

Aplikasi Pupuk Hayati dan Pupuk Kimia: Suatu Pendekatan Terpadu

R.D.M. Simanungkalit

Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan, Bogor

ABSTRACT

Application of Biofertilizer and Chemical Fertilizer: An Integrated Approach. R.D.M. Simanungkalit. Biofertilizers are living microorganisms applied to soils in the form of inoculant to facilitate or provide a particular mineral nutrient required by crops through a mutual symbiotic or non-symbiotic relationship. A legume inoculant containing root-nodule bacteria was the first biofertilizer in the world and has been commercialized since more than 100 years ago. Despite this long history the global use of biofertilizers remain insignificant. The energy crisis in the 1970's and the environmental problems caused by the application of chemical fertilizers have aroused the public interest in applying biofertilizers. The success of food crop production intensifying program in Indonesia has been attributed among others to the increased use of chemical fertilizer from time to time. High-yielding varieties which are mostly grown by farmers require high dosage fertilizer to achieve their potential yields. The removal of chemical fertilizers subsidies by the government has affected the efforts to maintain and increase the current production levels. If they want to maintain their production they must allocate more money, but if they reduce the amount of chemical fertilizers they usually apply or do not apply at all, yield can drop, meaning that their income will decrease and the national production target will not be achieved. The increased interest in use of biofertilizer as complement fertilizers particularly after the removal fertilizer subsidies has increased tremendously as shown by the flooding of various kinds of the so-called biofertilizers in the market. However, not all these biofertilizers can be categorized as biofertilizers. The over-expectation on biofertilizer by considering it as a panacea which can solve all crop nutritional problems and replace chemical fertilizers can really inflict financial losses on farmers. The current research results show that biofertilizers can increase the efficiency of fertilizer use. The use of biofertilizer alone can give the highest efficiency but the low yield levels. To obtain higher yield levels the application of integrated fertilizer management principles is the best by combining the application biofertilizer and chemical fertilizer in a way that the amount of applied chemical fertilizer does not suppress the growth and development of microorganisms in the biofertilizer. The responsive curves of either biofertilizer alone, or chemical fertilizer alone, or chemical fertilizer in combination with biofertilizer all follow the Mitscherlich's law on diminishing returns due to increased fertilizer dosages.

Key words: Chemical fertilizer, biofertilizer, integrated fertilizer management

Keberhasilan peningkatan produksi berbagai tanaman pangan di Indonesia tidak terlepas dari penggunaan pupuk kimia (buatan). Varietas unggul yang dihasilkan oleh para pemulia dalam revolusi hijau merupakan jenis tanaman yang membutuhkan masukan pupuk yang tinggi, di samping masukan lain seperti pengairan dan pestisida, agar dapat mencapai potensi hasil yang optimal dari tanaman tersebut.

Akibat dari penggunaan varietas unggul disertai dengan makin intensifnya pengelolaan tanaman dan perluasan areal tanaman, konsumsi pupuk

meningkat dari tahun ke tahun seperti disajikan pada Tabel 1. Peningkatan ini terutama sekali terjadi pada periode 1975-1980 dengan laju pertumbuhan rata-rata 15,6% per tahun. Selanjutnya pada periode 1980-1985, 1985-1990, dan 1990-1996 laju pertumbuhan ini menurun masing-masing menjadi 10,2; 3,9; dan 1,5% per tahun.

Pupuk hayati merupakan mikroorganisme hidup yang diberikan ke dalam tanah sebagai inokulan untuk membantu tanaman memfasilitasi atau menyediakan unsur hara tertentu bagi tanaman. Oleh karena itu, pupuk hayati sering juga disebut sebagai pupuk mikroba. Setidak-tidaknya ada tiga faktor yang mendorong meningkatnya

perhatian terhadap aplikasi pupuk hayati di Indonesia akhir-akhir ini, yaitu krisis ekonomi yang terjadi pada tahun 1997, pencabutan subsidi pupuk oleh pemerintah pada tahun 1998, dan tumbuhnya kesadaran terhadap potensi pencemaran lingkungan melalui penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dan tidak efisien. Selama lebih dari 25 tahun Pemerintah memberikan subsidi pupuk, sehingga petani sanggup memenuhi kebutuhan pupuknya dengan biaya yang relatif lebih rendah. Terjadinya krisis ekonomi dan pencabutan subsidi pupuk menyebabkan naiknya harga pupuk, sehingga petani terpaksa mengurangi penggunaan pupuk untuk tanamannya yang selanjutnya berdampak terhadap tingkat konsumsi pupuk nasional yang menurun, pada tahun 1997 dari 5,781 juta ton menjadi 4,688 juta ton dan selanjutnya pada tahun 1998 menjadi 3,664 juta ton (Tabel 1). Penurunan konsumsi pupuk ini di samping terjadinya El Nino pada tahun 1997 dan 1998 telah menyebabkan terjadinya penurunan produksi berbagai tanaman pangan, sehingga memaksa Pemerintah mengimpor beras sampai 5.000.000 t jagung dan kedelai masing-masing lebih dari 500.000 t (FADINAP, 1999).

SEJARAH PERKEMBANGAN PUPUK HAYATI

Bakteri penambat nitrogen rhizobia merupakan pupuk hayati pertama di dunia yang dikenal dan telah dimanfaatkan lebih dari 100 tahun sejak pertama kali digunakan untuk menginokulasi benih kacang-kacangan. Hermann Riegel dan Hermann Wilfarth, dua orang peneliti Jerman yang pertama kali mendemonstrasikan adanya proses penambatan nitrogen secara simbiosis pada tanaman kacang-kacangan yang termasuk Papilionaceae melalui publikasi

Tabel 1. Jumlah dan pertumbuhan konsumsi pupuk di Indonesia tahun 1975-1998

Tahun	Urea	TSP/SP-36	AS	KCI	Total
x1000 t					
1975	676	235	94	34	1035
1980	1776	494	330	123	2723
1985	2607	1048	475	290	4420
1989	2911	1217	596	460	5184
1990	2983	1261	605	510	5359
1991	3097	1256	606	444	5403
1992	3410	1290	608	482	5790
1993	3095	1173	639	366	5273
1994	3288	1125	615	302	5330
1995	3710	1070	653	404	5837
1996	3918	900	588	375	5781
1997	3324	663	351	350	4688
1998*	2871	361	158	274	3664
Laju pertumbuhan per tahun (%)					
1975/1980	14,5	16,1	17,6	23,9	15,6
1980/1985	8,0	16,2	7,6	18,7	10,2
1985/1990	2,7	3,8	4,7	12,0	3,9
1990/1996	5,6	0,9	0,1	0,9	1,5

* Periode Januari-September

Sumber: FADINAP (1999)

pada tahun 1888 (Schilling, 1988). Mereka mengadakan percobaan pada oat, buck-wheat, rape, pea, serradella, dan lupin dengan menggunakan pasir murni yang sama sekali tidak mengandung nitrogen sebagai medium tumbuh. Kemudian medium tadi ditambah unsur lain yang perlu. Semua tanaman tumbuh sampai nitrogen yang ada di biji habis. Kemudian ke setiap pot ditambahkan sedikit ekstrak tanah permukaan yang keruh, yang mengandung 0,3-0,7 mg nitrogen. Penambahan ekstrak tanah tidak berpengaruh terhadap oat, buckwheat maupun rape, tetapi tanaman tetap pada kondisi "kelaparan nitrogen". Sebaliknya, ketiga kacang-kacangan (pea, serradella, dan lupin) pulih dari "kelaparan nitrogen", tiba-tiba menjadi hijau tua dan selanjutnya tumbuh luar biasa baiknya. Mereka membuat kesimpulan bahwa tanaman kacang-kacangan menggunakan nitrogen atmosfer sebagai sumber nitrogen. Bintil terbentuk pada tanaman kacang-kacangan setelah terjadi infeksi oleh mikroorganisme tertentu. Bintil ini tidak hanya menjadi cadangan protein

tanaman tetapi pada bintil ini juga terjadi hubungan kausal antara keberadaan bakteri dan penambahan nitrogen. Pada tanggal 20 September 1886, Hellriegel memberikan presentasi tentang hasil penelitian mereka pada pertemuan ke-59 ilmuwan pengetahuan alam dan dokter Jerman di Berlin.

Pada tahun 1930-an dan 1940-an berjuta-juta hektar lahan yang ditanami berbagai tanaman di Uni Soviet diberi inokulan *Azotobacter* (Macdonald, 1989). Inokulan diformulasikan dengan berbagai cara dan disebut sebagai pupuk bakteri Azobakterin. Pupuk bakteri lain yang disebut sebagai fosfobakterin mengandung *Bacillus megatherium* dan telah digunakan secara luas di Eropa Timur. Bakteri ini diduga menyediakan fosfat yang terlarut dari pool tanah ke tanaman. Tetapi penggunaan kedua pupuk ini kemudian terhenti. Terjadinya krisis energi pada tahun 1970-an telah mendorong kembali perhatian dunia kepada penggunaan pupuk hayati.

Di Indonesia, pupuk hayati dalam bentuk inokulan bakteri bintil

akar telah digunakan untuk menginokulasi kedelai dalam skala besar pada tahun 1981 di daerah-daerah transmigrasi (Jutono, 1982). Padahal pembuatan inokulan skala labo-ratorium telah dimulai pada tahun 1938 di Plantkundige Institut dan Laboratorium Treub di Bogor.

Jamur mikoriza adalah sekelompok jamur tanah yang diketahui dapat berfungsi sebagai pupuk hayati. Sekalipun keberadaan jamur mikoriza sudah diketahui lebih dari 100 tahun yang lalu, namun penggunaannya sebagai pupuk hayati mungkin baru mulai sejak Mosse (1957) mengetahui peran jamur mikoriza dalam penyerapan fosfor oleh tanaman.

MIKROORGANISME SEBAGAI PUPUK HAYATI

Tabel 2 menunjukkan berbagai kelompok pupuk hayati baik yang bersifat simbiotik maupun yang nonsimbiotik serta mikroorganisme yang tergolong ke dalam tiap kelompok tersebut.

Rhizobia merupakan kelompok penambat nitrogen yang bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan. Penggunaan teknik molekuler pada penelitian taksonomi rhizobia telah menyebabkan bertambahnya jumlah genus, dari dua (*Rhizobium* dan *Bradyrhizobium*) menjadi enam genus, yaitu *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, dan satu genus baru yang saat ini hanya memiliki satu spesies, *Rhizobium galegae*. Paku air *Azolla* bersimbiosis dengan *Anabaena azollae*. Simbiosis ini menyebabkan *Azolla* dapat menambat nitrogen dari atmosfer, dan selanjutnya dapat digunakan sebagai pupuk organik. *Frankia* merupakan aktinomiset yang mampu menambat nitrogen melalui simbiosis dengan tanaman nonlegum, misalnya *Alnus* dari

famili Betulaceae (Akkermans, 1978).

Penambat nitrogen nonsimbiotik merupakan kelompok bakteri hidup bebas dan asosiatif, ada yang aerob, anaerob, dan anaerob fakultatif tergantung pada pertumbuhan dan kemampuan hidup organisme tersebut pada kondisi tanpa dan dengan oksigen. Mikroorganisme yang tergolong kelompok ini antara lain *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Clostridium*, *Klebsiella*, dan alga biru-hijau.

Jamur mikoriza merupakan kelompok jamur tanah yang bersimbiosis dengan berbagai tanaman. Kelompok ini dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu endomikoriza dan ektomikoriza. Jamur mikoriza arbuskular adalah salah satu subkelompok dari endomikoriza yang jauh lebih luas penyebarannya dibandingkan dengan ektomikoriza. Saat ini, ada enam genus jamur mikoriza arbuskular yang bersimbiosis dengan tanaman, yaitu *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis*, dan *Scutellospora* (Morton dan Benny, 1990), dengan jumlah spesies lebih dari 100. Kelompok jamur ektomikoriza memiliki jumlah spesies yang jauh lebih besar. Di Amerika Utara saja lebih dari 2100 spesies (National Academy of Sciences, 1979). Jamur ektomikoriza dapat bersimbiosis dengan sekurang-kurangnya 19 famili tanaman (Brundrett *et al.*, 1996).

Mikroorganisme pelarut fosfat merupakan kelompok mikroorganisme yang dapat mengubah fosfat tidak larut dalam tanah menjadi bentuk yang dapat larut dengan jalan mensekresikan asam organik seperti asam format, asetat, propionat, laktat, glikolat, fumarat, dan suksinat (Subba Rao, 1982). Mikroorganisme yang tergolong kelompok ini dapat berupa bakteri (*Bacillus*, *Pseudomonas*), jamur

(*Aspergillus*, *Penicillium*), dan aktinomiset (*Streptomyces*). Berbagai kelompok mikroorganisme pupuk hayati disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3 memperlihatkan berbagai inokulan pupuk hayati yang dikomersialkan di Indonesia. Secara tradisional dikenal dua tipe inokulan rhizobia, yaitu inokulan yang mengandung satu strain (strain tunggal) dan yang multistrain (strain ganda). Inokulan multistrain mengandung strain-strain dari dua kelompok inokulan seperti strain dari clover dicampur dengan medic atau suatu campuran strain yang berasal dari satu kelompok (Roughley, 1988). Di samping itu, dikenal juga inokulan yang mengandung campuran dua atau lebih spesies dengan fungsi yang

sama atau berbeda seperti ditunjukkan pada inokulan yang ada pada Tabel 3. Inokulan yang mengandung dua atau lebih spesies pupuk hayati dengan fungsi yang berbeda disebut pupuk hayati majemuk (Sima-nungkalit dan Saraswati, 1999). Sebagai contoh dari pupuk semacam ini adalah Rhizo-plus yang mengandung bakteri penambat nitrogen (*Bradyrhizobium* dan *Sinorhizobium*) dan bakteri pelarut fosfat (*Bacillus* dan *Micrococcus*).

MANFAAT POTENSIAL PUPUK HAYATI

Mikroorganisme pupuk hayati terutama berkaitan dengan unsur hara N dan P yang merupakan dua unsur hara yang banyak

Tabel 2. Berbagai kelompok mikroorganisme pupuk hayati

Kelompok pupuk hayati	Sistem	Mikroorganisme
Penambat nitrogen simbiotik	a. Simbiosis dengan legum	<i>Rhizobium</i> , <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Azorhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i> , <i>Mesorhizobium</i> , dan satu genus baru
	b. Simbiosis dengan <i>Azolla</i>	<i>Anabaena azollae</i>
	c. Simbiosis dengan non-legum (a.l. <i>Alnus</i> , <i>Myrica</i> , dan <i>Casuarina</i>)	<i>Frankia</i> sp.
Penambat nitrogen non-simbiotik	Hidup bebas/asosiatif	a.l. <i>Azotobacter</i> , <i>Azospirillum</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Klebsiella</i> , alga biru-hijau
Jamur mikoriza	Simbiosis dengan berbagai tanaman	Endomikoriza (mikoriza arbuskular: <i>Acaulospora</i> , <i>Entrophospora</i> , <i>Gigaspora</i> , <i>Glomus</i> , <i>Sclerocystis</i> , dan <i>Scutellospora</i>) Ektomikoriza
Mikroorganisme pelarut fosfat	Hidup bebas	Bakteri: a.l. <i>Bacillus</i> dan <i>Pseudomonas</i> Jamur: a.l. <i>Aspergillus</i> dan <i>Penicillium</i> Aktinomiset: <i>Streptomyces</i>

Tabel 3. Pupuk hayati komersial di Indonesia dan kandungan mikroorganismenya

Nama produk pupuk hayati	Kandungan mikroorganisme
Legin Rhizo-plus Emas	Rhizobia <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Micrococcus</i> <i>Azospirillum lipoverum</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Beijerinckia</i> , <i>Aeromonas punctata</i> , <i>Aspergillus niger</i>
Ginon 100x Biofer 2000-K Biofer 2000-N E-2001	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> Jamur ektomikoriza Jamur endomikoriza <i>Azotobacter vinelandii</i> , <i>Clostridium pasterianum</i> , <i>Nitrosomonas</i> , <i>Nitrobacter</i> , <i>Ankia alni</i> , <i>Nostoc muscorum</i> , <i>Anabaena azollae</i>
OST (organic soil treatment) (pupuk hayati rajawali)	<i>Azotobacter</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Agrobacterium</i> , <i>Azospirillum</i> , bakteri pelarut fosfat, protein, dan humus aktif
Biota	<i>Bacillus</i> spp., <i>Lactobacillus</i> spp., <i>Micrococcus</i> sp.

dibutuhkan tanaman. Tabel 4 menyajikan perki-raan nitrogen yang ditambah oleh berbagai sistem fiksasi N₂. Kisaran jumlah nitrogen yang ditambah oleh berbagai sistem fiksasi N₂ sangat besar, mungkin karena adanya va-riasi pada kondisi tanah, iklim, sis-tem pengelolaan, makrosimbion dan mikrosimbionnya.

Informasi tentang penelitian fiksasi N₂ di Indonesia sangat terbatas. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh Sisworo *et al.* (1990) menunjukkan bahwa jumlah nitrogen yang difiksasi pada tanaman kedelai 33% dari N total tanaman yang setara dengan 26-33 kg/N/h/musim, se-dangkan pada cowpea 12-33% yang setara dengan 12-22 kg/N/ha/musim. Pada penelitian lain dilaporkan jumlah nitrogen yang difiksasi pada kedelai 42 HST yang dinyatakan se-bagai persentase N-ureida pada N total yang terkandung pada cairan sel berjumlah 50,2% (Simanungka-lit, 1995). Estimasi nitrogen yang di-tambah oleh berbagai sistem fiksasi N₂ disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil penelitian yang ada sampai sekarang, jamur mikoriza berpotensi memfasilitasi penyediaan berbagai unsur hara ba-gi tanaman terutama P. Perbaikan pertumbuhan dan kenaikan hasil berbagai tanaman berkaitan de-ngan perbaikan nutrisi P tanaman. Di samping sebagai

fasilitator pe-nyerapan hara, jamur mikoriza juga berpotensi sebagai pengendali ha-yati. Pada umumnya tanaman ber-mikoriza mengalami kerusakan le-bih sedikit dibandingkan dengan tanaman tidak bermikoriza dan serangan penyakit berkurang atau perkembangan patogen dihambat (Dehne, 1982). Menurut Linderman (1996) pengendalian hayati berba-gai penyakit oleh mikoriza dapat di-pengaruhi oleh satu atau lebih mekanisme, yaitu (1) perbaikan gizi ta-naman, (2) kompetisi untuk fotosin-tat dan tempat infeksi pada tanam-an inang, (3) perbaikan morfologi dan jaringan tanaman, (4) perubah-an susunan kimia jaringan tanam-an, (5) reduksi stres abiotik, dan (6) perubahan mikrobial pada mikori-zosfir.

Beberapa hasil penelitian me-nunjukkan bahwa mikoriza dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan. Perbaikan to-leransi tanaman bermikoriza terha-dap stres air dapat disebabkan oleh peningkatan konduktivitas hidrau-lik, laju transpirasi yang lebih kecil per satuan luas, adanya ekstraksi air dari tanah ke potensi yang lebih rendah, pemulihan tanaman yang lebih cepat dari stres air, dan ada-nya nutrisi P tanaman yang lebih baik.

Jamur mikoriza berpengaruh terhadap agregasi tanah melalui miselia jamur yang dilapisi oleh zat

berlendir sehingga menyebabkan partikel-partikel tanah melekat satu sama lain (Tisdall dan Oades, 1979). Dengan demikian, stabilitas tanah meningkat.

APLIKASI TERPADU PUPUK HAYATI DAN PUPUK KIMIA

Dewasa ini orang sering berbi-cara tentang pupuk alternatif setela-h harga pupuk kimia makin ma-hal. Pupuk alternatif sering diiden-tikkan dengan pupuk hayati dan pu-puk organik. Penggunaan kata "alternatif" sebenarnya tidak tepat karena dapat memberikan penger-tian yang keliru. Kata ini berarti me-milih salah satu dari dua atau lebih pilihan. Dengan penafsiran seperti itu tidak heran kalau akhir-akhir ini kita sering mendengar pernyataan seakan-akan pupuk hayati dapat menggantikan pupuk kimia, sehing-ga tidak perlu lagi menggunakan pupuk kimia kalau memang terlalu mahal untuk dibeli, cukup membeli pupuk hayati yang dianggap murah. Berdasarkan berbagai hasil peneliti-an yang ada, suatu pendekatan ter-padu dengan menggunakan kom-binasi pupuk hayati dan pupuk kimia merupakan pendekatan yang terbaik.

Hasil percobaan inokulasi kede-lai dengan pupuk hayati *Bradyrhi-zobium japonicum* pada tanah Pod-solik Merah Kuning di Tamanbogo (Lampung Tengah) menunjukkan bahwa tanpa pupuk N (urea) ting-kat hasil kedelai lebih rendah di-bandingkan dengan yang diberi N (Tabel 5), tapi tingkat efisiensinya lebih tinggi (Simanungkalit *et al.*, 1996). Besarnya kenaikan hasil yang diperoleh dengan inokulasi tanpa pupuk N rata-rata 20%. Sebaliknya bila diinokulasikan di-tambah dengan 25 kg N tingkat ha-sil lebih tinggi tetapi persentase ke-naikan hasil karena inokulasi men-jadi

Tabel 4. Estimasi nitrogen yang ditambah oleh berbagai sistem fiksasi N₂

Sistem fiksasi N ₂	N ₂ yang difiksasi (kg N ha ⁻¹)
Hidup bebas/asosiatif	
Padi-alga biru-hijau	10-80 musim ⁻¹
Asosiasi padi-bakteri	10-30 musim ⁻¹
Asosiasi tebu-bakteri	20-160 musim ⁻¹
Simbiotik	
Padi-Azolla	20-100 musim ⁻¹
Legum-rhizobia	
<i>Leucaena leucocephala</i>	100-300 musim ⁻¹
<i>Glycine max</i>	0-237 musim ⁻¹
<i>Trifolium repens</i>	13-280 musim ⁻¹
<i>Sesbania rostrata</i>	320-360 musim ⁻¹
Non-legum (<i>Casuarina sp.</i>)- <i>Frankia</i>	40-60 tahun ⁻¹

Sumber: Bohlool *et al.* (1992)

lebih rendah (7%). Dalam rangka kepentingan produksi pangan nasional tingkat hasil yang lebih tinggi diutamakan. Ini berarti pemberian pupuk kimia masih diperlukan di samping inokulan sampai batas di mana pemberian ini tidak menekan perkembangan mikroorganisme pupuk hayati bradyrhizobia, yaitu sebanyak 25 kg N/ha. Pada dosis yang lebih tinggi (50 kg N/ha) peranan pupuk hayati menu-run seperti diindikasikan oleh penurunan bobot kering bintil (Tabel 6).

Pada inokulasi tanaman kedelai dengan pupuk hayati jamur

mikoriza arbuskular (MA) tingkat hasil optimal diperoleh pada kombinasi pupuk hayati dan 45 ppm P₂O₅ (Simanungkalit, 1993). Tanpa pemberian pupuk P (hanya pupuk hayati saja) tingkat hasil rendah, tetapi efisiensinya paling tinggi. Penurunan hasil pada kedelai yang diberi pupuk hayati dan pupuk P lebih awal dibandingkan dengan hanya diberi pupuk P tanpa pupuk hayati (Gambar 1). Kurva ini mengikuti hukum kenaikan hasil yang menurun menurut Mitscherlich.

Pada percobaan inokulasi dengan inokulan Bio-fosfat yang me-

ngandung mikroorganisme pelarut fosfat dan *Azospirillum* di Seputih Banyak (Lampung) menunjukkan bahwa pemberian pupuk P tanpa Bio-fosfat meningkatkan hasil kedelai dan mencapai maksimum pada pemberian 125 kg SP-36 ha⁻¹, sedangkan bila pupuk dikombinasikan dengan Bio-fosfat hasil maksimal dicapai pada pemberian 53 kg SP-36 ha⁻¹ (Saraswati *et al.*, 1999). Seperti pada inokulasi dengan jamur MA, kurva respon terhadap Bio-fosfat juga mengikuti hukum kenaikan hasil dari Mitscherlich (Gambar 2). Penurunan hasil kedelai terjadi lebih awal pada perlakuan kombinasi pupuk hayati dan pupuk P saja dibandingkan dengan hanya pupuk P saja tanpa pupuk hayati (Bio-fosfat). Kecenderungan yang sama ditunjukkan pula pada percobaan inokulasi kacang hijau

Tabel 5. Pengaruh taraf pemberian N terhadap hasil biji kedelai yang diinokulasi dengan tiga strain *Bradyrhizobium japonicum*

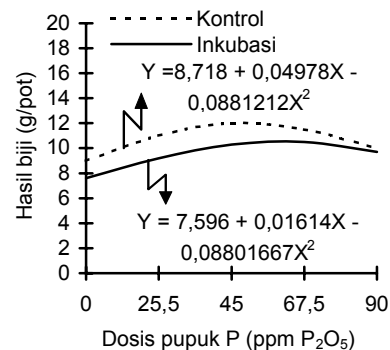
Inokulasi	Taraf N (kg/ha)	Hasil biji (kg/ha)
Tanpa inokulasi	0	1287 ^f
	25	1664 ^{cd}
	50	2134 ^a
FCB 152	0	1542 ^e
	25	1752 ^{bc}
	50	2191 ^a
FCB 26	0	1513 ^e
	25	1788 ^b
	50	2110 ^a
CB 1809	0	1572 ^{de}
	25	1796 ^b
	50	1582 ^d

Angka-angka dalam satu lajur yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda pada taraf nyata 5% menurut uji jarak berganda Duncan
Sumber: Simanungkalit *et al.* (1996)

Tabel 6. Pengaruh taraf pemberian N dan strain *Bradyrhizobium japonicum* terhadap bobot kering bintil kedelai yang tumbuh di pot

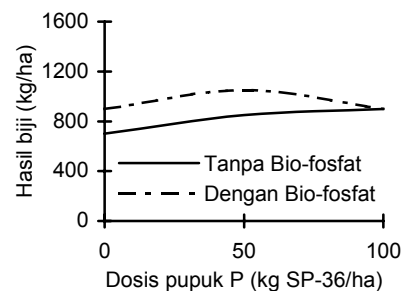
Perlakuan	Bobot kering bintil (mg/tanaman)
<i>Strain Bradyrhizobium japonicum</i>	
CB 1809	160 ^{ab}
USDA 110	150 ^b
FCB 26	170 ^a
Nitrogen (kg/ha)	
0	170 ^a
25	164 ^a
50	159 ^a
100	141 ^b
Varietas	
Wilis	170 ^a
Sekayu	146 ^b

Angka-angka dalam satu lajur yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda pada taraf nyata 5% menurut uji jarak berganda Duncan
Sumber: Simanungkalit *et al.* (1996)



Gambar 1. Hubungan antara pupuk P dan hasil kedelai tanpa dan dengan inokulasi jamur MA

Sumber: Simanungkalit (1993)



Gambar 2. Kurva respon hasil kedelai terhadap inokulasi Bio-fosfat

Sumber: Saraswati *et al.* (1999)

dengan pupuk hayati jamur MA (Djasmara dan Simanungkalit, 1999).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dikemukakan dapat ditarik kesimpulan bahwa aplikasi pupuk hayati dan pupuk kimia terpadu mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk P dengan mengurangi dosis pupuk. Berkurangnya dosis ini akan membantu upaya menekan risiko pencemaran lingkungan dan menghemat sumber daya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akkermans, A.D.L. 1978.** Root nodule symbiosis in non-leguminous N₂-fixing plants. *In* Dommergues, Y.R. and S.V. Kruva (Eds.). *Interactions between Non-pathogenic Soil Microorganisms and Plants*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. p. 335-372.
- Bohlool, B.B., J.K. Ladha, D.P. Garrity, and T. George. 1992.** Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. *Plant Soil* 141:1-11.
- Brundrett, M.N., Bougher, B. Dell, T. Grove, and N. Malayczuk. 1996.** Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR Monograph 32. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Dehne, H.W. 1982.** Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology* 72:1115-1119.
- Djasmara, S. and R.D.M. Simanungkalit. 1999.** Effects of arbuscular mycorrhizal fungal and phosphate-solubilizing bacterial inoculation on growth and yield of mungbean (*Vigna radiata* L.) Wilczek in inceptisols. *In* Smith, F.A., K. Kramadibrata, R.D.M. Simanungkalit, N. Sukarno, and S.T. Nuhamara (Eds.). *Proc. International Conference on Mycorrhizas in Sustainable Tropical Agriculture and Forest Ecosystems*. Research Development Center for Biology, Bogor Agricultural University and The University of Adelaide. p. 163-174.
- FADINAP. 1999.** Supply, marketing, distribution, and use of fertilizer in Indonesia. ESCAP/FAO/UNIDO, Bangkok.
- Jutono. 1982.** The application of *Rhizobium*-inoculant on soybean in Indonesia. *Ilmu Pert. (Agric. Sci.)* 3:215-222.
- Linderman, R.G. 1996.** Role of VAM fungi in biocontrol. *In* Pflieger, F.L. and R.G. Linderman (Eds.). *Mycorrhizae and Plant Health*. APS Press, St. Paul. p. 1-25.
- Macdonald, R.M. 1989.** An overview of crop inoculation. *In* Campbell, R. and R.M. Macdonald (Eds.). *Microbial Inoculation of Crop Plants*, IRL Press, Oxford. p. 1-9.
- Morton, J.B. and J.L. Benny. 1990.** Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37:471-491.
- Mosse, B. 1957.** Growth and chemical composition of mycorrhizal and non-mycorrhizal apples. *Nature (London)* 179:922-924.
- National Academy of Sciences. 1979.** Microbial processes: Promising technologies for developing countries. National Academy of Sciences, Washington DC.
- Roughley, R.J. 1988.** Commercial applications of biological dinitrogen fixation. *In* Shamsuddin, Z.H., W.M.H. Othman, M. Marziah, and J. Sundram (Eds.). *Biotechnology of Nitrogen Fixation in the Tropics*. Universiti Pertanian Malaysia, Serdang, Malaysia. p. 147-154.
- Saraswati, R., N. Sunarlim, S. Hutami, R.D. Hastuti, R.D.M. Simanungkalit, D.H. Goenadi, S. Indarto, dan D.S. Damardjati. 1999.** Pengembangan Bio-fosfat untuk meningkatkan efisiensi pemupukan P di lahan masam Al. Laporan Akhir Hasil ARMP II-Kemitraan, Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan, Bogor.
- Schilling, G. 1988.** Hellriegel and Wilfarth and their discovery of nitrogen fixation at Bernburg. *In* Bothe, de Bruijn, and Newton (Eds.). *Nitrogen Fixation: Hundred Year After*. Gustav Fischer, Stuttgart.

- Simanungkalit, R.D.M. 1993.** Efficiency of vesicular mycorrhizal (VAM) fungi-soybean symbiosis at various levels of P fertilizer. *In* Soerianegara, I. and Supriyanto (Eds.). Proc. Second Asian Conference on Mycorrhizae. BIOTROP Spec. Publ. 42:167-178.
- Simanungkalit, R.D.M. 1995.** Soybean response on nodulation to starter nitrogen and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*. Indonesian J. Crop. Sci.10:25-32.
- Simanungkalit, R.D.M., R.J. Roughley, R.D. Hastuti, E. Pratiwi, and A. Indrasumunar. 1996.** Inoculation of soybean with selected strains of *Bradyrhizobium japonicum* can increase yield on acid soils in Indonesia. Soil Biol. Biochem. 28:257-259.
- Simanungkalit, R.D.M. and R. Saraswati. 1999.** Application of biotechnology on biofertilizer production in Indonesia. *In* Manuwoto, S., S. Suharsono, and K. Syamsu (Eds.). Proc. Seminar on Biotechnology: Sustainable Agriculture, and Alternative Solution for Food Crisis. PAU-Bioteknologi IPB, Bogor. p. 45-57.
- Sisworo, W.H., M.M. Mitrosuhardjo, H. Rasyid, and R.J.K. Myers. 1990.** The relative roles of N fixation, fertilizer, crop residues and soil in supplying N in multiple cropping systems in a humid, tropical upland cropping system. Plant Soil 121:73-82.
- Subba Rao, N.S. 1982.** Biofertilizers in agriculture. Oxford dan IBH Publishing Co., New Delhi.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1979.** Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. Aust. J. Soil Res. 17:429-441.
-