

Kontribusi P Berasal dari Aktivitas Mikrob Pelarut Fosfat, Fosfat Alam dan SP-36 yang Ditentukan Menggunakan Teknik Isotop ^{32}P

P Contribution Derived from Phosphate Solubilizing Microorganism Activity, Rock Phosphate and SP-36 Determination by Isotope ^{32}P Technique

Anggi Nico Flatian¹, Iswandi Anas², Atang Sutandi², Ishak³

¹ Program Studi Bioteknologi Tanah dan Lingkungan
Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan
Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan
Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga Bogor Indonesia 16680

³ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Jakarta 12440
Email : nico.flatian@gmail.com

Diterima 05-04-2016; Diterima dengan revisi 20-04-2016; Disetujui 30-05-2016

ABSTRAK

Kontribusi P Berasal dari Aktivitas Mikrob Pelarut Fosfat, Fosfat Alam dan SP-36 yang Ditentukan Menggunakan Teknik Isotop ^{32}P . Teknik isotop ^{32}P dapat digunakan untuk menelusuri hara P di dalam tanah dan hubungan tanah-tanaman. Penggunaan ^{32}P memungkinkan untuk merinci kontribusi P dari aktivitas mikrob pelarut fosfat dan pupuk P dalam tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data kuantitatif kontribusi P berasal dari aktivitas mikrob pelarut P (*Aspergillus niger* dan *Burkholderia cepacia*), fosfat alam dan SP-36 melalui P yang diserap tanaman menggunakan teknik isotop ^{32}P serta mempelajari pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi mikrob pelarut fosfat, fosfat alam dan SP-36 menghasilkan aktivitas jenis (^{32}P) lebih rendah dari kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa seluruh perlakuan dapat menyumbang P untuk tanaman. Penurunan aktivitas jenis disebabkan oleh sumbangan ^{31}P dari fosfat alam dan SP-36 serta dari pelepasan ^{31}P yang tidak tersedia oleh MPF. Penambahan ^{31}P ini akan menyebabkan penurunan aktivitas jenis ($^{32}\text{P}/^{31}\text{P}$) pada tanah berlabel isotop. Perlakuan mikrob pelarut fosfat yang disertai pemberian SP-36 memberikan kontribusi P paling besar, secara nyata lebih besar dibanding kontrol dan pemberian SP-36 saja. Fosfat berasal dari aktivitas mikrob yang dikombinasikan dengan SP-36 adalah sebesar 56.06% - 68.54% pada tanaman umur 50 hari setelah tanam, 51.96% - 59.65% pada brangkasan, 46.33% - 47.70% pada biji dan 53.02% - 59.87% pada tongkol. Selain itu, perlakuan ini secara nyata juga mampu mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan jumlah daun pada 35 hari setelah tanam, bobot kering tanaman pada umur 50 hari setelah tanam dan bobot kering biji.

Kata kunci : Mikrob pelarut fosfat, Pemupukan P, Isotop ^{32}P

ABSTRACT

P Contribution Derived from Phosphate Solubilizing Microorganism Activity, Rock Phosphate and SP-36 Determination by Isotope ^{32}P Technique. The ^{32}P isotope technique has been used to trace P nutrients in the soil and soil-plant systems. The use of the isotope ^{32}P has made it possible to differentiate the P contribution derived from phosphate-solubilizing microorganism activity and the fertilizer P in the soil. The aims of the study were

to obtain the quantitative data of P contribution derived from phosphate-solubilizing microorganism activity (*Aspergillus niger* and *Burkholderia cepacia*), rock phosphate and SP-36 through P uptake by the plants using isotope ^{32}P technique and also to study the effects on growth and production of corn plants. The results were showed that phosphate-solubilizing microorganism, rock phosphate and SP-36 was produced specific activity (^{32}P) lower than control. The results were indicated that all treatments could contribute P for the plants. The lower specific activity was caused by supply P from rock phosphate and SP-36, and also was caused by solubilize of unavailable ^{31}P from PSM activity, which decreased specific activity on labeled soil. The combination of phosphate-solubilizing microorganism and SP-36 treatments produced the highest P contribution, significantly higher than control and SP-36 only. Phosphate derived from combination of microorganism and SP-36 treatments ranging from 56.06% - 68.54% after 50 days planting, after 35 days planting, 51.96% - 59.65% on stover, 46.33% - 47.70% on grain and 53.02% - 59.87% on corn cob. In addition, the treatments could significantly support the plant growth and yield. It is expressed by increased number of leave at 35 days after planting, dry weight of leave at 35 days after planting and dry weight of grain.

Keyword : Phosphate-solubilizing microorganism, P fertilizer, Isotope ^{32}P

PENDAHULUAN

Ketersediaan hara fosfor (P) menjadi salah satu faktor pembatas utama produksi pertanian di Indonesia [1]. Tanah pada daerah tropis didominasi oleh tanah masam yang pada umumnya mengalami defisiensi P dengan kapasitas fiksasi P yang tinggi [2]. Pada tanah masam, umumnya P diikat oleh Fe dan Al sehingga menyebabkan ketersediaan P bagi tanaman rendah [2]. Sehingga menyebabkan efisiensi pemupukan P berkisar antara 10% - 25% [3]. Selanjutnya efisiensi pemupukan P yang rendah dapat menyebabkan kerugian secara ekonomi. Disisi lainnya, pemakaian pupuk P secara berlebih juga menyebabkan permasalahan lingkungan [4]. Pemupukan P berlebih menyebabkan polusi melalui erosi tanah dan *run off* air mengandung P terlarut dalam jumlah yang besar [4].

Usaha-usaha untuk meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah telah banyak dilakukan, seperti modifikasi tanaman yang lebih efisien menyerap P, pola tanam, pengapuran, penambahan bahan organik, penambahan sumber fosfat alami, pemanfaatan mikroorganisme dan lain-lain. Penggunaan mikrob pelarut fosfat (MPF) dan sumber fosfat alami seperti fosfat alam dapat dijadikan salah satu alternatif dalam peningkatan ketersediaan P yang relatif lebih

mudah dan ramah lingkungan. Aktivitas MPF banyak dikaitkan dengan kemampuan mikrob dalam menghasilkan asam-asam organik yang dapat melarutkan bentuk-bentuk P yang sukar larut (CaP , AlP , FeP) sehingga menjadi bentuk tersedia untuk tanaman [5,6]. Pelepasan P ini didahului dengan sekresi asam-asam organik oleh MPF, diantaranya asam sitrat, glutamat, suksinat, laktat, oksalat, glikosilat, malat, fumarat [7]. Hasil sekresi tersebut akan berfungsi sebagai katalisator, pengkhelat dan memungkinkan asam-asam organik tersebut membentuk senyawa kompleks dengan kation-kation Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , dan I^{3+} sehingga terjadi pelarutan fosfat menjadi bentuk tersedia yang dapat diserap oleh tanaman [7]. Penggunaan MPF juga dapat digunakan untuk meningkatkan kelarutan fosfat alam. Fosfat alam kaya akan kompleks kalsium fosfat (Ca-P) dan sebagian besar fosfat alam didunia memiliki kelarutan yang rendah [8]. Salah satu alternatif meningkatkan kelarutan fosfat alam adalah dengan menggunakan mikroorganisme yang menghasilkan asam organik [8]. Beberapa penelitian melaporkan bahwa mikroorganisme berpotensi dalam meningkatkan kelarutan fosfat alam [8].

Pengujian inokulasi MPF untuk meningkatkan penyerapan P oleh tanaman dapat dilakukan dengan analisis tanah dan

analisis tanaman. Total kandungan P dari sumber-sumber P (P tanah, P dari sumber yang ditambahkan) dapat diketahui dengan metode tersebut, namun kontribusi P dari masing-masing sumber P belum dapat ditentukan.

Teknik peruntutan P menggunakan isotop ^{32}P merupakan salah satu teknik yang penting dalam penelitian P di bidang pertanian. Teknik ini memberi informasi yang lebih jelas mengenai hara P dalam sistem tanah-tanaman, sehingga memungkinkan untuk merinci kontribusi P dari masing-masing sumber P yang ditambahkan ke dalam tanah [9]. Komposisi isotop atau aktivitas spesifik pada tanaman yang tumbuh pada tanah yang dilabel isotop dapat dipengaruhi oleh inokulasi MPF. Aktivitas jenis yang lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol mengindikasikan bahwa tanaman menyerap ^{31}P lebih banyak akibat adanya aktivitas MPF dalam melepaskan P tidak tersedia [10].

Penggunaan MPF diharapkan mampu berkontribusi P bagi tanaman, selain itu penggunaan MPF juga diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan fosfat alam dan SP-36. Penggunaan teknik isotop memungkinkan untuk mengkonfirmasi asal P yang diserap oleh tanaman, sehingga dapat diketahui berapa kontribusi P berasal dari aktivitas MPF dan dari sumber-sumber P (fosfat alam, SP-36) yang ditambahkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk merinci sumbangan P berasal dari aktivitas MPF, fosfat alam dan SP-36 menggunakan teknik isotop ^{32}P . Selain itu diuji juga pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah 2 isolat MPF (*Aspergillus niger* strain JK1 koleksi Laboratorium Pemupukan dan Nutrisi Tanaman PAIR BATAN dan *Burkholderia cepacia* strain SS19.7 koleksi

Laboratorium Bioteknologi Tanah DITSL Fakultas Pertanian IPB), *nutrien broth* (Merck), *potatoes dextrose agar* (Merck), fosfat alam asal Blora Jawa Tengah, contoh tanah Latosol Pasar Jumat, benih jagung hibrida varietas P21 (Pioneer), Urea, KCl, SP-36 serta isotop ^{32}P dalam bentuk larutan $\text{Na}_2^{32}\text{PO}_4$. Untuk mengukur kandungan P tanaman digunakan Spektrofotometer (Optima SP-300), dan untuk mengukur aktivitas ^{32}P menggunakan *Liquid Scintillation Counter* (Beckman LS 6500).

Rancangan percobaan

Penelitian ini merupakan percobaan pot yang dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 12 perlakuan. Pada penelitian ini digunakan 2 isolat MPF yang diinokulasikan secara *single culture* (*B. cepacia* dan *A. niger*) dan secara *mix culture* (*B. cepacia* + *A. niger*) serta menggunakan 2 sumber P berupa fosfat alam Blora dan SP-36. Perlakuan yang dicobakan adalah: 1) Tanpa inokulasi dan tanpa sumber fosfat (kontrol); 2) *B. cepacia*; 3) *A. niger*; 4) *B. cepacia*+*A. niger* (*mix culture*); 5) Fosfat alam Blora (FA); 6) *B. cepacia*+FA; 7) *A. niger*+FA; 8) *mix culture*+FA; 9) SP-36; 10) *B. cepacia*+SP-36; 11) *A. niger*+SP-36; 12) *mix culture*+SP-36. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga total berjumlah 36 satuan percobaan.

Pelaksanaan percobaan

Tanah latosol yang digunakan memiliki kandungan pasir 3%, debu 57%, liat 40%, pH tanah agak masam (5.6), N total rendah (0.16%), C-organik rendah (1.1%), P tersedia sedang (29 ppm), K tersedia rendah (0.2 Cmol_c/kg), kapasitas tukar kation rendah (10.95 $\text{Cmol}_c/\text{kg}^{-1}$) dan kejenuhan basa sangat tinggi (82%). Contoh tanah diambil dari kedalaman 0 sampai 20 cm. Tanah dibersihkan, dikeringanginkan, kemudian diaduk hingga homogen. Masing-masing pot diisi dengan tanah sebanyak 13.5 kg berat kering mutlak (BKM).

Penelitian ini menggunakan isotop ^{32}P dengan metode tidak langsung, pelabelan

isotop dilakukan pada tanah. Isotop ^{32}P dalam bentuk larutan $\text{Na}_2^{32}\text{PO}_4$ diberikan pada semua perlakuan. Aktivitas isotop ^{32}P yang diberikan adalah sebesar 16.49 MBq/pot. Jumlah tersebut diberikan untuk mencapai aktivitas isotop pada sampel tanaman yang dapat mencukupi untuk dilakukan pengukuran. Pelabelan tanah dilakukan dengan cara mengaduk tanah hingga merata.

Penanaman jagung dilakukan 2 hari setelah pelabelan tanah. Masing-masing pot percobaan ditanam 4 benih jagung. Setelah 5 hari setelah tanam (HST), dipilih 2 kecambah yang seragam dalam masing-masing pot. Satu tanaman pada masing-masing pot dipanen saat fase vegetatif maksimum (50 HST) dan satu tanaman lainnya dipanen saat masak fisiologis (105 HST).

Isolat bakteri diperbanyak dengan menumbuhkan isolat bakteri pada media NB dan dikocok menggunakan *shaker* pada suhu ruang sampai kandungan sel mencapai 10^9 cfu/ml. Biakan bakteri dipisahkan dengan media menggunakan *sentrifuse* dengan kecepatan 5000 rpm selama 20 menit pada suhu ruang. Biakan murni tersebut dilarutkan menggunakan aquades. Sedangkan fungi diperbanyak pada media PDA sampai umur 7 hari. Spora fungi pada media PDA dilarutkan dengan aquades dan ditentukan kandungan spora menggunakan

hemositometer. Inokulasi MPF dilakukan pada 7 hari setelah tanam (HST). Sebanyak 10 ml/pot suspensi inokulum MPF dengan kerapatan yang sama, 10^9 CFU/ml untuk *B. cepacia* dan 10^9 spora/ml untuk *A. niger*, diinokulasikan secara merata pada sekitar lubang tanam.

Dosis pemupukan yang digunakan adalah 150 ppm N, 80 ppm P_2O_5 , dan 70 ppm K_2O . Pupuk K (KCl) dan N (Urea) diberikan pada seluruh perlakuan, sedangkan pupuk P (SP-36 dan fosfat alam) diberikan sesuai perlakuan. Pupuk KCl, SP-36 dan fosfat alam diberikan pada saat 7 HST. Sedangkan pupuk Urea diberikan secara bertahap, yaitu 50 ppm N pada saat 7 HST, 50 ppm N pada saat tanaman berumur 30 HST dan 50 ppm N pada saat tanaman berumur 45 HST. Fosfat alam yang digunakan memiliki kandungan P_2O_5 total sebesar 26.61%, larut asam sitrat 2% sebesar 18.07% dan larut air sebesar 0.01%.

Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah: pengamatan pertumbuhan dan hasil yang meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering tanaman pada fase vegetatif, bobot kering brangkasan, bobot kering biji dan bobot kering tongkol, serapan P dan aktivitas jenis tanaman yang meliputi serapan P dan aktivitas jenis brangkasan (fase vegetatif akhir dan fase masak fisiologis), tongkol dan biji (fase masak fisiologis). Analisis serapan P menggunakan pengekstrak HNO_3 [11]. Pengukuran aktivitas ^{32}P menggunakan *Liquid Scintillation Counter* dengan metode Cerenkov [12]. Aktivitas jenis dihitung dengan rumus sebagai berikut [12]:

$$\text{Aktivitas jenis (Bq/mg P)} = \frac{\text{Aktivitas } ^{32}\text{P dalam contoh tanaman (Bq)}}{\text{Total P dalam contoh tanaman (mg P)}} \quad (1)$$

Nilai %P berasal dari berasal dari sumber fosfat atau aktivitas MPF (%P-bdp) dan kontribusi P berasal berasal dari sumber fosfat atau aktivitas MPF (P-bdp) ditentukan dengan perhitungan. Rumus yang digunakan sebagai berikut [12]:

$$\%P\text{-bdp} = \left(1 - \frac{\text{Aktivitas jenis tanaman}}{\text{Aktivitas jenis standar (kontrol)}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{P-bdp (mg)} = \%P\text{-bdp} \times \text{Total serapan P tanaman (mg)} \quad (3)$$

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode sidik ragam dan apabila berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji beda nilai tengah *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5%. *Software* yang digunakan untuk uji statistik adalah Microsoft Excel dan SPSS 16.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun

Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi MPF yang disertai pemberian fosfat alam dan SP-36 mampu meningkatkan jumlah daun pada tanaman umur 35 HST (Tabel 1). Inokulasi *mix culture* yang disertai pemberian fosfat alam mampu meningkatkan jumlah daun pada 35 HST sebesar 14.8% dibanding kontrol. Sedangkan pemberian SP-36 yang disertai pemberian MPF (*B. cepacia*, *A. Niger* dan *mix culture*) mampu meningkatkan jumlah daun pada 35 HST sebesar 14.8% - 22.2% dibandingkan kontrol.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian SP-36 yang disertai inokulasi MPF mampu menyebabkan jumlah daun paling besar dibanding perlakuan lainnya. Bahkan, pemberian SP-36 yang disertai inokulasi *A. niger* mampu meningkatkan jumlah daun sebesar 13.8% dibanding pemberian SP-36 saja. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa pemberian fosfat alam dan SP-36 yang disertai inokulasi MPF mampu membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman lebih optimal, ditunjukkan dengan jumlah daun yang lebih besar. Peran MPF selain mampu membantu penyerapan P tanaman juga mampu merangsang pertumbuhan. Hal ini disebabkan karena MPF mampu menghasilkan metabolit menguntungkan seperti fitohormon, antibiotik dan siderophore [13].

Pengaruh perlakuan tidak terlihat pada awal masa pertumbuhan. Hal ini ditunjukkan dengan tidak terjadi perbedaan yang nyata baik pada tinggi tanaman maupun jumlah daun pada tanaman umur 21 HST. Sedikit P diserap tanaman pada

Tabel 1. Pengaruh mikrob pelarut fosfat dan sumber fosfat terhadap tinggi dan jumlah daun tanaman jagung

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)		Jumlah daun (helai)	
	21 HST	35 HST	21 HST	35 HST
Kontrol	74.50 a	121.50 a	7.0 a	9.00 a
<i>B. cepacia</i>	72.58 a	126.17 a	7.3 a	9.83 abcd
<i>A. niger</i>	77.67 a	128.50 a	7.7 a	9.50 abc
<i>mix culture</i>	81.25 a	127.00 a	7.7 a	9.33 ab
Fosfat alam Blora (FA)	78.50 a	125.42 a	7.0 a	9.50 abc
<i>B. cepacia</i> + FA	75.25 a	129.08 a	7.5 a	10.00 abcd
<i>A. niger</i> + FA	77.83 a	122.92 a	7.5 a	10.00 abcd
<i>mix culture</i>	78.42 a	134.75 a	7.3 a	10.33 bcd
SP-36	77.17 a	124.33 a	7.5 a	9.67 abc
<i>B. cepacia</i> + SP-36	77.67 a	125.42 a	7.5 a	10.33 bcd
<i>A. niger</i> + SP-36	81.25 a	131.50 a	7.8 a	11.00 d
<i>mix culture</i> + SP-36	78.83 a	126.00 a	7.5 a	10.67 cd

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

pertumbuhan fase 2, dan serapan hara sangat cepat terjadi selama fase vegetatif dan pengisian biji. Unsur P terus menerus diserap tanaman sampai mendekati matang [14].

Serapan P Tanaman

Serapan P tanaman pada fase vegetatif, brangkasan, biji dan tongkol disajikan pada Tabel 2. Hasil menunjukkan bahwa inokulasi MPF dan pemberian sumber fosfat secara nyata mampu meningkatkan serapan P pada tanaman umur 50 HST (fase vegetatif) dan serapan P pada biji. Hasil menunjukkan bahwa inokulasi *A. niger* mampu meningkatkan serapan P tanaman umur 50 HST sebesar 66.3% dibandingkan kontrol. Serapan P semakin meningkat ketika *A. niger* dikombinasikan dengan pemberian SP-36. Kombinasi perlakuan ini mampu meningkatkan serapan P tanaman 50 HST sebesar 97.6% dibandingkan kontrol dan meningkatkan sebesar 33.8% dibanding perlakuan SP-36 saja. Sedangkan perlakuan inokulasi *mix culture* yang disertai

pemberian fosfat alam mampu meningkatkan serapan P tanaman umur 50 HST sebesar 104.4% dibanding kontrol dan sebesar 60.0% dibanding pemberian fosfat alam saja. Perlakuan MPF *single culture* (*B. cepacia* dan *A. niger*) yang disertai pemberian fosfat alam menyebabkan sedikit peningkatan serapan P yang tidak nyata dibanding pemberian fosfat alam saja.

Pengaruh inokulasi MPF dan pemberian sumber P juga terlihat pada serapan P biji. Perlakuan inokulasi MPF pada saat diberi sumber P maupun saat tidak diberi sumber P mampu meningkatkan serapan P biji sebesar 45.93% - 54.38% dibandingkan kontrol. Pengaruh perlakuan inokulasi *mix culture* yang disertai pemberian fosfat alam menyebabkan sedikit peningkatan serapan P biji yang tidak nyata dibanding pemberian fosfat alam saja. Sama halnya pada perlakuan MPF yang disertai pemberian SP-36, inokulasi MPF menyebabkan sedikit peningkatan serapan P yang tidak nyata dibanding pemberian SP-36 saja.

Tabel 2. Pengaruh mikrob pelarut fosfat dan sumber fosfat terhadap serapan P tanaman jagung

Perlakuan	Serapan P (mg/tanaman)			
	Fase vegetatif	Fase generatif		
	Brangkasan 50 HST	Brangkasan	Biji	Tongkol
Kontrol	37.48 a	34.94 a	97.04 a	5.47 a
<i>B. cepacia</i>	47.33 ab	32.17 a	130.00 bc	6.11 a
<i>A. niger</i>	62.34 bcd	28.38 a	159.80 c	7.03 a
<i>mix culture</i>	50.00 ab	38.76 a	125.24 ab	6.06 a
Fosfat alam Blora (FA)	47.87 ab	34.41 a	136.35 bc	7.48 a
<i>B. cepacia</i> + FA	50.68 ab	30.95 a	134.60 bc	9.91 a
<i>A. niger</i> + FA	48.59 ab	30.53 a	130.12 bc	5.71 a
<i>mix culture</i> + FA	76.60 d	30.38 a	144.26 bc	6.70 a
SP-36	55.34 abc	39.44 a	135.23 bc	7.79 a
<i>B. cepacia</i> + SP-36	55.79 bc	32.21 a	141.61 bc	7.69 a
<i>A. niger</i> + SP-36	74.07 d	36.93 a	149.81 bc	8.08 a
<i>mix culture</i> + SP-36	69.14 cd	34.53 a	145.42 bc	11.94 a

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa inokulasi MPF dan pemberian sumber P berupa fosfat alam dan SP-36 telah mampu menyebabkan penyerapan P oleh tanaman menjadi lebih besar [6,15]. MPF mempunyai kemampuan untuk meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman dengan cara menghasilkan asam-asam organik yang dapat melepaskan P dalam tanah dari ikatan dengan Ca, Al dan Fe [2,5,16,17]. Karena kemampuannya tersebut maka MPF juga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan fosfat alam dan SP-36.

Aktivitas Jenis (³²P) Tanaman Jagung

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh perlakuan menyebabkan penurunan aktivitas jenis yang nyata dibandingkan kontrol, kecuali pada bagian tongkol (Tabel 3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi MPF mampu menurunkan nilai aktivitas jenis tanaman jagung. Aktivitas jenis seluruh perlakuan MPF pada brangkasan 50 HST dan pada brangkasan

fase masak fisiologis secara nyata lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Penurunan aktivitas jenis terbesar terjadi akibat perlakuan MPF yang disertai pemberian SP-36.

Penurunan aktivitas jenis akibat inokulasi MPF mengindikasikan bahwa tanaman yang diinokulasi MPF menyerap P yang berbeda dari yang diserap tanaman kontrol. Tanaman yang diberi perlakuan MPF menyerap ³¹P dari dalam tanah yang awalnya tidak tersedia, menjadi tersedia karena adanya aktivitas dari MPF. MPF mempunyai kemampuan untuk melepaskan P dari pelarutan sumber P maupun peningkatan P tersedia dalam tanah. MPF mempunyai kemampuan melepas P dari ikatan Fe, Al, Ca dan Mg sehingga P yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman [7]. Pelepasan P ini didahului dengan sekresi asam-asam organik, diantaranya asam sitrat, glutamat, suksinat, laktat, oksalat, glikosilat, malat, fumarat [7]. Hasil sekresi tersebut akan berfungsi sebagai katalisator, pengkhalat dan memungkinkan asam-asam

Tabel 3. Pengaruh mikrob pelarut fosfat dan sumber fosfat terhadap aktivitas jenis (³²P) tanaman jagung

Perlakuan	Aktivitas jenis (Bq/mgP)			
	Fase vegetatif	Fase generatif		
	Brangkasan 50 HST	Brangkasan	Biji	Tongkol
Kontrol	1991 c	3028 d	3733 c	3386 f
<i>B. cepacia</i>	1293 b	2053 bc	3119 b	2648 def
<i>A. niger</i>	1386 b	2387 c	2988 b	3021 ef
<i>mix culture</i>	1544 b	2122 c	3197 bc	1939 abcd
Fosfat alam Blora (FA)	1453 b	2123 c	2847 b	2105 abcd
<i>B. cepacia</i> + FA	1333 b	2438 cd	3084 b	2396 cde
<i>A. niger</i> + FA	1422 b	2317 c	3332 bc	2672 def
<i>mix culture</i> + FA	1421 b	2216 c	2986 b	2357 bcde
SP-36	1241 b	1413 ab	2240 a	1606 abc
<i>B. cepacia</i> + SP-36	871 a	1451 ab	1944 a	1569 ab
<i>A. niger</i> + SP-36	755 a	1423 ab	2001 a	1586 abc
<i>mix culture</i> + SP-36	621 a	1228 a	1952 a	1368 a

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

organik tersebut membentuk senyawa kompleks dengan kation-kation Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , dan I^{3+} sehingga terjadi pelarutan fosfat menjadi bentuk tersedia yang dapat diserap oleh tanaman [7]. Pelepasan P menjadi bentuk tersedia bagi tanaman akan menyebabkan penambahan ^{31}P dan menyebabkan penurunan aktivitas jenis ($^{32}\text{P}/^{31}\text{P}$) pada tanah berlabel isotop [17].

Inokulasi MPF yang disertai pemberian SP-36 menyebabkan penurunan aktivitas jenis terbesar. Semakin rendah nilai aktivitas jenis suatu perlakuan menggambarkan perlakuan tersebut semakin tinggi dalam menyumbang P bagi tanaman. Hal ini mengindikasikan bahwa SP-36 mampu menyumbang ^{31}P terbesar di dalam tanah. Penambahan inokulasi MPF semakin membantu meningkatkan sumbangan P bagi tanaman. Adanya sumbangan P dari sumber tidak berlabel isotop menyebabkan jumlah ^{31}P dalam tanah meningkat yang selanjutnya menurunkan nilai aktivitas jenis ($^{32}\text{P}/^{31}\text{P}$) di dalam tanah. Kombinasinya dengan inokulasi MPF menyebabkan semakin besarnya ^{31}P yang diserap oleh tanaman.

Kontribusi P Berasal dari MPF, Fosfat Alam dan SP-36

Hasil penelitian menunjukkan bahwa %P berasal dari aktivitas MPF (%P-bdp) adalah sebesar 21.97% - 34.67% atau sebesar 10.46 - 19.09 mg/tanaman pada tanaman umur 50 HST, sebesar 21.09% - 31.76% atau sebesar 6.08 - 11.62 mg/tanaman pada brangkasan, sebesar 14.09% - 19.68% atau sebesar 18.64 - 31.15 mg/tanaman pada biji dan sebesar 9.47% - 42.20% atau sebesar 1.07 - 2.38 mg/tanaman pada tongkol. Perlakuan inokulasi MPF yang disertai pemberian fosfat alam mampu menyumbang P bagi tanaman namun tidak menunjukkan perbedaan nyata bila dibandingkan dengan perlakuan MPF saja atau fosfat alam saja. Sumbangan P berasal dari aktivitas MPF dan fosfat alam adalah sebesar 28.20% - 38.72% atau sebesar 13.76 - 21.59 mg/tanaman pada tanaman umur 50 HST, sebesar 19.34% - 26.94% atau sebesar 6.43 - 8.27 mg/tanaman

pada brangkasan, sebesar 10.21% - 20.10% atau sebesar 13.13 - 28.92 mg/tanaman pada biji dan sebesar 21.19% - 31.71% atau sebesar 1.19 - 2.08 mg/tanaman pada tongkol.

Inokulasi MPF disertai pemberian sumber P berupa SP-36 menyebabkan %P paling besar diantara perlakuan lainnya. Sumbangan P berasal dari aktivitas MPF dan SP-36 adalah sebesar 56.06% - 68.54% atau sebesar 31.14 - 47.29 mg/tanaman pada tanaman umur 50 HST, sebesar 51.96% - 59.65% atau sebesar 16.82 - 20.43 mg/tanaman pada brangkasan, sebesar 46.33% - 47.70% atau sebesar 68.33 - 70.03 mg/tanaman pada biji dan sebesar 52.82% - 59.87% atau sebesar 4.07 - 7.08 mg/tanaman pada tongkol. Perlakuan inokulasi *mix culture* disertai pemberian SP-36 mampu meningkatkan kontribusi P pada tanaman 50 HST dan tongkol dibanding perlakuan SP-36 saja.

MPF mampu meningkatkan penyerapan P lewat pelarutan P anorganik, mineralisasi P organik, akumulasi dan turnover P dari biomasa mikrob [18]. Peningkatan P tersedia oleh aktivitas mikrob ini menyebabkan menurunnya aktivitas jenis pada sample tanaman (Tabel 3) dan selanjutnya dapat dihitung berapa besar sumbangan P yang diberikan. MPF juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan kelarutan fosfat alam. Namun, besarnya pelarutan P oleh mikrob bergantung pada beberapa faktor salah satunya kualitas fosfat alam yang digunakan [19].

Sumbangan P terbesar adalah akibat dari perlakuan MPF yang disertai pemberian SP-36. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan MPF dalam meningkatkan P tersedia bagi tanaman dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk SP-36. Pada penelitian sebelumnya dilaporkan bahwa penggunaan MPF pada tanaman padi menggunakan metode SRI mampu menurunkan penggunaan SP-36 sebesar 25% [6].

Tabel 4. Pengaruh mikrob pelarut fosfat dan sumber fosfat terhadap %P berasal dari aktivitas mikrob, fosfat alam dan SP-36 (%P-bdp) dan P berasal dari aktivitas mikrob, fosfat alam dan SP-36 (P-bdp)

Perlakuan	%P-bdp											
	Fase vegetatif			Fase generatif			Fase vegetatif			Fase generatif		
	Brangkasan 50 HST	Brangkasan	Biji	Tongkol	Brangkasan 50 HST	Brangkasan	Biji	Tongkol	Brangkasan 50 HST	Brangkasan	Biji	Tongkol
Kontrol	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
<i>B. cepacia</i>	34.67 b	31.76 bc	16.06 ab	21.75 abc	16.03 b	9.46 bc	21.31 ab	1.26 ab	16.03 b	9.46 bc	21.31 ab	1.26 ab
<i>A. niger</i>	31.16 b	21.09 ab	19.68 b	9.47 ab	19.09 b	6.08 ab	31.15 bc	1.07 ab	19.09 b	6.08 ab	31.15 bc	1.07 ab
<i>mix culture</i>	21.97 b	30.25 b	14.02 ab	42.20 cde	10.46 ab	11.62 bcd	18.64 ab	2.38 bc	10.46 ab	11.62 bcd	18.64 ab	2.38 bc
Fosfat alam Blora (FA)	26.70 b	29.37 b	23.56 bc	37.89 cde	12.81 b	9.87 bc	33.04 bc	2.84 bc	12.81 b	9.87 bc	33.04 bc	2.84 bc
<i>B. cepacia</i> + FA	32.72 b	19.34 ab	16.95 ab	28.98 bcd	16.20 b	6.43 ab	24.67 ab	2.64 bc	16.20 b	6.43 ab	24.67 ab	2.64 bc
<i>A. niger</i> + FA	28.20 b	23.56 b	10.21 ab	21.19 abc	13.76 b	7.47 ab	13.13 ab	1.19 ab	13.76 b	7.47 ab	13.13 ab	1.19 ab
<i>mix culture</i> + FA	28.37 b	26.94 b	20.10 b	30.71 bcd	21.59 bc	8.27 b	28.92 abc	2.08 abc	21.59 bc	8.27 b	28.92 abc	2.08 abc
SP-36	37.65 b	52.83 cd	39.03 cd	52.67 de	20.85 bc	21.10 e	53.52 cd	4.10 c	20.85 bc	21.10 e	53.52 cd	4.10 c
<i>B. cepacia</i> + SP-36	56.06 c	51.96 cd	47.70 d	53.02 de	31.14 c	16.82 cde	68.33 d	4.07 c	31.14 c	16.82 cde	68.33 d	4.07 c
<i>A. niger</i> + SP-36	61.65 c	52.59 cd	46.33 d	52.82 de	46.15 d	18.61 de	70.03 d	4.15 c	46.15 d	18.61 de	70.03 d	4.15 c
<i>mix culture</i> + SP-36	68.54 c	59.65 d	47.54 d	59.87 e	47.29 d	20.43 e	69.23 d	7.08 d	47.29 d	20.43 e	69.23 d	7.08 d

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Bobot Kering Tanaman Jagung

Inokulasi MPF dan pemberian sumber P berpengaruh secara nyata dalam meningkatkan bobot kering tanaman umur 50 HST dan bobot kering biji (Tabel 5). Inokulasi MPF baik saat diinokulasikan tunggal ataupun *mix culture* mampu meningkatkan bobot kering tanaman 50 HST dan bobot kering biji.

tanaman secara nyata bila dibandingkan dengan perlakuan SP-36 saja.

Pengaruh inokulasi MPF dan sumber P juga terlihat pada bobot kering biji. Perlakuan inokulasi *A. niger* dan perlakuan inokulasi *mix culture* mampu meningkatkan bobot kering biji sebesar 36.7% - 66.8% dibanding kontrol. Perlakuan inokulasi MPF yang disertai pemberian fosfat alam dan SP-

Tabel 5. Pengaruh mikrob pelarut fosfat dan sumber fosfat terhadap bobot kering tanaman jagung

Perlakuan	Berat kering (g/tanaman)			
	Fase vegetatif	Fase generatif		
	Brangkasan 50 HST	Brangkasan	Biji	Tongkol
Kontrol	17.87 a	35.60 a	37.79 a	5.74 a
<i>B. cepacia</i>	25.90 abcd	41.23 a	43.03 ab	8.10 a
<i>A. niger</i>	30.60 bcd	39.53 a	63.02 c	6.88 a
<i>mix culture</i>	24.63 abc	39.13 a	51.42 bc	5.93 a
Fosfat alam Blora (FA)	24.13 abc	43.40 a	53.90 bc	10.68 a
<i>B. cepacia</i> + FA	22.47 ab	44.63 a	54.50 bc	7.95 a
<i>A. niger</i> + FA	25.67 abcd	42.00 a	54.84 bc	10.38 a
<i>mix culture</i> + FA	33.50 d	40.00 a	60.01 c	6.40 a
SP-36	30.17 bcd	42.27 a	52.89 bc	8.47 a
<i>B. cepacia</i> + SP-36	27.83 bcd	42.47 a	58.55 c	7.28 a
<i>A. niger</i> + SP-36	31.93 cd	40.37 a	60.53 c	7.79 a
<i>mix culture</i> + SP-36	29.17 bcd	41.23 a	62.71 c	10.56 a

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Inokulasi *A. niger* mampu meningkatkan bobot kering tanaman pada umur 50 HST sebesar 71.2% dibanding kontrol. Sedangkan perlakuan *mix culture* yang disertai pemberian fosfat alam mampu meningkatkan bobot kering tanaman sebesar 87.5% dibanding kontrol dan sebesar 38.8% dibanding perlakuan fosfat alam saja. Perlakuan MPF yang dikombinasikan dengan SP-36 mampu meningkatkan bobot kering tanaman sebesar 55.7% - 78.7% dibanding kontrol, namun perlakuan ini belum mampu meningkatkan bobot kering

36 juga mampu meningkatkan bobot kering biji dibandingkan kontrol. Namun tidak terjadi perbedaan nyata bila dibandingkan dengan perlakuan fosfat alam atau perlakuan SP-36 saja. Perlakuan inokulasi *mix culture* disertai pemberian SP-36 menghasilkan bobot kering biji paling besar.

Perbedaan bobot akibat inokulasi MPF diduga karena penyerapan hara oleh tanaman lebih besar dibandingkan tanpa inokulasi, khususnya hara P. Sumbangan P berasal dari aktivitas MPF dan SP-36 menyebabkan serapan P oleh tanaman lebih tinggi (Tabel 2). Penyerapan hara P yang

lebih baik menyebabkan pertumbuhan tanaman lebih baik yang selanjutnya mampu menghasilkan bobot tanaman dan hasil yang lebih besar. Selain itu beberapa MPF juga dilaporkan mampu menghasilkan zat-zat yang dapat memacu pertumbuhan tanaman. Peningkatan bobot tanaman dan peningkatan hasil oleh MPF juga telah dilaporkan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya melaporkan melaporkan bahwa MPF mampu meningkatkan bobot biomasa tanaman jagung yang diuji menggunakan metode *paper towel* antara 15 - 43% [15]. Peningkatan biomasa tanaman jagung dan hasil juga terjadi ketika MPF diaplikasikan pada percobaan rumah kaca dan percobaan lapangan [15]. Kaur dan Reddy melakukan penelitian aplikasi MPF untuk tanaman jagung dan gandum di beberapa lokasi dengan iklim yang berbeda selama 2 tahun. Penelitian ini melaporkan bahwa penggunaan MPF dapat meningkatkan hasil, penyerapan P, C-organik tanah, ketersediaan P, aktivitas enzim dan populasi MPF [20].

KESIMPULAN

Aktivitas MPF yang disertai pemberian sumber P berupa SP-36 mampu menyumbang P terbesar bagi tanaman. Sumbangan P berasal dari aktivitas MPF dan SP-36 adalah sebesar 56.06% - 68.54% pada tanaman umur 50 HST, sebesar 51.96% - 59.65% pada brangkasan, sebesar 46.33% - 47.70% pada biji dan sebesar 52.82% - 59.87% pada tongkol. Sumbangan P dari aktivitas MPF dan SP-36 mampu mendukung pertumbuhan tanaman menjadi lebih optimal, hal tersebut diperlihatkan oleh peningkatan jumlah daun, bobot tanaman 50 HST dan bobot biji yang paling besar dibanding kontrol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Halimah Enung,

Nurrobifahmi S.P., Sudono Slamet S.P., Sarjiyo, Munata yang telah membantu dalam proses kegiatan di rumah kaca dan analisis sample dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. LEIWAKABESSY, F.M., Kesuburan Tanah, bab 6, hal 1-9, Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, IPB, Bogor (1998).
2. KHAN, M.S., ZAIDI, A., WANI, P.A., Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture, in: E., LICHTFOUSE, ET AL. (eds), *Sustainable Agriculture*, Springer Science Business Media, New York, 551-570 (2009).
3. SYERS, J.K., JOHNSTON, A.E., CURTIN, D., *Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use*, FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, FAO Publishing, Rome, 63-108 (2008).
4. HUSNAIN, NURSYAMSI, D., PURNOMO, J., Penggunaan bahan agrokimia dan dampaknya terhadap pertanian ramah lingkungan, di dalam: HUSNAIN dkk. (eds.), *Pengelolaan Lahan pada Berbagai Ekosistem Mendukung Pertanian Ramah Lingkungan*, Balai Penelitian Tanah BBLSDLP-Kementerian Pertanian, Bogor, 7-46 (2014).
5. RODRÍGUEZ, H., FRAGA, R., Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion, *Biotechnology Advances*, 17, 319-339 (1999).
6. PUSPITAWATI, M.D., SUGIYANTA, ANAS, I., Pemanfaatan Mikrob Pelarut Fosfat untuk Mengurangi Dosis Pupuk P Anorganik pada Padi Sawah, *J. Agronomi Indonesia*, 41 (3), 188-195 (2013).

7. SUBBA-RAO N.S., *Biofertilizer in Agriculture*, Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, 186 (1982).
8. SRIVASTAVA, S., KAUSALYA, M.T., ARCHANA, G., RUPELA, O.P., NARESH-KUMAR, G., Efficacy of organic acid secreting bacteria in solubilization of rock phosphate in acidic alfisols, in: VELA´ZQUEZ, E., RODRI´GUEZ-BARRUECO, C. (eds.), *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*, Springer, 117-124 (2007).
9. SUYONO, A.D., CITRARESMINI, A., Measurement of P contribution from several P sources by using ^{32}P method, *Atom Indonesia*, **36**, 69-75 (2010).
10. BAREA, J.M., TORO, M., OROZCO, M.O., CAMPOS, E., AZCON, R., The application of isotopic (^{32}P and ^{15}N) dilution techniques to evaluate the interactive effect of phosphate-solubilizing rhizobacteria, mycorrhizal fungi and *Rhizobium* to improve the agronomic efficiency of rock phosphate for legume crops, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **63**, 35-42 (2002).
11. ZAPATA, F., AXMANN, H., ^{32}P isotopic techniques for evaluating the agronomic effectiveness of rock phosphate materials, *Fertilizer Research*, **41** (3), 189-195 (1995).
12. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Use Isotope and Radiation Method in Soil and Water Management and Crop Nutrition*, International Atomic Energy Agency, Vienna (2001).
13. SHARMA, S.B., SAYYED, R.Z., TRIVEDI, M.H., GOBI, T.A., Phosphate solubilizing microbe: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus*, **2**, 587 (2013).
14. SYAFRUDDIN, FAESAL, AKIL, M., Pengelolaan hara pada tanaman jagung, di dalam: HERMANTO, dkk., *Jagung: Teknik produksi dan pengembangan*, Pusat Tanaman Pangan Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Bogor, 205-218 (2007).
15. HAMEEDAA, B., HARINIB, G., RUPELAB O.P., WANIB, S.P., REDDY, G., Growth promotion of maize by phosphate solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. *Microbiological Research*, **163**, 234-242 (2008).
16. CHEN, Y.P., REKHA, P.D., ARUN, A.B., SHEN, F.T., Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities, *Microbiological Research*, **163**, 234-242 (2006).
17. BARROSO, C.B., NAHAS, E., Solubilization of hardly soluble iron and aluminum phosphates by the fungus *Aspergillus niger* in the soil, *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*. Springer, 193-198 (2007).
18. RICHARDSON A.E., SIMPSON R.J., Soil microorganisms mediating phosphorus availability, *Plant Physiology*, **156**, 989-996 (2011).
19. XIAO, C., CHIB, R., HUANG, X., ZHANG, W., QIUA, G., WANGA, D., Optimization for rock phosphate solubilization by phosphate-solubilizing fungi isolated from phosphate mines, *Ecological Engineering*, **33**, 187-193 (2008).
20. KAUR, G., REDDY, M.S., Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocational sites, *European J. of Soil Biology*, **61**, 35-40 (2014).