

Pengaruh Kompos yang Diperkaya Bakteri Penambat Nitrogen dan Pelarut Fosfat terhadap Pertumbuhan Tanaman Kapri dan Aktivitas Enzim Fosfatase dalam Tanah

Widawati, S.¹⁾, Suliasih¹⁾, dan A. Muharam²⁾

¹⁾Pusat Penelitian Biologi-LIPI, Jl. Raya Cibinong-km 46, Bogor

²⁾Balai Penelitian Tanaman Hias, Jl. Raya Ciherang-Pacet, Cianjur 43253

Naskah diterima tanggal 9 Agustus 2010 dan disetujui untuk diterbitkan tanggal 27 Oktober 2010

ABSTRAK. Penggunaan pupuk organik dalam budidaya sayuran memiliki beberapa keuntungan, terutama untuk mempertahankan kondisi tanah dan menekan penggunaan pupuk anorganik. Penelitian dilaksanakan di Desa Cidawu (1.250 m dpl.), Cibodas, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat, mulai bulan Januari sampai Desember 2007. Sampel tanah dikoleksi dari daerah berbeda di Pontianak, Kalimantan Barat. Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh kompos yang diperkaya dengan bakteri pelarut fosfat (*phosphate solubilizing bacteria*=PSB) terhadap pertumbuhan tanaman kapri dan aktivitas enzim fosfatase di dalam tanah. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok dengan lima perlakuan dan tiga ulangan. Varietas kapri yang digunakan ialah varietas lokal. Perlakuan terdiri atas (A) tanpa pupuk, (B) pupuk anorganik (TSP+KCl+Urea), (C) kotoran ayam + sekam, (D) kompos, dan (E) kompos plus, yaitu kompos yang diberi campuran bakteri, yaitu bakteri penambat nitrogen simbiotik, bakteri penambat nitrogen nonsimbiotik, dan bakteri pelarut fosfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran bakteri yang diisolasi dari tanah gambut di Kalimantan Barat yang terkandung dalam kompos plus dapat beradaptasi dengan baik pada lahan di lokasi penelitian. Populasi total SNFB, NSNFB, dan PSB meningkat masing-masing menjadi $9,15 \times 10^8$, $9,34 \times 10^8$, dan $9,35 \times 10^8$ sel/g tanah. Keberadaan campuran bakteri tersebut mampu meningkatkan aktivitas enzim fosfatase asam dan basa di dalam tanah. Peningkatan tertinggi aktivitas enzim fosfomonoesterase asam dan basa dicapai pada perlakuan kompos plus. Perlakuan tersebut juga meningkatkan berat buah kapri dibandingkan dengan kontrol (75,32 %), perlakuan pupuk kimia (45,48%), kotoran ayam + sekam (31,19 %), dan kompos (15,60 %). Pemanfaatan campuran bakteri pelarut fosfat tersebut dalam kompos diharapkan dapat digunakan secara meluas dalam pembudidayaan kapri dalam sistem *organic farming* (OF), sehingga berperan dalam peningkatan produksi dan sekaligus menekan penggunaan pupuk anorganik.

Katakunci: Kapri; *Pisum sativum*; Kompos plus; Pupuk anorganik; Bakteri pelarut fosfat; Bakteri penambat nitrogen simbiotik; Bakteri penambat nitrogen nonsimbiotik.

ABSTRACT. Widawati, S., Suliasih, and A. Muharam. 2010. The Effect of Compost Enriched with Symbiotic Nitrogen Fixing and Phosphate Solubilizing Bacteria on the Growth of Peas and the Activity of Phosphatase Enzymes in the Soil. The use of organic materials on cultivation of vegetable crops has some advantages, especially for maintaining suitable soil conditions and decreasing the utilization of inorganic fertilizers. The research was carried out at Cidawu Village, Cibodas (1,250 m asl.), Cianjur, West Java, from January to December 2007. Soil samples were collected from some different areas in Pontianak, West Kalimantan. The research was aimed to determine the effect of compost enriched with mixed phosphate solubilizing bacteria (PSB) on the growth of peas and on the activity of phosphatase enzymes in the soil. A randomized block design with five treatments and three replications was used in the experiment. A local variety of peas was utilized in the experiment. The treatments were the addition of fertilizers consisted of (A) without any fertilizer, (B) with inorganic fertilizers i.e. TSP+KCl+Urea, (C) with chicken dung + rice husk, (D) with compost, and (E) with compost plus (compost enriched with symbiotic nitrogen fixing bacteria/SNFB, nonsymbiotic nitrogen fixing bacteria/NSNFB, and PSB). The results showed that the mixed bacteria isolated from peat soil in West Kalimantan in the compost plus (treatment E) properly adapted in soil conditions at the site of the experiment. The total populations of SNFB, NSNFB, and PSB were increased up to 9.15×10^8 , 9.34×10^8 , and 9.35×10^8 cell/g soil, respectively. The occurrence of the mixed bacteria increased the activity of acid and alkaline phosphatases in the soil. The highest activities of acid and alkaline phosphomonoesterase enzymes in the soil achieved by the treatment of compost plus. The treatment increased the fresh weight of peas compared to control (75.32 %), to the chemical fertilizers (45.48%), to chicken dung+rice husk (31.19 %), and to compost (15.60 %). The widely application of the mixed PSB in compost is hopefully established in cultivation of peas in the organic farming (OF) system, then it will confidently support on the increase of peas production, and the decrease of inorganic fertilizers as well.

Keywords: Peas; *Pisum sativum*; Compost plus; Inorganic fertilizers; Phosphate solubilizing bacteria; Symbiotic nitrogen fixing bacteria; Nonsymbiotic nitrogen fixing bacteria.

Penggunaan pupuk kimia atau anorganik yang berlebihan dan berulang-ulang menyebabkan sebagian besar lahan pertanian di Indonesia menjadi tidak subur (marginal), sehingga tidak

optimal untuk pembudidayaan tanaman. Hal tersebut disebabkan oleh berkurangnya atau hilangnya kandungan nutrisi dan mineral dalam tanah, seperti fosfat terikat pada mineral tanah, serta menurunnya populasi mikroba yang berperan sebagai pupuk hayati (*biofertilizer*)(Glick 1995). Bakteri pelarut fosfat (*phosphate solubilizing bacteria*=PSB) merupakan salah satu jenis mikroba tanah yang berperan dalam penyediaan dan penyerapan unsur hara bagi tanaman. Kesuburan suatu lahan juga terkait dengan jenis dan jumlah PSB yang mampu tumbuh dan berkembang secara tetap. Perkembangan mikroba bergantung pada sifat kimia dan fisik tanah serta keberadaan jenis vegetasi yang tumbuh pada lahan tersebut. Sifat kimia yang berperan dalam kehidupan mikroba tanah adalah tingkat kemasaman, kandungan hara utama seperti karbon (C), nitrogen (N), posfor (P), dan kalium (K) serta sejumlah unsur-unsur mikro (Alexander *dalam* Widawati 2005).

Bakteri pelarut fosfat merupakan bakteri tanah yang bersifat nonpatogenik dan termasuk dalam kategori bakteri pemacu pertumbuhan tanaman. Bakteri tersebut menghasilkan vitamin dan fitohormon yang dapat memperbaiki pertumbuhan akar tanaman dan meningkatkan serapan hara (Glick 1995). Bakteri pelarut fosfat bukan merupakan satu-satunya kelompok bakteri yang dapat melarutkan P yang teradsorpsi permukaan oksida-oksida besi dan aluminium sebagai senyawa Fe-P dan Al-P (Hartono 2000). Beberapa kelompok Actinomycetes (Nitta *et al.* 2002) dan kelompok jamur (Aleksieva *et al.* 2003), dapat juga melarutkan Fe-P dan Al-P. Bakteri pelarut fosfat tersebut berperan juga dalam transfer energi, penyusunan protein, koenzim, asam nukleat, dan senyawa-senyawa metabolik lainnya yang dapat meningkatkan aktivitas penyerapan P pada tumbuhan yang kekurangan P (Rao *dalam* Widawati 2005).

Di samping bakteri pelarut fosfat, di dalam tanah terdapat pula bakteri penambat nitrogen simbiotik (*symbiotic nitrogen fixing bacteria*=SNFB) dan bakteri penambat nitrogen nonsimbiotik (*nonsymbiotic nitrogen fixing bacteria*=NSNFB). Bakteri penambat nitrogen simbiotik berperan sebagai mikro simbion dalam proses simbiosis dengan tanaman leguminosa yang berperan sebagai makro simbion. Bakteri

penambat nitrogen nonsimbiotik adalah bakteri penambat nitrogen yang umumnya tumbuh baik di sekitar tanaman nonleguminosa dan membantu tanaman tersebut dalam penyerapan nitrogen (Widawati *et al.* 2005). Namun demikian, menurut hasil uji laboratorium, bakteri tersebut juga dapat melarutkan fosfat. Berdasarkan hal tersebut, maka campuran bakteri pelarut fosfat (yaitu bakteri pelarut fosfat dan bakteri penambat nitrogen yang sekaligus berperan dalam melarutkan fosfat) dapat diinokulasikan dalam kompos sebagai pupuk alami dalam sistem *organic farming* (OF).

Pada sistem OF pemanfaatan bakteri tanah potensial dalam kompos yang disebut kompos plus, merupakan solusi terbaik untuk mengembalikan kesuburan tanah dan sekaligus meningkatkan produksi tanaman, khususnya sayuran. Bakteri tanah dalam kompos plus tersebut diisolasi dari lahan gambut yang keasamannya tinggi (pH rendah), pantai dengan kadar garam tinggi, lahan kering yang mengalami stres air, lahan pertanian yang tercemar pupuk kimia, dan lahan hutan yang subur. Penggunaan kompos plus yang mengandung jutaan bakteri hidup sebagai pupuk hayati dalam sistem OF, mampu mengurangi efek negatif terhadap lingkungan, menghambat penurunan populasi bakteri potensial sebagai *biofertilizer* dalam tanah, dan memperbaiki struktur tanah. Dengan demikian, aerasi udara dan pergerakan air lancar, sehingga menambah daya serap air dalam tanah dan mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman, khususnya sayuran dan tanaman obat (Widawati *et al.* 2002, Widawati dan Suliasih 2005, 2006, Arwan *et al.* 2005). Pupuk tersebut juga disebut pupuk hayati atau pupuk mikroba (Simanungkalit 2001).

Percobaan bertujuan mengetahui pengaruh bakteri pelarut fosfat asal Pontianak, Kalimantan Barat yang ditambahkan ke dalam kompos plus terhadap produksi tanaman kapri (*Pisum sativum* L.) dan aktivitas bakteri tanah dalam sistem OF. Pemanfaatan kompos plus diharapkan dapat lebih diintensifkan dalam sistem OF kepada masyarakat pedesaan, terutama pada lahan yang ekstrim atau marginal. Dengan demikian, implementasi sistem OF tersebut dapat berperan dalam melestarikan lingkungan yang masih alami dan menghindarkan bahan cemaran pada pertanian berkelanjutan

untuk menuju hidup yang lebih sehat dan berkualitas.

Hipotesis yang diuji dalam penelitian ini ialah aplikasi bahan organik yang dilengkapi dengan bakteri penyedia hara memberikan pengaruh yang berbeda dibandingkan dengan bahan anorganik terhadap pertumbuhan dan produksi kapri.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan di Desa Cidawu, Cibodas, Kabupaten Cianjur (1.250 m dpl.), Provinsi Jawa Barat, sejak Januari sampai Desember 2007. Sampel tanah dikumpulkan dari beberapa daerah di Kalimantan Barat.

Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah diambil dari habitat ekosistem yang berbeda, yaitu lahan gambut di Rasau Jaya, gambut berpasir di Mandor, lahan pasir pantai dan payau di Singkawang, lahan payau di Mempawah, lahan kering merah/marginal di Karoho, lahan pertanian di Sambas, dan lahan subur atau hutan di Ketapang. Sampel tanah ekstrim dan subur diambil secara acak pada daerah tanpa tanaman dan daerah perakaran (*rhizosphere*) tanaman. Tanah diambil secara komposit dari kedalaman 0-15 cm pada daerah ekstrim di Pontianak serta daerah subur di Ketapang sebanyak 0,5 kg dan dimasukkan kedalam kantong plastik hitam. Tanah dikeringanginkan, digerus, dan diayak menggunakan ayakan dengan diameter kisi 2 mm. Selanjutnya hasil ayakan diisolasi kandungan bakterinya.

Isolasi dan Seleksi Efektivitas SNFB, NSNFB, dan PSB dari Sampel Tanah

Tanah segar sebanyak 10 g dimasukkan kedalam 90 ml akuades steril dan dikocok dengan *shaker* selama 1 jam pada kecepatan 120 rpm. Satu ml ekstrak selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung berisi 9 ml akuades steril dan dikocok sampai homogen, kemudian sebanyak 1 ml dipindahkan ke tabung berikutnya dan seterusnya, sehingga mencapai pengenceran 10^{-7} . Sebanyak 0,2 ml ekstrak dari masing-masing pengenceran 10^{-3} , 10^{-5} , dan 10^{-7} dimasukkan ke dalam cawan-cawan petri steril, kemudian media selektif dituangkan ke dalam cawan-cawan

tersebut, yaitu media Yema merah *congo* untuk *Rhizobium*, Pikovskaya untuk bakteri pelarut fosfat, Manitol Ashby untuk *Azotobacter*, dan Okon untuk *Azospirillum*. Selanjutnya cawan-cawan tersebut diinkubasi selama 3-7 hari pada suhu 28°C.

Jumlah populasi bakteri masing-masing media selektif dihitung menurut metode *plate count* (Rao dalam Widawati 2005). Koloni dari masing-masing jenis bakteri dimurnikan dan ditransfer ke media pertumbuhan Pikovskaya, yaitu: 10 g glukosa, 5 g Ca_3PO_4 , 0,5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,2 g KCl, 0,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,01 g $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0,5 g yeast ekstrak, dan 0,01 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada pH 7. Tahapan tersebut dilakukan untuk mendapatkan SNFB, NSNFB, dan PSB. Daerah zona bening (*holozone area*) yang dibentuk oleh pertumbuhan bakteri diukur rasionya dengan membandingkan diameter zona bening dengan diameter koloni setelah diinkubasi 7 hari pada temperatur ruang. Bakteri yang mempunyai diameter ≥ 1 cm kemudian diidentifikasi dengan pengamatan morfologinya, yaitu bentuk sel (*coccus*, *rod*, atau *short rod*), reaksi gram (positif atau negatif), gerakan sel (motil, formasi spora, tunggal, berpasangan, atau bentuk rantai). Isolat-isolat yang diperoleh selanjutnya diuji dengan reaksi gula menggunakan metode Bergey (Krieg dan Holt 1984).

Pembuatan Kompos Plus

Pengukuran pH dan analisis kandungan SNFB, NSNFB, dan PSB dilakukan terhadap kompos yang digunakan dalam pembuatan kompos plus. Kompos yang digunakan disiapkan dengan mencampurkan potongan-potongan rumput dan kotoran ayam dengan perbandingan volume 1 : 1 yang diinkubasikan selama 1,5 bulan. Kompos tersebut digunakan sebagai bahan pembawa (*carrier*) bagi bakteri-bakteri tersebut. Isolat SNFB, NSNFB, dan PSB murni dengan efektivitas teruji dalam melarutkan fosfat terikat yang ditandai dengan zona bening terbesar, ditumbuhkan pada media Pikovskaya cair dan diinkubasi selama 7 hari dengan dikocok pada kecepatan 120 rpm. Selanjutnya jumlah populasi campuran bakteri (SNFB, NSNFB, dan PSB) dalam inokulan cair dihitung menggunakan metode *plate count*. Untuk penyiapan kompos plus, kompos sebagai bahan pembawa dicampur

dengan inokulan cair dengan perbandingan 100 g kompos dan 60 ml inokulan cair. Campuran tersebut selanjutnya diinkubasi selama 7 hari, kemudian jumlah populasi SNFB, NSNFB, dan PSB dihitung kembali dengan metode *plate count* (Widawati 2005).

Kompos plus digunakan sebanyak 25 g per lubang tanam. Kompos plus yang baik untuk penyubur tanah dan dapat memperbaiki struktur tanah harus mengandung lima macam nutrisi, yaitu unsur karbon (C = 19-40%), nitrogen (N = 2 - 3%), posfor (P = 0,01-0,14%), kalium (K = 0,039-35%), magnesium (Mg = 0,04-0,021%), dan C/N rasio sebesar 9-20% (Widawati *et al.* 2002).

Analisis Kandungan Fosfomonoesterase (PMEase) – Asam dan Basa

Fosfomonoesterase (PMEase) merupakan bentuk dari enzim fosfatase yang dianalisis dalam penelitian ini. Tahapan penyiapan larutan standar adalah sebagai berikut: (a) larutan induk p-nitrofenol (1.000 µg p-nitrofenol/ml) disiapkan dengan melarutkan 0,1 g p-nitrofenol dalam air suling, kemudian diencerkan sampai volume 100 ml dalam labu takar, (b) larutan standar 20 µg p-nitrofenol/ml disiapkan dengan cara mencampurkan 2 ml larutan induk dengan 98 ml air suling dalam labu takar 100 ml, (c) sebanyak masing-masing 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 ml larutan standar 20 µg p-nitrofenol/ml dimasukkan ke dalam tabung reaksi, dan diencerkan dalam air suling sampai volume 5 ml, (d) selanjutnya ke dalam masing-masing tabung tersebut ditambahkan 1 ml kalsium klorida 0,5 M dan 4 ml natrium hidroksida 0,5 M, dan larutan diaduk sampai homogen, dan (e) larutan diukur absorbannya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm.

Pengujian aktivitas PMEase dalam sampel tanah dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (a) 1 g tanah contoh dimasukkan ke dalam botol uji, ditambahkan 1 ml substrat p-nitrofenilfosfat 20 µg p-nitrofenol/ml dan 4 ml buffer pH 6,5 untuk uji PMEase-asam, atau pH 7,5 untuk uji PMEase-basa, (b) campuran tersebut selanjutnya dikocok, ditutup, dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 1 jam, (c) selanjutnya 1 ml CaCl₂ 0,5 M dan 4 ml NaOH 0,5 M, dikocok dan kemudian disaring, (d) sebanyak 1 ml filtrat dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambah 9 ml air

suling, dan (e) larutan diukur absorbannya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm. Pengujian terhadap setiap contoh tanah diulang tiga kali. Contoh tanah steril digunakan sebagai kontrol.

Uji Efektivitas Pupuk di Lapangan

Petak-petak percobaan disiapkan pada lahan yang terlebih dahulu dicangkul dan diratakan. Petak percobaan seluas 3 m² (3x1 m). Benih kapri varietas lokal ditanam dengan jarak tanam 30 x 50 cm, sebanyak 20 tanaman per petak. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok dengan lima perlakuan dan tiap perlakuan dengan tiga ulangan. Perlakuan yaitu pemberian pupuk yang terdiri atas (A) tanpa pupuk sebagai kontrol, (B) pupuk kimia TSP+KCl+Urea, (C) kotoran ayam + sekam, (D) kompos, dan (E) kompos plus. Dosis pupuk per petak untuk perlakuan A, B, C, D, dan E, masing-masing sebanyak 0, 0,25, 3,0, 3,0, dan 1,0 kg.

Selama pemeliharaan tanaman, tiap petak disiang dan disiram sesuai kebutuhan. Pada saat tanaman kapri tumbuh setinggi kurang lebih 0,5 m, turus dipasang sebagai penyangga pada setiap tanaman. Setelah 1,5-2 bulan tanaman kapri dipanen dan ditimbang berat basahannya. Peubah yang diamati adalah berat basah kapri per perlakuan, populasi bakteri pelarut fosfat tanah setelah panen (metode *plate count*), dan aktivitas enzim fosfatase asam dan basa pada tanah setelah panen (Tabatabai 1994). Data pengamatan diolah dengan ANOVA dan uji signifikansi nilai rerata dilakukan dengan uji Duncan pada taraf uji 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Bakteri dan Uji Kemampuan Pelarutan Fosfat

Kegiatan isolasi terhadap sampel yang dikumpulkan dari 27 lokasi di Pontianak dan sekitarnya (Kalimantan Barat) menghasilkan sebanyak 37 isolat murni. Isolat-isolat tersebut terdiri atas 24 isolat bakteri pelarut fosfat (empat isolat *Citrobacter* sp., delapan isolat *Bacillus* sp., delapan isolat *Nitrosomonas*, satu isolat *Spaerotillus natans*, satu isolat *Bacterium* sp., dan dua isolat *Chromobacter* sp.), satu isolat *R. leguminosorum* (SNFB), delapan isolat *Azotobacter* sp., satu isolat

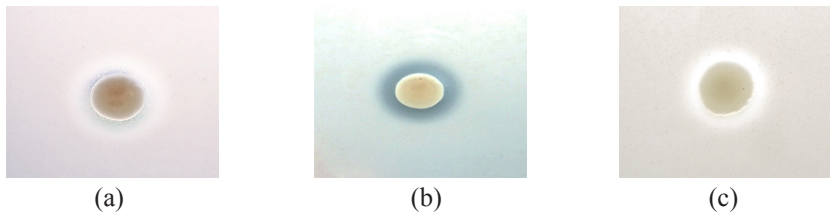
Tabel 1. Jenis bakteri yang mampu melarutkan fosfat (rasio zona > 1 cm) serta penghitungan populasi bakteri dalam tanah asal dan inokulan cair (*Types of phosphate solubilizing bacteria (zone ration > 1 cm) and their population in soil samples and liquid inoculant*)

Daerah sampling (<i>Sampling site</i>)	Nama isolat (<i>Name of isolate</i>)	Populai bakteri (<i>Population of bacteria</i>), sel/ml		
		Rasio zona (<i>Zone ratio</i>) cm	Sampel tanah (<i>Soil sample</i>) 10 ⁵	Inokulan cair (<i>Liquid inoculant</i>) 10 ⁹
Rasaujaya	<i>Bacillus</i> sp.	1,3	0,0012	2,1000
	<i>Nitrosomonas</i> sp.	1,9	0,0650	2,1000
	<i>Citrobacter</i> sp.	1,8	0,0002	1,0000
	<i>Azotobacter</i> sp.	1,8	0,0001	1,0000
Mandor	<i>Bacillus</i> sp.	1,2	1,0000	3,0000
	<i>Nitrosomonas</i> sp.	1,1	2,5000	2,0000
	<i>Azotobacter</i> sp.	1,6	1,5000	1,0000
Pantai Sing- kawang	<i>Bacillus</i> sp.	1,2	7,0000	9,1000
	<i>Nitrosomonas</i> sp.	1,3	1,2000	1,1000
	<i>Citrobacter</i> sp.	1,7	1,3200	2,9000
	<i>Azotobacter</i> sp.	1,7	0,0001	1,0000
Singkawang	<i>Bacillus</i> sp.	1,2	4,9000	1,2000
	<i>Nitrosomonas</i> sp.	1,3	1,2000	2,1000
	<i>Citrobacter</i> sp.	1,6	2,5000	4,9000
	<i>Azotobacter</i> sp.	1,6	0,0060	1,3000
Mempawah	<i>Bacillus</i> sp.	1,3	1,7000	8,1000
	<i>Nitrosomonas</i> sp.	1,3	0,4700	6,3000
	<i>Spaerotillus natans</i>	1,2	0,7000	8,1000
	<i>Citrobacter</i> sp.	1,9	0,0030	7,5000
	<i>Azotobacter</i> sp.	1,9	0,0001	1,1000
Koroho- Mandor	<i>Bacillus</i> sp.	1,2	2,5000	5,1000
	<i>Nitrosomonas</i> sp.	1,1	1,6000	7,1000
	<i>Azotobacter</i> sp.	1,9	0,0001	4,1000
Sambas	<i>Bacillus</i> sp.	1,2	23,0000	9,1000
	<i>Nitrosomonas</i> sp.	1,3	7,5000	9,1000
	<i>Chromobacterium</i> sp.	1,9	16,0000	9,2000
	<i>Bacterium</i> sp.	1,4	3,1000	9,1000
	<i>Azotobacter</i> sp.	1,8	2,7000	9,3000
Ketapang	<i>Bacillus</i> sp.	2,5	63,3000	9,1000
	<i>Nitrosomonas</i> sp.	2,3	42,0000	9,0000
	<i>Chromobacterium</i> sp.	2,3	31,1000	9,0000
	<i>Bacterium</i> sp.	2,1	29,0000	9,0000
	<i>Citrobacter</i> sp.	1,9	22,2000	9,2000
	<i>Azotobacter</i> sp.	2,0	65,2000	9,1000
	<i>Azospirillum</i> sp.	1,9	64,1200	9,2100
	<i>Rhizobium leguminosorum</i>	1,9	64,0000	9,2000

Azospirillum sp. (NSNFB), dan tiga isolat yang tidak teridentifikasi.

Uji kemampuan pelarutan fosfat terhadap 37 isolat menunjukkan bahwa hanya 34 isolat yang mampu melakukan solubilisasi kalsium fosfat yang ditunjukkan dengan terbentuknya daerah bening di sekitar koloni yang sedang tumbuh (*holozone area*) (Gambar 1). Isolat yang membentuk zona ≥ 1 cm diidentifikasi lebih lanjut dan hasilnya disajikan pada Tabel 1.

Hasil pengukuran diameter daerah bening dengan kisaran rerata >1 cm diperoleh pada 34 isolat yang terdiri atas delapan isolat *Azotobacter* sp., satu isolat *Azospirillum* sp., (NSNFB), satu isolat *R. leguminosorum* (SNFB), 8 isolat *Bacillus* sp., delapan isolat *Nitrosomonas* sp., empat isolat *Citrobacter* sp., satu isolat *S. natans*, dua isolat *Chromobacterium* sp., dan satu isolat *Bacterium* sp. (PSB). Hal tersebut menunjukkan bahwa SNFB, NSNFB, dan PSB yang diuji memiliki



Gambar 1. (a) NSNFB, (b) SNFB, dan (c) PSB yang membentuk daerah bening (*Holozone area*) di sekitar koloni yang sedang tumbuh ((a) NSNFB, (b) SNFB, and (c) PSB formed holozone area at around growing colony)

kemampuan atau potensi dalam melarutkan unsur P terikat, seperti Ca-fosfat, yang berfungsi menyediakan fosfat tersedia untuk kebutuhan tanaman dan juga untuk mikroba tanah (Tabel 1). Daerah bening di sekitar koloni isolat merupakan indikasi adanya aktivitas bakteri dalam melarutkan P terikat. Bakteri-bakteri pelarut fosfat tersebut melarutkan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ yang terdapat dalam media Pikovskaya. Luas daerah bening secara kualitatif menunjukkan tingkat kemampuan bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan P dari fosfat tak larut (Rachmiati 1995). Bakteri-bakteri dengan daerah bening terbesar setelah masing-masing ditumbuhkan pada media cair (Pikovskaya), memperlihatkan pertumbuhan yang baik dengan populasi mencapai 10^9 sel/ml. Jenis bakteri dan jumlah populasi disajikan pada Tabel 1.

Perkembangan Populasi Bakteri pada Pupuk Kompos Plus

Populasi bakteri pada tanah yang diberi kompos plus mengalami peningkatan setelah diinkubasikan selama 5 hari. Penghitungan jumlah populasi SNFB, NSNFB, dan PSB dalam kompos dan kompos plus disajikan pada Tabel 2. Peningkatan jumlah populasi bakteri-bakteri tersebut disebabkan adanya kandungan unsur hara dalam media kompos yang diperlukan bagi keberlangsungan hidup bakteri.

Perkembangan Populasi Bakteri pada Media Tanam Kapri

Pemberian pupuk pada tanah atau media tanam kapri sangat berpengaruh terhadap jumlah

Tabel 2. Jumlah populasi SNFB, NSNFB, dan PSB dalam kompos dan kompos plus (*Population number of SNFB, NSNFB, and PSB in compost and compost plus*)

Bakteri yang dianalisis (Analyzed bacteria)	Jumlah populasi (Populasi number), sel/ml	
	Kompos (Compost)	Kompos plus (Compost plus)
SNFB (<i>R. leguminosorum</i>)	$1,0 \times 10^5$	$1,2 \times 10^9$
NSNFB (<i>Azotobacter</i> sp. dan <i>Azospirillum</i> sp.)	$2,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^9$
PSB (<i>Citrobacter</i> sp., <i>Bacillus</i> sp., <i>Nitrosomonas</i> sp., <i>Sphaerotillus natans</i> , <i>Chromobacter</i> sp., dan <i>Bacterium</i> sp.)	$2,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^9$

Tabel 3. Jumlah populasi SNFB, NSNFB, dan PSB dalam tanah sampel setelah panen (*Population number of SNFB, NSNFB, and PSB in soil samples after harvest*)

Perlakuan (Treatments)	Tipe bakteri dan jumlah populasinya pada sampel tanah setelah panen (Bacterial types and their populations in soil samples after harvest) sel/ml		
	SNFB	NSNFB	PSB
Tanpa pupuk (<i>Without fertilizer</i>)	$5,10 \times 10^6$ a	$5,51 \times 10^6$ a	$6,10 \times 10^6$ a
Pupuk kimia (<i>Inorganic fertilizer</i>) (TSP+KCl+Urea)	$8,23 \times 10^6$ a	$7,62 \times 10^6$ a	$9,73 \times 10^6$ a
Pupuk kotoran ayam+sekam (<i>Chicken dung + rice husk</i>)	$6,11 \times 10^7$ b	$6,92 \times 10^7$ b	$6,93 \times 10^7$ b
Pupuk kompos (<i>Compost</i>)	$7,53 \times 10^7$ b	$7,52 \times 10^8$ b	$8,71 \times 10^8$ b
Pupuk kompos plus (<i>Compost plus</i>)	$9,15 \times 10^8$ c	$9,34 \times 10^8$ c	$9,35 \times 10^8$ c

populasi bakteri SNFB, NSNFB, dan PSB. Hasil analisis tanah setelah panen kapri memperlihatkan kenaikan jumlah populasi bakteri, khususnya tanah yang diberi kompos plus. Perkembangan populasi bakteri pada tanah tanpa pemupukan (kontrol) dan dengan pemupukan yang dianalisis setelah panen (Tabel 3). Jumlah populasi masing-masing bakteri meningkat secara signifikan pada perlakuan pemberian pupuk kompos plus, kompos, dan kotoran ayam + sekam dibandingkan dengan kontrol ataupun pemberian pupuk kimia NPK. Jumlah populasi bakteri SNFB, NSNFB, dan PSB tertinggi diperoleh pada perlakuan kompos plus, masing-masing sebesar $9,15, 9,34, \text{ dan } 9,35 \times 10^8$ sel/ml, sedangkan jumlah populasi bakteri SNFB, NSNFB, dan PSB pada tanah tanpa pemupukan (kontrol) masing-masing sebesar $5,10, 5,51, \text{ dan } 6,10 \times 10^6$ sel/ml. Peningkatan populasi bakteri tersebut pada perlakuan pemberian kotoran ayam+sekam tidak berbeda nyata dengan kompos, walaupun keduanya berbeda nyata terhadap kontrol. Dengan demikian, pemberian kompos plus sangat berpeluang untuk memperbaiki kesuburan tanah, khususnya kandungan unsur P tersedia bagi tanaman.

Widawati dan Suliasih (2006) lebih dahulu melaporkan bahwa kompos plus berperan dalam meningkatkan P tersedia dalam tanah, sehingga mampu mendorong peningkatan pertumbuhan tanaman caisin (*Brassica caventis* Ocd.). Alexander (dalam Widawati dan Suliasih

2005) mengemukakan bahwa PSB berperan efektif dalam proses mineralisasi senyawa P organik melalui aktivitas enzimatis yang melibatkan enzim fosfatase, fitase, dan nuklease, sehingga menghasilkan P terlarut yang tersedia bagi pertumbuhan tanaman.

Analisis Kandungan PMEase Asam dan Basa

Efektivitas PSB dalam melarutkan unsur P yang terikat sangat berkaitan erat dengan cara beradaptasi dalam media tanam atau lingkungannya. Jumlah populasi bakteri yang tetap tinggi terjadi pada media tanam yang diberi kompos plus yang sejalan dengan tingginya aktivitas enzim fosfatase. Hasil analisis kandungan PMEase asam dan basa pada tanah atau media tanam setelah panen masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 4. Peningkatan jumlah populasi bakteri pelarut fosfat pada tanah yang dipupuk dengan kompos dan kompos plus, diikuti oleh peningkatan aktivitas enzim fosfomonoesterase asam dan basa. Fosfomonoesterase asam dan basa tertinggi dihasilkan pada pemberian kompos plus, masing-masing sebesar 9.6600 dan 75.7000 unit/jam, yang berbeda nyata terhadap perlakuan lainnya, sedangkan pada kontrol masing-masing hanya sebesar 5,5100 dan 48,2667 unit/jam. Hal tersebut membuktikan bahwa efektivitas bakteri pelarut fosfat yang terkandung dalam kompos plus cukup baik dibandingkan dengan yang terkandung dalam pupuk lainnya. Pada beberapa penelitian menurut Ekenler dan Tabatabai (2003) menunjukkan bahwa jenis pupuk berpengaruh sangat nyata terhadap aktivitas enzim fosfatase.

Pengaruh Pemupukan terhadap Produksi Kapri

Pemberian pupuk berperan dalam meningkatkan produksi buah kapri. Berdasarkan pengamatan terhadap peubah berat basah polong, diketahui bahwa pemberian pupuk organik (kompos plus, kompos, dan kotoran ayam+sekam) secara nyata dapat meningkatkan berat basah polong kapri dibandingkan dengan pemberian pupuk kimia (TSP, KCl, dan Urea). Berat basah polong kapri tertinggi diperoleh dengan perlakuan kompos plus, sebesar 229,47 g/tanaman, jika dibandingkan dengan pemberian pupuk lainnya. Berat basah polong kapri pada masing-masing perlakuan

Tabel 4. Kandungan fosfomonoesterase asam dan basa dalam tanah (*Content of phosphomonoesterase acid and alkaline on the soil*)

Perlakuan (Treatments)	PMEase asam (Acid PMEase) Unit/jam (Unit/hour)	PMEase basa (Alkaline PMEase) Unit/jam (Unit/hour)
Tanpa pupuk (Without fertilizer)	5,5100 a	48,2667 a
Pupuk kimia (Inorganic fertilizer) (TSP+KCl+Urea)	6,6400 b	51,4000 b
Pupuk kotoran ayam+sekam (Chicken dung + rice husk)	7,3633 c	54,1467 c
Pupuk kompos (Compost)	8,3567 d	70,5700 d
Pupuk kompos plus (Compost plus)	9,6600 e	75,7000 e

Tabel 5. Rerata berat basah polong kapri
(*Averages of fresh weight of peas pods*)

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Rerata berat basah (<i>Averages of fresh weight</i>) g/tanaman (g/plant)
Tanpa pupuk (<i>Without fertilizer</i>)	99,57 a
Pupuk kimia (<i>Inorganic fertilizer</i>) (TSP+KCl+Urea)	123,89 b
Pupuk kotoran ayam + sekam (<i>Chicken dung + rice husk</i>)	136,11 c
Pupuk kompos (<i>Compost</i>)	200,64 d
Pupuk kompos plus (<i>Compost plus</i>)	229,47 e

pemupukan disajikan pada Tabel 5. Pemberian pupuk kimia NPK juga meningkatkan berat basah polong kapri, tetapi peningkatannya lebih rendah dibandingkan dengan pupuk organik, yaitu kompos plus, kompos, maupun kotoran ayam+sekam. Hal tersebut mengindikasikan bahwa bahan organik, khususnya kompos plus yang mengandung bakteri penambat nitrogen dan pelarut fosfat, mampu mengakselerasi penyediaan N dan P dalam tanah, sehingga dapat cepat digunakan untuk pertumbuhan dan produksi tanaman kapri.

Penggunaan pupuk organik dan hayati, khususnya kompos plus, dalam sistem OF dapat mengurangi efek negatif terhadap lingkungan. Pupuk organik dan hayati berperan dalam meningkatkan populasi bakteri potensial sebagai *biofertilizer* dalam tanah dan memperbaiki struktur tanah, sehingga aerasi udara dan air lancar dan menambah daya serap air dalam tanah. Peningkatan tersebut memang berjalan lambat jika dibandingkan dengan pemupukan secara kimiawi, tetapi aman bagi lingkungan sekitarnya (Widawati dan Suliasih 2006). Rao (*dalam* Widawati 2005) mengemukakan bahwa lingkungan yang baik dan cocok untuk jenis PSB tertentu dapat meningkatkan aktivitas dalam mengeluarkan asam-asam organik, enzim, dan hormon-hormon tumbuh untuk melarutkan unsur P tanah. Kondisi tersebut berdampak positif terhadap hasil panen. Selanjutnya dikemukakan oleh Klose *et al.* (1999) bahwa pemberian inokulan PSB dan jamur mikoriza mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, aktivitas fosfatase asam dan basa, serta konsentrasi P dalam tanah.

KESIMPULAN

1. Isolat SNFB, NSNFB, dan PSB diperoleh dari kondisi tanah kering dan marginal, serta tanah subur di daerah Pontianak dan Ketapang, Kalimantan Barat. Bakteri-bakteri tersebut terkandung dalam kompos plus dan dapat beradaptasi pada lingkungan tanah di lokasi penelitian. Populasi SNFB, NSNFB, dan PSB pada tanah atau media pada saat panen kapri, masing-masing mencapai $9,15 \times 10^8$, $9,35 \times 10^8$, dan $9,35 \times 10^8$ sel/ml. Peningkatan populasi bakteri mendorong terjadinya peningkatan aktivitas fosfomonoesterase asam dan basa, yang selanjutnya berperan dalam penyediaan P tersedia di dalam tanah. Keberadaan P tersedia di dalam tanah akhirnya berperan dalam meningkatkan hasil polong kapri.
2. Pemberian kompos plus yang mengandung bakteri-bakteri pelarut fosfat lebih meningkatkan berat basah polong kapri dibandingkan kontrol, pemberian pupuk kimia NPK, kotoran ayam + sekam, dan kompos, masing-masing sebesar 75,32, 45,48, 31,19, dan 15,60%. Dengan demikian, penggunaan kompos plus sangat potensial dalam mengembangkan pertanian organik berkelanjutan untuk menghasilkan produk tanaman yang sehat.

PUSTAKA

1. Aleksieva, P., D. Spasova, and S. Radoevska. 2003. Acid Phosphatase Distribution and Localization in the Fungus *Humicola lutea*. *Z. Naturforsch.* 58c:239-243.
2. Arwan S. dan S. Widawati. 2005. Pengaruh Kompos dan Berbagai Pupuk Hayati terhadap Pertumbuhan dan Hasil Temu Lawak (*Curcuma xanthorrhiza*). *J. Biol. Indonesia* III(9):371-378.
3. Ekenler, M. and M. A. Tabatabai. 2003. Responses of Phosphatases and Arylsulphatase in Soils to Liming and Tillage Systems. *J. Plant Nutrition Soil Sci.* 166:281-290.
4. Glick, B. R. 1995. The Enhancement of Plant Growth by Free Living Bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41:109-117.
5. Hartono, A. 2000. Pengaruh Pupuk Fosfor, Bahan Organik, dan Kapur terhadap Pertumbuhan Jerapan P pada Tanah Masam Latosol Darmaga. *J. Ilmiah Pert. Gakuryoku* VI(1):73-78.
6. Jha, D. K., G. D. Sharma, and R. R. Mishara. 1992. Ecology of Soil Microflora and Mycorrhizal Symbionts. *Biol. Fertil. Soils* 12:272-278.

7. Klose, S., J. M. Moore, and M. A. Tabatabai. 1999. Arylsulphatase Activity of Microbial Biomass in Soils as Affected by Cropping Systems. *Biol. Fertil. Soils*. 29:46-54.
8. Krieg, N.R. and J.G.Holt.1984. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol.1.Baltimore; Williams and Wilkins. 142 p.
9. Nitta, M., M. Goro, N. Shibuya, and Y. Okawa. 2002. A Novel Protein with Alkaline Phosphatase and Protease Inhibitor Activities in *Streptomyces Hiroshimensis*. *Biol. Pharmacy Bull.* 25(7):833-836.
10. Rachmiati, Y. 1995. Bakteri Pelarut Fosfat dari Rizosfer Tanaman dan Kemampuannya dalam Melarutkan Fosfat. *Prosiding Kongres Nasional VI HITI*, Jakarta, 12-15 Desember 1995. 9 Hlm.
11. Simanungkalit, R.D.M. 2001. Aplikasi Pupuk Hayati dan Pupuk Kimia: Suatu Pendekatan Terpadu. *Bul. Agrobio* 4(2):56-61.
12. Widawati, S., Suliasih, dan Syaifudin. 2002. Pengaruh Introduksi Kompos Plus terhadap Produksi Bobot Kering Daun Kumis Kucing (*Orthosiphon aristatus* Bl.Miq) pada Tiga Macam Media Tanah. *J. Biol. Indonesia* III (3):245-253.
13. _____, dan H. J. D Latupapua. 2005. Studi Awal Jenis Bakteri Pelarut Fosfat dan Penambat Nitrogen yang Diisolasi dari Tanah Kebun Biologi Wamena, Jayawijaya, Papua. *J. Ilmiah Pert. Gakuryoku XI* (2): 147-150.
14. Widawati, S. dan Suliasih. 2005. The Application of Soil Microbe from Wamena Botanical Garden as Biofertilizer (Compost Plus) on Purple Eggplant (*Solanum melongena* L.). *J. Ilmiah Pert. Gakuryoku XI*(3):20-24.
15. _____. 2005. Daya Pacu Aktivator Fungi Asal Kebun Biologi Wamena terhadap Kematangan dan Hara Kompos, serta Kandungan Mikroba Pelarut Fosfat dan Penambat Nitrogen. *J. Biodiversity* 6(4): 238-241.
16. _____. 2006. Augmentasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) Potensial sebagai Pemicu Pertumbuhan Caisin (*Brassica caventis* Ocd.) di Tanah Marginal. *J. Biodiversity* 7(1):10-14.
17. Tabatabai, M.A. 1994. Soil Enzymes. In. Weaver, R. W., S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicek, S. Smith, M.A. Tabatabai, A. and Wollum. (Eds.): Method of Soil Analysis, Part 2: Microbial and Biochemical Properties. *Soil Sci. Soc. Am. Book Series No. 5*. Madison, p.775-833.