

EVALUASI MASUKAN AGEN HAYATI PADA UJI PAKET TEKNOLOGI BUDIDAYA KEDELAI DI LAHAN KERING MASAM LAMPUNG TENGAH

Prihastuti dan Sudaryono

Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian

ABSTRAK

Populasi mikroba di lahan kering masam cukup rendah, tetapi mempunyai keragaman jenis yang tinggi. Peningkatan produktivitas lahan kering masam mutlak memerlukan introduksi mikroba. Agen hayati merupakan sel mikroba yang bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman, di mana aktivitasnya ditentukan oleh kondisi lingkungan tumbuhnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dua jenis agen hayati, yaitu yang berisi (A) bakteri *Rhizobium*, *Azospirillum* dan *Aspergillus niger*, dan (B) jamur mikoriza vesikular-arbuskular pada uji paket teknologi budidaya kedelai di lahan kering masam Lampung Tengah. Terdapat perbedaan interaksi pemberian agen hayati terhadap pertumbuhan tanaman dan hasil biji. Pemberian agen hayati (A) secara tunggal menurunkan hasil biji sekitar 4,15%, sedangkan pemberian agen hayati (B) meningkatkan hasil biji 10,88%. Pemberian kedua agen hayati meningkatkan hasil biji sekitar 5,18% daripada kontrol. Bila dibandingkan dengan pemberian agen hayati B secara tunggal, maka hasil biji pada pemberian dua jenis agen hayati secara ganda justru menurunkan hasil biji sekitar 5,14%. Lingkungan tumbuh mikroba merupakan penentu keberhasilan introduksi suatu agen hayati. Adanya perbedaan tanggapan tanaman kedelai terhadap agen hayati A dan B menunjukkan bahwa aplikasi agen hayati perlu memperhatikan kondisi lahan yang meliputi struktur kimia, fisik dan hayati, yang berfungsi sebagai media untuk tumbuh dan beraktivitas mikroba yang terkandung di dalamnya.

Kata kunci: agen hayati, hasil biji kedelai, lahan kering masam

ABSTRACT

An evaluation on incorporation of biological agents into the soybean package of technology testing on dry acid soil of Lampung Tengah. The population of soil microorganism in dry acid soil is low despite of its high biodiversity. The introduction of microorganisms into dry acid soil is totally needed to improve the plant productivity. The soil microorganisms have an important role on plant growth, whereas their activity is determined by its growth environmental condition. A field trial was undertaken to evaluate two bio-agents (A) and (B) that consisted of *Rhizobium*, *Azospirillum* and *Aspergillus niger*, and vesicular-arbuscular mycorrhizae, respectively. These two biological agents were integrated as one of component of technology on package of technology testing for soybean planted in dry acid soil in the district of Lampung Tengah. The results showed that the introduction of biological agent significantly affected soybean growth and its seed yield. Single application of bio-agent A reduced by 4.15% of seed yield. On the other hand, the application of bio-agent B increased seed yield by 10.88%. Whilst the combined application of bio-agent A and B increased soybean yield by 5.18% and it was higher than that under control treatment (without application of any bio-agent). The combined application of bio-agent A and B reduced seed yield by 5.14% compared to the seed yield obtained by the application of bio-agent B. The environmental conditions determined the progress of the introduction of soil microorganism. The different responses of soybean to the application of bio-agent A or bio-agent B suggested that we have to consider the soil condition as the medium of soil microorganism development.

Key words: biological agent, seed yield, *Glycine max*, dry acid soil

PENDAHULUAN

Lahan kering masam di Indonesia tersedia luas dan berpotensi untuk pengembangan areal tanam kedelai (Abdurrachman *et al.* 1998). Masalah kesuburan tanah lahan kering Lampung Tengah untuk budidaya kedelai adalah pH rendah (<5,0), kejenuhan Al tinggi (12–40%), Fe tersedia tinggi (41–73 ppm), status P dan K tersedia rendah. (Taufiq *et al.* 2004). Toleransi tanaman kedelai terhadap kejenuhan Al adalah 20% (Hartatik *et al.* 1987). Persyaratan fisiologis untuk pertumbuhan tanaman kedelai memerlukan pH optimal 6,2–7,0 (Halliday and Trenkel 1992).

Teknik budidaya tanaman kedelai di lahan kering masam telah banyak dilakukan, antara lain dengan penggunaan bahan organik dan kapur pertanian dalam bentuk CaCO_3 ataupun dolomit untuk meningkatkan produktivitas tanah (Kamprath 1972; Mengel *et al.* 1987). Pengapuran akan efektif jika kejenuhan kemasaman ($\text{Al}^+ \text{H}$) >10% dan pH tanah <5 (Wade *et al.* 1986). Rakitan paket teknologi yang terdiri atas beberapa komponen teknologi, baik fisik, kimia maupun hayati telah dilakukan untuk meningkatkan produktivitas tanaman kedelai di lahan kering masam (Arsyad 2004; Marwoto dan Hardaningsih 2004; Rumbaina *et al.* 2004; Taufiq *et al.* 2004). Pada kenyataan di lapang rakitan paket teknologi ini tidak selalu menunjukkan sinergisme positif dan bersifat linier terhadap peningkatan hasil (Sudaryono *et al.* 2007).

Kajian mikrobiologis lahan kering masam di Lampung Tengah menunjukkan bahwa populasi mikroba cukup rendah hanya berkisar antara 57.10^3 hingga 29.10^4 cfu/gram tanah, tetapi keragamannya cukup tinggi dan mengandung beberapa spesies mikroba yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman (Prihastuti *et al.* 2006). Adanya tingkat kelimpahan populasi mikroba tanah di lahan kering masam yang cukup rendah, maka dalam upaya pengelolaannya secara hayati mutlak diperlukan masukan kultur mikroba (Prihastuti *et al.* 2007). Kehadiran mikroba bermanfaat pada risosfer tanaman diharapkan dapat memperbaiki daerah perakaran, sehingga menjadikan kapasitas akar dalam menyerap hara dapat meningkat (Kloepper *et al.* 1989).

Prinsip utama penggunaan agen hayati pada budi daya kedelai adalah untuk membantu menyediakan unsur hara N dan atau P bagi tanaman, tanpa terjadi residu kimia pada lingkungan (Prihastuti 2007a). Beberapa faktor yang perlu diperhatikan pada introduksi agen hayati antara lain (1) mengetahui/mengenal agen hayati yang akan dipakai dan (2) bagaimana kompatibilitas dengan kondisi lahannya. Kedua hal ini sangat mutlak untuk diketahui, guna menjamin terjadinya pertumbuhan dan aktivitas sel-sel mikroba bermanfaat yang terkandung di dalamnya.

Namun demikian banyak para praktisi yang belum memahami, kapan dan bagaimana pemakaian agen hayati, sehingga dampak yang terjadi bukannya bersifat efektif dan berkelanjutan, tetapi justru terjadi penurunan hasil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi jenis agen hayati yang sesuai untuk tanaman kedelai di lahan kering masam Lampung Tengah.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di musim hujan 2005/2006 di Lampung Tengah. Dua jenis agen hayati yang digunakan yaitu (A) agen hayati yang mengandung bakteri pembentuk nodul *Rhizobium spp*, penghasil senyawa organik alami pemacu tumbuh tanaman (*Azospirillum*) dan cendawan pelarut fosfat (*Aspergillus niger*), serta (B) agen hayati yang berisi mikoriza vesikular arbuskular pada bahan pembawa zeolit.

Perlakuan yang diuji adalah: (1) Perbandingan (tanpa aplikasi mikroba), (2) aplikasi agen hayati A, (3) aplikasi agen hayati B, dan (4) aplikasi ganda agen hayati A dan B. Semua perlakuan termasuk ameliorasi tanah 518 kg CaO/Ha=1,65 t dolomit/ha, populasi tanaman 400.000, saluran drainase dengan selang 4 m, pemupukan NPK yang diberikan pada saat tanam dengan dosis 40 kg pupuk N, 36 kg pupuk P, 50 kg pupuk K/ha, dan pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) dengan pemantauan dan herbisida pra tumbuh. Dosis aplikasi agen hayati sesuai saran yang dianjurkan oleh produsennya, yaitu 200 g/ha agen hayati A dan 5 g/tanaman untuk agen hayati B. Rancangan percobaan adalah acak kelompok dengan 6 ulangan.

Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman, hasil biji, jumlah polong dan bobot 100 biji. Analisis kimia tanah meliputi pH, C-organik, N, P, K, Na, Ca, Mg, KTK, Al-dd, H-dd, dan Al. Parameter hayati yang diamati adalah jumlah bintil akar dan tingkat infeksi mikoriza pada akar, dengan jumlah sampel 3 tanaman untuk masing-masing ulangan.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan rancangan faktorial dan analisis sidik ragamnya. Apabila hasil menunjukkan perbedaan di antara perlakuan, maka dilanjutkan dengan analisis beda nyata terkecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di lahan kering masam, Lampung Tengah. Kategori lahan kering masam tergolong produktivitas nisbi tinggi, berdasarkan atas kandungan unsur-unsur hara dalam tanah (Tabel 1).

Rendahnya pH tanah mengakibatkan terjerapnya unsur P dalam tanah. Pada tanah masam, faktor yang paling penting sebagai penyebab pembatas perkembangan akar tanaman adalah kahat Ca dan keracunan Al (Adam dan Moore 1983), yang menyebabkan buruknya perkembangan akar tanaman (Foy 1984; McKenzie dan Nyborg 1984). Kemasaman tanah pada lapisan permukaan mudah diperbaiki dengan pemberian amelioran seperti kapur, namun apabila kemasaman tanah terjadi pada subsoil, maka tidak mudah untuk diperbaiki.

Salah satu upaya untuk mengatasi subsoil masam adalah dengan memodifikasi lingkungan tumbuh tanaman, yang dapat dilakukan secara kimia, fisik, maupun hayati. Penggunaan mikroba tanah sebagai agen pupuk hayati semakin banyak diminati. Walter dan Paa (1993) menyatakan bahwa berkembangnya penelitian ini setelah diketahui adanya potensi mikrobamikroba tanah dalam penyediaan unsur hara bagi tanaman, meningkatkan

Tabel 1. Hasil analisis tanah kering masam di Lampung Tengah.

Parameter	Kedalaman (0–30) cm	Kedalaman (30–60) cm
pH	4,27	4,37
C-organik (%)	1,76	1,49
Nitrogen (%)	0,05	0,04
Al (%)	26,77	28,79
Fosfat (ppm)	34,79	4,06
K (me/100 g)	0,11	0,08
Na (me/100 g)	0,14	0,10
Ca (me/100 g)	1,54	1,03
Mg (me/100 g)	0,47	0,42
KTK (me/100 g)	23,93	22,00
Al-dd (me/100 g)	0,84	0,76
H-dd (me/100 g)	0,25	0,27

produktivitas tanaman dan bersifat ramah lingkungan, dengan memperhatikan jenis agen hayati dan cara pemanfaatannya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agen hayati untuk tanaman kedelai berpengaruh pada tinggi tanaman, jumlah polong/tanaman, bobot biji, dan hasil biji (Tabel 2). Penggunaan agen hayati A secara tunggal menjadikan tanaman paling tinggi dibanding perlakuan lain. Penggunaan agen hayati A dan B secara ganda menyebabkan tanaman tumbuh lebih tinggi daripada penggunaan agen hayati B secara tunggal. Namun ini belum dapat disimpulkan bahwa bakteri *Rhizobium* yang ada pada agen hayati A bekerja cukup baik untuk memberikan pertumbuhan vegetatif tanaman lebih tinggi, mengingat agen hayati A merupakan multi isolat, selain *Rhizobium* juga mengandung jenis mikroba lainnya (*Azospirillum* dan *Aspergillus*).

Jumlah polong/tanaman yang dihasilkan pada penggunaan agen hayati ini sangat bervariasi. Pemberian agen hayati A dan B secara ganda mampu memberikan hasil polong/tanaman paling banyak (79,0/tanaman). Pemberian agen hayati A dan B secara tunggal memberikan jumlah polong/tanaman masing-masing 66,5 dan 63,0. Sinergisme antara agen hayati A dan B yang diberikan secara ganda tampak pada bobot 100 biji yang terberat yaitu sebesar 10,17 g. Hubungan antara mikroba yang terkandung dalam agen hayati A dan B tidak dapat diabaikan, karena secara bersama-sama dapat membantu pertumbuhan tanaman. Inokulasi ganda bakteri pelarut fosfat, menjadikan turunnya pH tanah di sekitar perakaran, sedangkan mikoriza diketahui mampu merangsang perkembangan awal bakteri pelarut fosfat di rizosfer (Barea *et al.* 1975 dan Azcon *et al.* 1976). Namun demikian kemampuan inokulasi ganda ditentukan oleh jenis mikroba yang digunakan. Diketahui mikoriza juga berinteraksi saling menguntungkan dengan mikroba penambat nitrogen, baik yang bersimbiosis maupun yang hidup bebas (Asimi *et al.*

Tabel 2. Tinggi tanaman, jumlah polong/tanaman dan hasil biji pada aplikasi agen hayati di lahan kering masam Lampung Tengah MH 2005/2006.

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah polong isi/ tanaman	Bobot 100 biji (gram)	Hasil biji (t/ha)
Kontrol	55,3 ^b	65,5 ^a	9,81 ^a	1,93 ^a
+ agen hayati A	60,4 ^a	66,5 ^a	9,42 ^a	1,85 ^a
+ agen hayati B	56,8 ^a	63,0 ^a	9,67 ^a	2,14 ^b
+ agen hayati A dan B	58,2 ^a	79,0 ^a	10,17 ^b	2,03 ^b

Angka-angka sekolom yang didampingi huruf yang sama tidak berbeda nyata ($P < 0,05$).

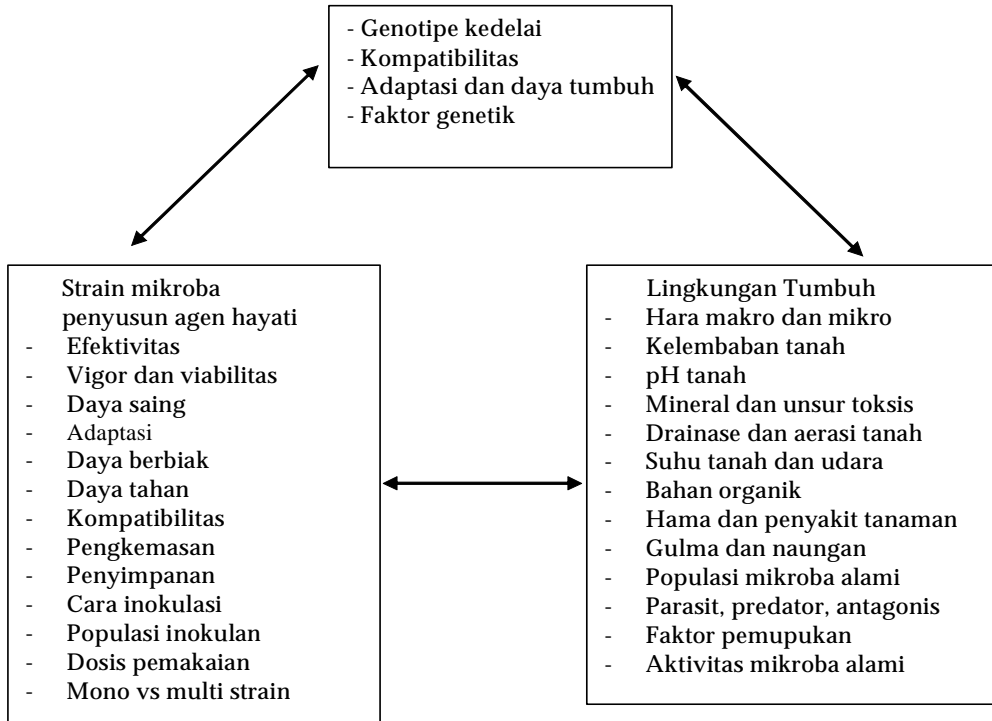
1980; Manjunath *et al.* 1984). Keadaan ini dimungkinkan oleh adanya hormon tumbuh yang dihasilkan oleh rhizobakteria (Asimi *et al.* 1980).

Pemberian agen hayati A menurunkan hasil biji sekitar 4,15%, sementara pemberian agen hayati B meningkatkan 10,88% hasil biji dan pemberian kombinasi agen hayati A dan B terjadi peningkatan hasil biji sekitar 5,18% daripada kontrol, sedangkan pemberian agen hayati A dan B secara bersama-sama telah menurunkan hasil sekitar 5,14% dari pada pemberian agen hayati B (Tabel 2).

Banyak faktor yang perlu dikemukakan untuk menjelaskan keadaan ini dan perlu dukungan data lain yang menunjukkan aktivitas kinerja masing-masing agen hayati. Efektivitas agen hayati dipengaruhi oleh faktor strain mikroba yang ada di dalamnya, lingkungan tumbuh dan genotipe tanaman. Ketiga faktor tersebut saling berkaitan satu sama lain dan merupakan kunci pokok keberhasilan introduksi agen hayati di lahan kering masam. Gambar 1 menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan introduksi agen hayati di lahan kering masam.

Komponen utama agen hayati A adalah *Rhizobium*, sehingga aktivitas kinerja dapat ditunjukkan oleh adanya bintil akar. Bakteri yang tergolong Rhizobia dikenal agak unik di antara mikroba tanah dalam kemampuannya bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan. Untuk dapat bersimbiosis, rhizobia tidak hanya harus bisa hidup secara saprofit, tetapi juga harus dapat mengalahkan rhizobia lainnya dalam upaya mendapatkan tempat infeksi akar tanaman kacang-kacangan. Kecuali beberapa strain, rhizobia tidak ada yang menambat N_2 jauh dari tanaman kacang-kacangan yang bertindak sebagai inangnya.

Perkembangan perakaran kedelai pada lokasi penelitian ini cukup baik, tetapi sedikit terbentuk bintil akar. Memperhatikan jumlah bintil akar yang terbentuk, maka penggunaan bakteri *Rhizobium* yang terdapat dalam agen hayati A dikategorikan tidak efektif dengan jumlah < 50 bintil/tanaman (Tabel 3) dan justru bersifat sebagai parasit bagi tanaman inang (Pasaribu *et al.* 1989). Nilai pH yang masam merupakan salah satu pembatas untuk



Gambar 1. Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan introduksi agen hayati di lahan kering masam (modifikasi Pasaribu *et al.* 1989).

pertumbuhan dan perkembangan *Rhizobium*. Pertumbuhan optimal bakteri *Rhizobium* terjadi pada suhu 25–30 °C dan pH antara 6–7 (Zuberer 1990).

Pemberian bahan amelioran pada kegiatan penelitian ini, tidak secara langsung dapat memperbaiki lingkungan tumbuh bagi bakteri rhizobia, sekalipun sudah berdampak baik terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai. Sudaryono *et al* (2007) menyatakan bahwa pengaruh pemberian bahan amelioran tanah sebesar 518 kg CaO/ha mampu meningkatkan hasil biji kedelai sebesar 85,56%. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian bahan amelioran pada lahan kering yang mempunyai produktivitas tinggi membantu terjadinya penetralan kemasaman tanah, sekaligus memberikan Ca sebagai hara dengan cukup.

Lingkungan tumbuh bakteri *Rhizobia* tidak hanya bergantung pada pH tanah, namun juga ditentukan oleh faktor-faktor lainnya seperti kandungan unsur-unsur kimia tanah dan populasi mikroba alami yang ada pada lahan tersebut (Gambar 1). Jumlah bintil akar yang kurang banyak dari standar memberikan gambaran bahwa bakteri *Rhizobium* yang terkandung dalam agen hayati kurang berkembang dalam lingkungan tanah kering masam atau

memang tidak mampu bersaing hidup dengan jenis mikroba lain yang terdapat pada lahan tersebut. Namun demikian tidak menutup kemungkinan mikroba lain yang terdapat di dalam agen hayati A tersebut (*Azospirillum* dan *Aspergillus*) dapat berkembang dan beraktivitas dengan baik. Agar manfaat agen hayati A dapat dioptimalkan, maka dapat disarankan untuk memperkaya multi isolat tersebut dengan bakteri yang toleran terhadap pH tanah yang masam.

Wedhastri dan Widada (2000) menyatakan bahwa keberhasilan strain rhizobia pada tanah masam tidak hanya terletak pada toleransi terhadap kemasaman, tetapi harus mampu tumbuh berkembang dalam lingkungan tanah maupun risosfer. Kombinasi sifat ini dapat dikatakan sebagai toleransi terhadap kemasaman tanah, bukan hanya toleran terhadap pH masam saja. Banyak laporan yang menunjukkan strain bakteri *Rhizobium* yang telah mengalami seleksi kemasaman secara *in vitro*, tetapi tidak berhasil mengkoloni pada pertumbuhan maupun menambat nitrogen.

Komponen utama agen hayati B adalah mikoriza, sehingga aktivitas kinerjanya dapat ditunjukkan oleh tingkat infeksi akar (Prihastuti dan Sudaryono 2006). Tingkat infeksi akar oleh mikoriza terjadi pada semua perlakuan, baik yang diinokulasi agen hayati B ataupun yang tidak diinokulasi. Prihastuti (2007^b) melaporkan bahwa pada pH tanah rendah (4,35–6,0) mikoriza alami di lahan kering masam Lampung Tengah banyak ditemukan dengan rata-rata jumlah spora mikoriza per gram tanah pada daerah risosfer sekitar 56,25–171,50. Dengan demikian terjadinya infeksi mikoriza pada perlakuan pembanding sangat dimungkinkan. Perbedaan tingkat infeksi akar yang terjadi pada masing-masing perlakuan lebih ditentukan oleh kemampuan mikoriza dan tanggap perakaran tanaman untuk berlangsungnya proses infeksi. Inokulasi agen hayati mikoriza dimaksudkan untuk meningkatkan jumlah spora yang ada, sehingga kemungkinan untuk terjadinya infeksi akar menjadi semakin besar.

Inokulasi ganda *beneficial microbial* yang terkandung dalam agen hayati menjadi pandangan yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Namun demikian kemampuan inokulasi ganda ditentukan oleh jenis mikroba yang digunakan dan lingkungan tumbuh yang menjadi media untuk perkembangan dan aktivitasnya. Sekalipun banyak laporan terjadinya peningkatan

Tabel 3. Jumlah bintil akar dan tingkat infeksi akar kedelai pada aplikasi agen hayati di lahan kering masam, Lampung Tengah MH 2005/2006.

Perlakuan	Jumlah bintil akar/ tanaman	Tingkat infeksi mikoriza (%)
Kontrol	14 ^a	40,3 ^a
+ agen hayati A	12 ^a	36,2 ^a
+ agen hayati B	21 ^b	72,5 ^b
+ agen hayati A dan B	17 ^a	60,8 ^{ab}

hasil pada inokulasi ganda agen hayati, namun dengan memperhatikan interaksi alami pada Gambar 1. maka apabila terdapat salah satu faktor yang tidak mendukung untuk berkembang dan beraktivitasnya mikroba dalam agen hayati, tidak selamanya inokulasi ganda agen hayati akan memberikan manfaat positif pada peningkatan produktivitas. Pada penelitian ini pemberian agen hayati B dengan dosis 5 g per lubang tanam dapat meningkatkan hasil biji mencapai 10,88%, namun pada kombinasi pemberian agen hayati keduanya terjadi peningkatan hasil biji sekitar 5,18% daripada kontrol, tetapi merupakan penurunan hasil sekitar 5,14% dari pada pemberian agen hayati B saja. Keadaan ini dimungkinkan kurang berkembangnya bakteri *Rhizobia* oleh kendala lingkungan tumbuh yang tidak sesuai, sehingga aktivitasnya menjadi terhambat dan justru menjadi bersifat parasit terhadap tanaman inangnya.

KESIMPULAN

Pada budidaya kedelai di lahan kering masam, Lampung Tengah, penggunaan agen hayati A (yang mengandung bakteri *Rhizobium*, *Azospirillum* dan *Aspergillus niger*) secara tunggal menurunkan hasil biji sekitar 4,15%, sedangkan pada pemberian agen hayati B (yang mengandung mikoriza) dapat meningkatkan hasil biji 10,88% dan pada pemberian keduanya meningkatkan hasil biji sekitar 5,18% daripada kontrol dan menurunkan hasil biji sekitar 5,14% daripada pemberian agen hayati B secara tunggal.

Aktivitas bakteri *Rhizobium* di lahan kering masam terkendala oleh nilai pH tanah yang rendah, sehingga pembentukan bintil akar tidak memenuhi standar efektivitas (<50 bintil akar/tanaman). Tingkat infeksi akar oleh mikoriza mencapai 36,2–72,5%, menunjukkan adanya tanggapan positif tanaman kedelai terhadap inokulasi mikoriza di lahan kering masam.

SARAN

Penggunaan agen hayati adalah menggunakan aktivitas jasad hidup yang memerlukan lingkungan tumbuh yang sesuai. Untuk lebih mengefektifkan penggunaan agen hayati, perlu dipertimbangkan kemampuan mikroba untuk tumbuh dan beraktivitas. Penggunaan mikroba alami lebih memberikan harapan untuk dikembangkan, karena sudah bersifat adaptif dan toleran terhadap lingkungan tumbuhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, A. K. Nugroho, dan A. S. Karama. 1998. Optimasi pemanfaatan sumberdaya lahan untuk mendukung program GEMA PALAGUNG 2001. Hlm. 1-11. *Dalam* Sudaryono, M. Soedarjo, H. Suyanto, A. A. Rahmianna dan A. Taufiq (Peny.). Prosiding Seminar Nasional dan Pertemuan Tahunan Komisariat Daerah Himpunan Ilmu Tanah Indonesia tahun 1998.
- Adam, F. and B. L. Moore. 1983. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of Coastal Plain Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 99–102.

- Arsyad, D. M. 2004. Varietas kedelai toleran lahan kering masam. Makalah Lokakarya Pengembangan Kedelai melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam. BPTP Lampung, 30 September 2004. Hlm: 41–47.
- Asimi, S. V., V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi. 1980. Influence of increasing soil phosphorus levels on interactions between vesicular-arbuscular mycorrhiza and rhizobium in soybeans. *Can. J. Bot.* 58: 2200–2205.
- Azcon, R., J. M. Barea and D. S. Hayman. 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soils by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria. *Soil Biol. Biochem.* 8: 135–138.
- Barea, J. M., R. Azcon and D. S. Hayman. 1975. Possible synergistic interaction between *Endogone* and phosphate solubilizing bacteria in low phosphate soils. p. 409–417. *In* Sanders, F. E., B. Mosse, and P. B. Tinker (eds). *Endomycorrhizas*. Academic Press, London.
- Foy, C. D. 1984. Physiological effects of hydrogen, alluminium and manganese toxicities in acid soil. *In* Soil Acidity and Liming. F. Adam (Ed). P. 57–97. ASSA, CSSA, SSSA, Inc. Madison, WI.
- Halliday, D. J. and M. E. Trenkel. 1992. IFA, World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry association, Paris. P. 191–200.
- Hartatik, W. dan J. Sri Adiningsih. 1987. Pengaruh pengapuran dan pupuk hijau terhadap hasil kedelai pada tanah podsolik Sitiung di rumah kaca. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* (7): 1–9.
- Kamprath, E. J. 1972. Exchangeable Al as a criterion for liming leached mineral soil. *Soil Sci. and Amer. Proc.* 34: 252–254.
- Kloepper, J. W., R. Lifshitz and R. M. Zablotowicz. 1989. Free living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol.* 7: 39–43.
- Manjunath, A., D. J. Bagyaraj and G. H. S. Gorda. 1984. Dual inoculation with mycorrhiza and rhizobium is beneficial to *Leucaena*. *Plant and Soil* 78: 445–448.
- McKenzie, R. C. and M. Nyborg. 1984. Influence of subsoil acidity on root development and crop growth in soil of Alberta and Northeastern British Columbia. *Ca. J. Soil Sci.* 64: 681–697.
- Marwoto dan S. Hardaningsih. 2004. Identifikasi hama penyakit kedelai serta cara pengendaliannya. Makalah Lokakarya Pengembangan Kedelai melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam. BPTP Lampung, 30 September 2004. Hlm: 48–60.
- Mengel, D. B., W. Segars and G. W. Rehm. 1987. Soil fertility and liming. P. 461–496. *In* J. B. Wilcox (ed). *Soybean, Improvement and Uses*. Second Ed. Madison. USA.
- Pasaribu, D., N. Sunarlim, Sumarno., Y. Supriati, R. Saraswati, Sutjipto dan S. Karama. 1989. Penelitian inokulasi rizobium di Indonesia. Hlm. 3–29 *In* M. Syam., Rubendi dan A. Widjono (ed). *Risalah Lokakarya Penelitian Penambatan Nitrogen Secara Hayati pada Kacang-Kacangan*, Bogor, 30-31 Agustus 1988.
- Prihastuti. 2007^a. Peluang dan tantangan aplikasi pupuk hayati pada tanaman kacang-kacangan. *Agritek* 15(3): 617–624.
- _____. 2007^b. Isolasi dan karakterisasi mikoriza vesikular arbuskular di lahan kering masam, Lampung Tengah. *Berkala Penelitian HAYATI* 2 (2): 99–106.
- _____. dan Sudaryono. 2006. Tingkat kemelimpahan mikoriza vesikular arbuskular di lahan kering masam. *Seminar Nasional Pengendalian Pencemaran Lingkungan Pertanian Melalui Pendekatan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai secara Terpadu tanggal 28 Maret 2006*. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret-HITI Jawa Tengah-Balai Penelitian Lingkungan, Jakenan. 9 hlm.

- _____, Tri Wardani, Sudaryono dan A. Wijanarko. 2006. Studi diagnostik biologi lahan kering masam. Laporan Penelitian tahun 2005, Balai Penelitian Tanaman Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian, Malang. 10 hlm.
- _____, Arif Harsono dan Sudaryono. 2007. Kajian pupuk hayati pada tanaman kedelai di lahan kering masam. Laporan Akhir Penelitian Tahun 2006. Balai Penelitian Tanaman Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian, Malang. 20 hlm.
- Rumbaina, D., N. Amrizal, Widiyantoro, Marwoto, A. Taufiq, H. Kuntastyuti, D. M. Arsyad dan Heriyanto. 2004. Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) di lahan masam. Makalah Lokakarya Pengembangan Kedelai melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam. BPTP Lampung, 30 September 2004. hlm. 61-72.
- Sudaryono, A. Wijanarko, Prihastuti dan Sutarno. 2007. Analisis faktor pembatas pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai di lahan kering masam. *AGRITEK* 15(4): 783-789.
- Taufiq, A., H. Kuntastyuti, A.G. Manshuri, 2004. Pemupukan dan ameliorasi lahan kering masam untuk peningkatan produktivitas kedelai. Makalah Lokakarya Pengembangan Kedelai Melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam. BPTP Lampung. hlm 21-40.
- Wade, M. K., M. Al-Jabri and M. Sudjadi. 1986. The effect of liming on soybean yield and acidity parameters of three Red-Yellow Podsolc soils of West Sumatera. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 6: 1-8.
- Walter, J.M. and B. Paa. 1993. Microbial inoculant production and formulation. P. 579-594. *In*. F. B. Metting (Ed). *Soil Microbial Ecology, Applications in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Wedhastri, S. dan J. Widada. 2000. Penggunaan rhizobakteria dalam produksi inokulan jamur mikoriza arbuskular. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 2 (2): 13-19.
- Zuberer, N. D. 1990. Soil and rhizosphere aspect of N_2 fixing microbe associations. P. 317-353. *In*. J. M Linch (ed) . *The Rhizosphere*. John Wiley and Sons.