

Peningkatan Ketersediaan Fosfat pada Tanah Masam Melalui Inokulasi BPF dan Penambahan Bahan Organik

Increasing The Availability of Phosphate in Acid Soils Through Inoculation of Phosphate Solubilizing Bacteria and Adding Organic Matter to The Soil

S. Minarsih^{1*)}, Samijan Samijan¹, F.D. Arianti¹

¹BPTP Jawa Tengah, Jl Soekarno-Hatta No. 26 KM 10 Bergas Kabupaten Semarang 50552

^{*)}Penulis untuk korespondensi: sriminarsih95@gmail.com

Sitasi: Minarsih S, Samijan S, Arianti FD. 2020. Increasing the availability of phosphate in acid soils through inoculation of phosphate solubilizing bacteria and adding organic matter to the soil. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, Palembang 20 Oktober 2020.* pp. 958-965. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

Phosphate is one of the macro elements whose availability is limited in acid soils because it is bound by soil minerals. Phosphate solubilizing bacteria are able to dissolve phosphate bound by soil minerals so that its availability increases, the addition of organic matter is also able to increase the availability of phosphate through organic acids resulting from its decomposition. This study aims to determine the types of phosphate solubilizing bacteria and kinds of organic matter that can increase the availability of phosphate in the soil. The experiment was carried out in the greenhouse of Sebelas Maret University Surakarta. Using a completely randomized design with 2 factors. Factor I was the inoculation of Phosphate Solubilizing Bacteria consisting of 3 levels, namely without inoculation of phosphate solubilizing bacteria (I0), *Bacillus subtilis* inoculation (I1), and *Pseudomonas fluorescent* inoculation (I2). The second factor are the type of organic material consisting of 4 levels, namely: no organic matter (B0), rice straw (B1), *Tithonia diversifolia* (B2), and *Leucaena leucochepala* (B3). The results showed that the use of *Tithonia diversifolia* organic matter independently proved to be the most effective in increasing available P in the soil by 261%. *Bacillus subtilis* combined with organic rice straw was able to increase the availability of P by 169%, then followed by the combination of *Bacillus subtilis* with organic material *Tithonia diversifolia* was able to increase P by 155% and the combination of *Bacillus subtilis* with *Leucaena leucochepala* increased P by 23%..

Keywords: bacillus subtilis, leucaena leucochepala, pseudomonas fluorescent, tithonia diversifolia

ABSTRAK

Fosfat merupakan salah satu unsur makro yang ketersediaannya terbatas pada tanah-tanah masam karena terikat oleh mineral tanah. BPF mampu melarutkan fosfat yang terikat oleh mineral tanah sehingga ketersediaannya bertambah, penambahan bahan organik juga mampu meningkatkan ketersediaan fosfat melalui asam-asam organik yang dihasilkan dari dekomposisinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis BPF dan macam bahan organik yang dapat meningkatkan ketersediaan fosfat dalam tanah. Percobaan dilakukan di rumah kaca Universitas Sebelas Maret Surakarta. Menggunakan rancangan acak lengkap dengan 2 faktor. Faktor I adalah inokulasi BPF terdiri atas 3 taraf yaitu tanpa

inokulasi BPF (I0), Inokulasi *Bacillus subtilis* (I1), dan inokulasi *Pseudomonas fluorescent* (I2). Faktor II adalah macam bahan organik terdiri dari 4 taraf, yaitu : tanpa bahan organik (B0), Jerami padi (B1), *Tithonia diversifolia* (B2), dan *Leucaena leucochepala* (B3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik *Tithonia diversifolia* secara mandiri terbukti paling efektif meningkatkan P tersedia dalam tanah sebesar 261%. *Bacillus subtilis* yang dikombinasikan dengan bahan organik jerami padi mampu meningkatkan ketersediaan P sebesar 169%, kemudian diikuti kombinasi *Bacillus subtilis* dengan bahan organik *Tithonia diversifolia* mampu meningkatkan P sebesar 155% dan kombinasi *Bacillus subtilis* dengan *Leucaena leucochepala* meningkatkan P sebesar 23%.

Kata kunci: *Bacillus subtilis*, *Leucaena leucochepala*, *Pseudomonas fluorescent*, *Tithonia diversifolia*

PENDAHULUAN

Di Indonesia terdapat 102,8 juta ha lahan masam tersebar dominan di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Sekitar 3,8 juta ha terdapat juga di pulau Jawa (Mulyani, et al., 2009). Lahan masam merupakan lahan yang mempunyai produktivitas rendah karena lahan mempunyai pH tanah <5, mempunyai kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB) dan C-organik rendah, kandungan Alumunium dan besi tinggi. Hal ini berakibat pada fiksasi terhadap fosfor tinggi walaupun kandungan P totalnya tinggi. Sehingga ketersediaan P sangat kurang.

Fosfor merupakan salah satu unsur yang berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fosfor berfungsi dalam pembentukan albumin, pembelahan sel, pembentukan bunga, buah, dan biji. Fosfor juga berfungsi untuk memperkuat batang, mempercepat pematangan buah, untuk perkembangan akar dan juga menyimpan serta memindahkan energi serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit (Cybext, 2019).

Fosfor sangat stabil di dalam tanah, sehingga kehilangan akibat pencucian relatif tidak pernah terjadi (Budi dan Sari, 2015). Fosfor sangat reaktif, mudah berikatan dengan Al dan Fe dan membentuk senyawa kompleks yang sukar larut sehingga jumlah fosfor tersedia menjadi sangat terbatas. Hal ini merupakan permasalahan utama fosfor di dalam tanah (Erisa, et al., 2018). Pada tanah-tanah masam seperti ultisol ketersediaan fosfor sangat rendah karena difiksasi oleh Al dan Fe, serta diketahui kandungan Nitrogen (N) serta bahan organik juga rendah (Adrinal et al., 2011).

Penambahan bahan organik ke dalam tanah merupakan salah satu teknologi untuk meningkatkan kesuburan tanah. Suntoro (2003) menyampaikan bahwa bahan organik berperan dalam penyediaan hara tanaman dan juga perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang berperan terhadap pH tanah, kapasitas pertukaran kation dan anion tanah, daya sangga tanah dan netralisasi unsur meracun seperti Al, Fe, Mn dan logam berat lainnya. Menurut Stevenson (1982), peningkatan fosfat tersedia dalam tanah karena penambahan bahan organik terjadi melalui : 1) mineralisasi bahan organik yang melepaskan P mineral (PO_4^{3-}); 2) senyawa pengkhelat hasil dekomposisi bahan organik mampu melepaskan P yang terikat Al dan Fe; 3) Asam humat dan asam fulfat mengurangi jerapan fosfat; 4) membentuk kompleks fosfo-hmat dan fosfo-fulval yang dapat ditukar dan lebih tersedia bagi tanaman sebab fosfat yang dijerap pada bahan organik berikatan secara lemah; 5) Penambahan bahan organik mampu mengaktifkan proses penguraian bahan organik asli tanah.

Mikroba tanah mempunyai peran penting dalam ekosistem sebagai perombak bahan organik, mensintesis dan melepaskan kembali dalam bentuk bahan organik yang tersedia

bagi tanaman. Bakteri pelarut fosfat (BPF) adalah salah satu jenis mikroba yang berperan dalam melarutkan fosfat organik dan anorganik menjadi fosfat terlarut sehingga dapat digunakan atau diserap oleh akar tanaman dan mikroba tanah lainnya (Rao, 1982; Setiawati dan Mihardja, 2008) dan menghasilkan enzim fosfatase serta enzim fitase yang dapat melarutkan fosfat (Santosa dan Rohani, 2007).

Terdapat banyak macam BPF yang mempunyai kemampuan tinggi sebagai "biofertilizer" dengan cara melarutkan unsur P yang terikat unsur lain (Fe, Al, Ca, dan Mg) sehingga unsur P menjadi tersedia bagi tanaman seperti *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Bacillus megaterium*, dan *Chromobacterium* sp. (Widawati dan Suliasih, 2005). Demikian juga sumber bahan organik sangat banyak jenisnya, dapat berupa pupuk kandang, sisa tanaman, pupuk hijau, sampah kota, dan juga limbah industri (Suntoro, 2003).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis BPF dan macam bahan organik yang dapat meningkatkan ketersediaan fosfat dalam tanah.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi dan Biokimia, Laboratorium Ilmu Tanah, dan Rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas sebelas Maret Surakarta. Bahan yang digunakan berupa: Tanah Latosol coklat kemerahan diambil dari Kecamatan Jumapolo Kabupaten Karanganyar Propinsi Jawa Tengah, Biakan murni BPF: *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescent*, bahan organik: Jerami Padi, *Tithonia diversifolia*, dan *Leucaena leucocephala*. Alat yang digunakan: Polybag, oven, timbangan, saringan, Pisau, Mistar. Menggunakan rancangan acak lengkap dengan 2 faktor. Faktor I adalah inokulasi BPF terdiri atas 3 taraf yaitu tanpa inokulasi BPF (I0), Inokulasi *Bacillus subtilis* (I1), dan inokulasi *Pseudomonas fluorescent* (I2). Faktor II adalah macam bahan organik terdiri dari 4 taraf, yaitu: tanpa bahan organik (B0), Jerami padi (B1), *Tithonia diversifolia* (B2), dan *Leucaena leucocephala* (B3). Sehingga diperoleh 12 kombinasi perlakuan, masing-masing perlakuan diulang 3 kali.

Variabel pengamatan terdiri dari : analisis tanah awal meliputi pH H₂O, pH KCl, P ekstrak HCl 25%, P tersedia dengan metode Bray 1, Kadar Bahan organik dengan metode Walkey and Black, dan Al dan Fe-aktif terekstrak. Analisis bahan organik terdiri dari C organik dan P total. Analisis tanah setelah inkubasi terdiri dari pH H₂O, pH KCl, P tersedia dengan metode Bray 1, Kadar Bahan organik dengan metode Walkey and Black, dan Al dan Fe-aktif terekstrak. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap semua variabel pengamatan dilakukan analisis ragam dengan uji F (anova) dengan taraf kepercayaan 5% dan 1% dan jika perlakuan memberikan pengaruh nyata maka dilanjutkan dengan uji Duncan taraf 5%.

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan melakukan analisis tanah awal sesuai metode yang telah disebutkan. Kemudian tanah disiapkan dengan cara dikeringanginkan dan disaring. Kemudian ditimbang seberat 11 kg dan dimasukkan ke dalam polybag. Inokulum BPF diperbanyak dengan mengambil dari agar miring sebanyak satu ose, isolat ditanam ke dalam erlenmeyer 250 ml yang diisi 50 ml medium cair *Pikouskaya*. Kultur tersebut diinkubasi secara aerob pada suatu pengocok berputar dengan kecepatan 150 putaran per menit pada temperatur 28⁰C selama beberapa hari (2-10 hari). Untuk menentukan waktu pemanenan dilakukan percobaan pendahuluan pertumbuhan tiap isolat dengan mencacah jumlah sel tiap hari selama 10 hari. Fase logaritmiknya diamati melalui kurva pertumbuhan isolat hasil percobaan ini. Waktu pemanenan ditentukan pada hari saat bakteri tepat pada fase logaritmiknya. Untuk mendapatkan tingkat kerapatan populasi yang tepat dilakukan percobaan pendahuluan pencacahan bakteri yang hidup dengan *Haemocytometer*. Hasil

pencacahan ini dapat ditentukan dengan pengenceran supaya dicapai jumlah sel yang diinginkan.

Bahan organik yang akan digunakan dipilih bagian yang tidak terlalu tua dan tidak terlalu muda, kemudian bahan organik dikeringkan di bawah sinar matahari untuk membantu mempercepat dekomposisi, selama kurang lebih dua hari. Kemudian disaring dengan ayakan 1 mm agar ukurannya seragam.

Inkubasi: bahan organik yang telah dikeringkan dicampurkan secara merata ke dalam tanah yang telah dimasukkan ke dalam polybag. Kemudian BPF juga dimasukkan ke dalam polybag sesuai dengan perlakuan dan disiram sampai kondisi kapasitas lapang. Kemudian diinkubasi selama 30 hari.

Setelah inkubasi selesai dilakukan pengambilan sampel tanah masing-masing polybag dan dilakukan analisis tanah setelah inkubasi.

HASIL

Hasil penelitian meliputi analisis tanah awal, analisis terhadap bahan organik yang digunakan dan analisis tanah setelah inkubasi. Hasil analisis terhadap tanah awal disajikan pada Tabel 1. Hasil analisis terhadap bahan organik yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2. Inokulasi BPF dan macam bahan organik berpengaruh sangat nyata terhadap semua parameter yang diamati. Pengaruh inokulasi BPF dan macam bahan organik terhadap pH H₂O tanah, kandungan C organik, Al dan Fe-aktif, dan kandungan P tersedia tanah disajikan pada Tabel 3.

Peningkatan P tersedia dalam tanah setelah perlakuan inokulasi BPF dan macam bahan organik dibandingkan P tersedia tanah awal disajikan pada tabel 4.

Tabel 1. Hasil analisis awal tanah latosol coklat kemerahan

| Parameter | Satuan | Nilai | Harkat*) |
|---------------------|----------|-------|---------------|
| pH H ₂ O | | 4,64 | Masam |
| pH KCl | | 4,54 | Masam |
| C-Organik | % | 2,55 | Sedang |
| Fe-aktif | % | 1,96 | Tinggi |
| Al-aktif | % | 1,24 | Tinggi |
| P Ekstrak HCl | mg/100g | 28,60 | Sedang |
| P tersedia | ppm | 4,78 | Sangat rendah |
| KPK | me/100 g | 2,39 | Tinggi |
| Bahan Organik | % | 4,40 | Sedang |

*) Pengharkatan berdasarkan Pusat Penelitian Tanah (1983)

Tabel 2. Hasil analisis bahan organik

| Macam Bahan Organik | C (%) | N (%) | P (%) | C/N rasio | C/P rasio |
|------------------------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| Jerami Padi | 73,40 | 0,215 | 0,951 | 341,4 | 77,2 |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | 47,82 | 0,448 | 3,047 | 106,7 | 15,7 |
| <i>Leucaena leucochepala</i> | 37,20 | 0,305 | 2,837 | 121,9 | 13,1 |

Tabel 3. Pengaruh interaksi inokulasi BPF dan macam bahan organik terhadap pH H₂O, kandungan C-organik, Al-aktif, Fe-aktif, dan P tersedia tanah

| Perlakuan | pH H ₂ O | | |
|------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|
| | Tanpa BPF | Inokulasi <i>B. subtilis</i> | Inokulasi <i>P. fluorescent</i> |
| Tanpa bahan organik | 5.32 a | 5.25 b | 5.33 a |
| Jerami padi | 5.37 a | 5.42 a | 5.33 a |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | 5.33 a | 5.32 b | 5.25 a |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | 5.39 a | 5.52 a | 5.34 a |

| Perlakuan | Kandungan C-organik (%) | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| | Tanpa BPF | Inokulasi <i>B. subtilis</i> | Inokulasi <i>P. fluorescent</i> |
| Tanpa bahan organik | 0.60 d | 1.39 c | 2.13 c |
| Jerami padi | 1.51 b | 1.98 b | 2.12 c |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | 1.36 c | 2.68 a | 3.94 b |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | 2.73 a | 1.97 b | 9.08 a |

| Perlakuan | Al-aktif (ppm) | | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|---------------------------------|
| | Tanpa BPF | Inokulasi <i>B. subtilis</i> | Inokulasi <i>P. fluorescent</i> |
| Tanpa bahan organik | 1.22 a | 0.97 b | 0.94 a |
| Jerami padi | 1.14 c | 1.01 a | 0.87 a |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | 1.04 d | 0.54 d | 0.52 b |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | 1.20 b | 0.83 c | 1.01 a |

| Perlakuan | Fe-aktif (ppm) | | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|---------------------------------|
| | Tanpa BPF | Inokulasi <i>B. subtilis</i> | Inokulasi <i>P. fluorescent</i> |
| Tanpa bahan organik | 1.87 a | 1.43 a | 1.35 b |
| Jerami padi | 1.34 c | 0.73 c | 1.62 a |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | 0.55 d | 0.47 d | 0.80 d |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | 1.63 b | 1.28 b | 0.97 c |

| Perlakuan | P tersedia (me/100g) | | |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|
| | Tanpa BPF | Inokulasi <i>B. subtilis</i> | Inokulasi <i>P. fluorescent</i> |
| Tanpa bahan organik | 2.45 d | 7.55 c | 1.35 b |
| Jerami padi | 6.92 b | 12.85 a | 1.62 a |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | 17.26 a | 12.21 b | 0.80 d |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | 5.60 c | 5.88 d | 0.97 c |

Ket: Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan berpengaruh tidak nyata berdasarkan uji duncan 5%

Tabel 4. Peningkatan P tersedia dalam tanah setelah inkubasi

| Perlakuan | Peningkatan P Tersedia (%) | | |
|------------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|
| | Tanpa BPF | <i>B. subtilis</i> | <i>P. fluorescent</i> |
| Tanpa bahan organik | -49% | 58% | -72% |
| Jerami padi | 45% | 169% | -66% |
| <i>Tithonia diversifolia</i> | 261% | 155% | -83% |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | 17% | 23% | -80% |

PEMBAHASAN

Tanah latosol merah kecoklatan termasuk tanah masam. Jenis tanah ini merupakan tanah yang telah mengalami pelapukan yang intensif dan perkembangan tanah lebih lanjut mengakibatkan pelindian unsur hara, bahan organik, dan silika dengan meninggalkan Fe, Al oksida/hidrousoksida. Aluminium yang bereaksi dengan H₂O akan menyumbangkan H⁺ ke dalam larutan tanah sehingga tanah bereaksi masam. Kandungan P tersedia dalam tanah termasuk sangat rendah walaupun P totalnya sangat tinggi. Hal ini mungkin karena rendahnya bahan organik sehingga tidak mampu membentuk khelat seluruh Fe dan Al-aktif

yang ada, akibatnya Fe dan Al yang bebas menyemat fosfor tanah dan membuat ketersediaan P rendah

Bahan organik yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bahan organik yang berasal dari seresah tanaman. Jerami padi memiliki kandungan C yang paling tinggi, sedangkan *Tithonia diversifolia* mempunyai kandungan N dan P yang paling tinggi dibandingkan jenis bahan organik lainnya.

Macam bahan organik berpengaruh sangat nyata terhadap pH H₂O, pH KCl, Al-Aktif, Fe-Aktif dan P tersedia. Perlakuan bahan organik secara mandiri tanpa BPF mampu meningkatkan P tersedia antara 17-261%. Penggunaan bahan organik *Tithonia diversifolia* secara mandiri terbukti paling efektif meningkatkan P tersedia dalam tanah (261%), juga menurunkan Al-aktif dan Fe-aktif. Hal ini mirip dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Phan (2000) bahwa *Tithonia diversifolia* berkontribusi pada peningkatan pH tanah dan penurunan aluminium yang dapat diekstraksi yang dikaitkan dengan serapan P yang selanjutnya hal ini mendukung pendapat bahwa pH yang meningkat dan penurunan Al-aktif akan meningkatkan pasokan P dalam tanah sehingga menjadi tersedia bagi tanaman. Pratikno, *et al.* (2002) juga menyebutkan bahwa penambahan pangkasan *Tithonia diversifolia* meningkatkan ketersediaan P dalam tanah sebesar 77,13%, *Tithonia diversifolia* juga mampu menyediakan P dalam waktu yang cepat yaitu mencapai 92% di fase awal pertumbuhan tanaman (minggu ke-2 inkubasi).

Perlakuan inokulasi BPF secara tunggal memberikan pengaruh sangat nyata terhadap semua parameter yang diukur. *Bacillus subtilis* secara nyata meningkatkan P tersedia sebesar 58%, namun tidak demikian pada *Pseudomonas fluorescent*. Bakteri *Pseudomonas fluorescent* tidak menunjukkan indikasi meningkatkan P tersedia baik secara mandiri maupun dikombinasikan dengan bahan organik. Bahkan inokulasi *Pseudomonas fluorescent* pada tanah agak masam dengan status hara P tersedia rendah cenderung menurunkan kadar P (Mujib, 2006; Nursanti, 2008). Penelitian untuk membandingkan aktivitas BPF dalam melarutkan unsur P menunjukkan bahwa BPF dari genus *Bacillus* mempunyai kemampuan melarutkan P yang lebih tinggi dibandingkan BPF dari genus *Pseudomonas* (Setiawati dan Pranoto, 2015). Hasil penelitian berbeda ditunjukkan oleh Istiqomah *et al.* (2017) bahwa *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescent* yang ditumbuhkan pada media *pikouskaya* sama-sama memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri, namun kemampuan melarutkan fosfat dari *P. fluorescent* lebih tinggi dibandingkan *B. subtilis*. Dimana zona bening di sekitar *P. fluorescent* lebih panjang yaitu 18 mm dibandingkan zona bening di sekitar *B. subtilis*. Kondisi lingkungan seperti pH dan suhu sangat mempengaruhi aktivitas bakteri pelarut fosfat (Respati *et al.*, 2017)

Penggunaan BPF untuk meningkatkan kadar P tersedia dalam tanah juga efektif dengan mengkombinasikan antara *Bacillus subtilis* dengan bahan organik jerami. *Bacillus subtilis* yang dikombinasikan dengan bahan organik jerami mampu meningkatkan ketersediaan P sebesar 169%, kemudian diikuti kombinasi dengan bahan organik *Tithonia diversifolia* yang mampu meningkat sebesar 155% dan *Leucaena leucocephala* meningkat sebesar 23%. Jerami padi mengandung karbon tertinggi (73,4%) dibanding jenis bahan organik lainnya. Chen *et al.* (2006) menyatakan bahwa aktivitas mikroorganisme pelarut fosfat secara signifikan dipengaruhi oleh keberadaan bahan organik yang dapat meningkatkan ketersediaan P dalam tanah. Noviani, *et al.* (2018) berhasil membuktikan dugaannya bahwa keberadaan komunitas BPF dan kandungan C-organik yang cukup tinggi berkontribusi terhadap pelepasan P tanah dari khelasi kompleks jerapan sehingga menambah kandungan P tersedia dan meningkatkan kapasitas serapan P oleh tanaman.

KESIMPULAN

1. Penggunaan bahan organik *Tithonia diversifolia* secara mandiri terbukti paling efektif meningkatkan P tersedia dalam tanah sebesar 261%.
2. *Bacillus subtilis* secara nyata meningkatkan P tersedia sebesar 58%, namun tidak demikian pada *Pseudomonas fluorescens*. Bakteri *Pseudomonas fluorescens* tidak menunjukkan indikasi meningkatkan P tersedia baik secara mandiri maupun dikombinasikan dengan bahan organik
3. *Bacillus subtilis* yang dikombinasikan dengan bahan organik jerami padi mampu meningkatkan ketersediaan P sebesar 169%, kemudian diikuti kombinasi *Bacillus subtilis* dengan bahan organik *Tithonia diversifolia* mampu meningkatkan P sebesar 155% dan kombinasi *Bacillus subtilis* dengan *Leucaena leucocephala* meningkatkan P sebesar 23%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada yang terhormat Bapak Prof. Dr. Ir. Purwanto M.S. dan Bp. Ir. Suharto Pr., M.P atas bimbingan dan arahnya dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrinal, Gusmini. 2011. Pengaruh pupuk Fosfor, Molibdenum dan pupuk kandang terhadap serapan hara nitrogen dan Fosfor serta pertumbuhan tanaman Kacang Tanah pada Ultisol. *Jerami* 4(1) 8-16.
- Budi S, Sari S. 2015. *Ilmu dan Implementasi Kesuburan Tanah*. Malang: UMM Press.
- Cybext, 2019. Manfaat unsur hara Fosfor di dalam Tanah. <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/80705/MANFAAT-UNSUR-HARA-FOSFOR-DIDALAM-TANAH/>. [diakses 25 September 2020].
- Chen, Y.P., P.D. Rekha, A.B. Arunshen, W.A. Lai, C.C. Young. 2006. Phosphate solubilizing Bacteria from Subtropical Soil and Their Tricalcium Phosphate Solubilizing Abilities. *Appl. Soil Ecol*, 34:33-41.
- Erisa D, Munawar, Zuraida. 2018. Kajian fraksionasi Fosfor (P) pada beberapa pola penggunaan lahan kering Ultisol di Desa Jalin Jantho Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian* 3 (2): 391-399 .
- Hakim N, Agustian. 2012. *Tithonia untuk pertanian berkelanjutan*. Andalas University Press. Sumatera Barat.
- Noviani PI, S Slamet, A Citraesmini. 2018. Kontribusi kompos jerami-biochar dalam peningkatan P-tersedia, jumlah populasi BPF dan hasil padi sawah. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 14 (1) : 47-57
- Mulyani A, A Rachman, A Dariah. 2009. Penyebaran lahan masam, potensi dan ketersediaannya untuk pengembangan pertanian. *Dalam Sastramihardja H., F. Manalu, dan S. E Aprillani. Fosfat Alam: Pemanfaatan fosfat alam yang digunakan langsung sebagai pupuk sumber P*. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Mujib M, Setyati D, Arimurti S. 2006. Efektivitas BPF dan Pupuk P terhadap Pertumbuhan Jagung pada Tanah Masam. Universitas Jember.
- Nursanti I. 2008. Pengaruh Bakteri Pelarut Fosfat terhadap Ketersediaan Fosfat dan Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* 8(2): 44-49

- Phan TC. 2000. Improving phosphorus availability in selected soils from the uplands of south Vietnam by residue management. A case study: *Tithonia diversifolia*. PhD. [thesis] No 439. Catholic University Leuven, Belgium.
- Pratikno H, E Ariesoesilaningsih, E Handayanto. 2001. Pemanfaatan biomassa tumbuhan liar di lahan berkapur DAS Brantas untuk meningkatkan ketersediaan P tanah. *Prosiding Seminar Regional Himpunan Ilmu Tanah Indonesia*. Mataram 26-28 Mei 2002.
- Rao NSS. 1982. *Advances in Agriculture Microbiology*. Bombay: Oxford and IBH Publishing Co.
- Respati NY, E Yulianti, A Rakhmawati. 2017. Kemampuan pelarutan Fosfat oleh bakteri termofilik pada variasi suhu dan pH. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi. Jurusan Pendidikan Biologi*. Fakultas MIPA UNY. Yogyakarta Hal B-1 – B-9.
- Santosa E, CBG Rohani. 2012. Mikroorganisme Pelarut Fosfat. *Dalam Saraswati, R edited by Husein, E., dan Simanungkalit, R.D.M. Metode Analisis Biologi Tanah*. Balai Besar LITBANG. Bogor. Hal 39-145.
- Setiawati TC, PA Mihadja. 2008. Identifikasi dan Kuantifikasi Metabolit BPF dan Pengaruhnya terhadap Aktivitas *Rhizoctonia solani* pada tanaman Kedelai. *Jurnal Tanah Tropika*, 13 (III): 233-240.
- Setiawati MR, E Pranoto. 2015. Perbandingan beberapa Bakteri Pelarut Fosfat Eksogen pada Tanah Andisol sebagai Areal Pertanaman Teh Dominan di Indonesia. *Jurnal Penelitian Teh dan Kina*, 18(2): 159-164.
- Stevenson FT. 1982. *Humus Chemistry*. John Wiley and Sons, Newyork.
- Suntoro. 2003. Peranan Bahan Organik Terhadap Kesuburan Tanah dan Upaya Pengelolaannya. Pidato Pengukuhan Guru Besar Ilmu Kesuburan Tanah. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Widawati S, dan Suliasih. 2005. Populasi BPF di Cikaniki, Gunung Botol, dan Ciptarasa, serta Kemampuannya Melarutkan P Terikat di Media Pikovskaya Padat. *BIODIVERSITAS* 7(2):109-113.