Ultisol, Bengkulu, Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Mikoriza II. Bogor, 17 – 21 Juli 2007. Hal. 11 – 19.
- Bulgarelli, R. G., F. C. C. Marcos, and R. V.

Ribeiro. 2017. Mycorrhizae enhance nitrogen fixation and photosynthesis in phosphorus-starved soybean (*Glycine max* L. Merrill). Environmental and Experimental Botany 140 : 26 – 33.

- Catford, J. G., C. Staehelin, S. Lerat, Y. Piche, dan H. Vierheilig. 2003. Suppression of arbuscular mycorrhizal colonization and nodulation in split-root systems of alfalfa after pre-inoculation and treatment with nod factors. J. Exp. Bot. 54 : 1481 – 1487.
- Damanik, M. M. B., H. Hanum, dan S. Syarifuddin. 2011. Kesuburan Tanah dan Pemupukan. Universitas Sumatera Utara Press, Medan.
- Elkan, G. H. 1987. Symbiotic Nitrogen Fixation Technology. Department of Micorbiology, North Carolina State University Raleigh, Carolina.
- El-Yazid, A. and H. E. Abou-Aly. 2011. Enhancing growth, productivity and quality of tomato plants using phosphate solubilizing microorganism. Aust. J. of Basic Appl. Sci. 5 : 371 – 379.
- Hernandez, I. and S. Munne-Bosch. 2015. Linking phosphorus availability with photo-oxidative stress in plants. J. Exp. Bot. 66 : 2889 – 2900.
- Joner, E. J. and A. Johansen. 2000. Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi. Mycol. Res. 104 : 81 – 86.
- Kaschuk, G. T. W. Kuyper, P. A. Leffelaar, M. Hungaria, dan K. E. Giller. 2009. Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? Soil Biol. Biochem. 41 : 1233 – 1244.
- Kaur, G. dan M. S. Reddy. 2015. Effects of Phosphate-Solubilizing Bacteria, Rock Phosphate and Chemical Fertilizers on Maize-Wheat Cropping Cycle and

- Economics. *Pedosphere* 25 (3) : 428 – 437.
- Lehmann, A., S. D. Veresoglou, E. F. Leifheit, and M. C. Rillig. 2014. Arbuscular mycorrhizal influence on plant nutrition in crop plants—a meta analysis. *Soil Biol. Biochem.* 69 : 123 – 131.
- Mahanta, D., R. K. Rai, S. D. Mishra, A. Raja, T. J. Purakayastha, and E. Varghese. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crop. Res.* 166 : 1 – 9.
- Mahanta, D. Dan R. K. Rai. 2008. Effects of sources of phosphorus and biofertilizers on productivity and profitability of soybean-wheat system. *Indian J. Agron.* 53 : 279 – 284.
- Mahanta, D., R. K. Rai, S. Dhar, E. Varghese, A. Raja, and T. J. Purakayastha. 2018. Modification of root properties with phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhiza to reduce rock phosphate application in soybean-wheat cropping system. *Ecological Engineering* 111 : 31 – 43.
- Mortimer, P. E., A. M. Perez-Fernandez, dan A. J. Valentine. 2008. The role of arbuscular mycorrhizal colonization in the carbon and nutrient economy of the tripartite symbiosis with nodulated *Phaseolus vulgaris*. *Soil Biology and Biochemistry* 40 : 1019 – 1027.
- Muis, A., D. Indradewa, dan J. Widada. 2013. Pengaruh inokulasi mikoriza arbuskular terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) pada berbagai interval penyiraman. *Vegetalika* 2 (2) : 7 – 20.
- Provorov, N. A. dan I. A. Tikhonovich. 2003. Genetic resources for improving nitrogen fixation in legume-rhizobia symbioses. *Genetic Research in Crop Evolution* 359 : 907 – 918.
- Smith, S. E. and D. J. Read. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Third Edition. Academic Press, United State of America.
- Suliman, S. dan L. Tran. 2015. Phosphorus homeostasis in legume nodules as an adaptive strategy to phosphorus deficiency. *Plant Sci.* 239 : 36 – 43.
- Tajini, F., M. Trabelsi, and J. Drevon. 2012. Combined inoculation *Glomus intraradices* and *Rhizobium tropici* CIAT899 increases phosphorus use efficiency for symbiotic nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences* 19 : 157 – 163.
- Xavier, L. and J. Germida. 2002. Response of lentil under controlled conditions to co-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia varying in efficacy. *Soil Biol. Biochem.* 34 : 181 – 188.