

Pemanfaatan *Serratia marcescens* untuk Meningkatkan Ketersediaan Fosfat dan Produksi Tanaman Mentimun Pada Tanah Alfisol

The Utilization of Serratia marcescens to Increase Phosphate-Availability and Production of Cucumber in Alfisols

Muhammad Majid Abdillah¹ & Tri Candra Setiawati^{2*})

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

²Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

*E-mail: candra.setiawati.faperta@unej.ac.id

ABSTRACT

Serratia marcescens is a bacterium that can dissolve phosphate (P) in soil, increasing phosphate availability and allowing plants to use it to support plant growth. P-available in the soil is generally low, including in Alfisols, due to the formation of bonds with Al, Fe, Ca, Mg, and other cations, which is influenced by soil pH or clay mineral adsorption. Cucumber plants require adequate nutrients, including P nutrients, for optimal growth and production. The study was carried out in a greenhouse using a completely randomized design (CRD) with four treatments and five replications. The treatments were *S. marcescens* bacterial solution concentrations of P0 (0 ml); P1 (20 ml); and P2 (20 ml); P3 (60 ml) bacterial colony density: 33×10^9 cfu/ml. According to the findings of the study, *S. marcescens* inoculation had a significant effect on increasing soil pH by 6,16, P-total concentration of 41,62 mg/100g, P-available concentration of 28,39 ppm, P-tissue concentration shoot and root were 0,30% and 0,78%, respectively, and P-root uptake of 2,27 g/pot. Similarly, *S. marcescens* inoculation significantly affected the plant height of 138,72 cm, root volume of 43 ml, and root length of 59,92 cm compared to the control treatment.

Keywords: Alfisols, Cucumber Plant, P-available, *Serratia marcescens*.

PENDAHULUAN

Tanah Alfisol merupakan tanah yang terbentuk akibat adanya perpindahan dan akumulasi liat di horizon B membentuk horizon argilik pada kedalaman 23-74 cm (Wijanarko *et al.*, 2007). Tanah-tanah Alfisol umumnya tidak dikelola secara intensif dan termasuk lahan kering (Nursyamsi & Setyorini, 2009). Hal ini disebabkan karena kondisi pH tanah Alfisol yang rendah yakni sebesar 5,8 (Ligowe *et al.*, 2020). Kondisi pH yang masam menyebabkan unsur hara termasuk fosfat terfiksasi dalam bentuk $AlPO_4$ dan $FePO_4$ sehingga tidak dapat diserap oleh akar (Kannan *et al.*, 2021). Konsentrasi P-tersedia pada tanah Alfisol di Jawa Timur dan Jawa Tengah tergolong sangat rendah hingga sedang (<10 ppm) (Wijanarko *et al.*, 2007).

Upaya yang telah dilakukan untuk perbaikan kesuburan tanah Alfisol dalam meningkatkan produksi tanaman diantaranya dengan penambahan bahan organik dan mikroba tanah. Pemberian *Bacillus subtilis* mampu meningkatkan indeks panen kedelai melalui peningkatan Serapan P tanaman (Setyawan, 2017). Fosfor banyak ditemukan pada biji dan buah, yang mana ketersediaannya sangat penting dalam fase generatif tanaman.

Penambahan zeolit juga mampu meningkatkan P-tersedia, pH tanah, kandungan bahan organik dan kejenuhan basa pada tanah Alfisol, serta mampu meningkatkan hasil total polong serta berat 1000 biji pada tanaman kedelai saat dikombinasikan dengan bahan organik (Alvernia *et al.*, 2017). Upaya perbaikan kesuburan tanah Alfisol masih perlu ditingkatkan guna menunjang pertumbuhan tanaman. Alfisol memiliki keterbatasan dalam penyediaan fosfat bagi tanaman, sehingga peranan mikroba pelarut fosfat sangat penting guna meningkatkan P-tersedia dalam tanah. Satu di antara mikroba pelarut fosfat adalah *Serratia marcescens*.

S. marcescens termasuk ke dalam bakteri PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) yang memiliki fungsi sebagai agen pengendali hayati sekaligus berfungsi sebagai biofertilizer (Chakraborty *et al.*, 2010). Penggunaan *S. marcescens* mampu meningkatkan P-tersedia yang diuji secara *in vitro* menghasilkan indeks pelarutan sebesar 2,8-3,2 (Mohamed *et al.*, 2018). *S. marcescens* dinilai mampu mengatasi permasalahan rendahnya serapan fosfat bagi tanaman pada tanah Alfisol satu di antaranya untuk budidaya mentimun.

Fosfat dibutuhkan tanaman untuk proses pertumbuhan dan perkembangan. Pemberian pupuk P 120 kg/ha pada mentimun memberikan hasil terbaik pada tinggi tanaman, kecepatan muncul bunga, kandungan klorofil, jumlah buah, dan hasil tanaman mentimun yang dikombinasikan dengan N dan K (Mohammed *et al.*, 2021). Defisiensi P dapat menurunkan produksi massa kering pucuk dan akar mentimun masing-masing sebesar 47% dan 18%, dan menurunkan efisiensi serapan P dengan perbandingan jumlah P yang terakumulasi pada pucuk antara tanaman yang dipupuk P dan tidak dipupuk P sebesar 157/20 (Campos *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa peran fosfat sangat penting bagi tanaman mentimun. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh aplikasi *S. marcescens* dalam meningkatkan ketersediaan fosfat serta menunjang produksi tanaman mentimun.

METODE

Penelitian dilaksanakan mulai bulan November 2020 sampai Juli 2021 di Laboratorium Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jember untuk perbanyakan bakteri, Laboratorium Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember untuk analisis tanah dan tanaman serta rumah kaca Patrang-Jember untuk penanaman mentimun.

Persiapan bakteri

Isolat *S. marcescens* diperoleh dari Laboratorium Pengamatan Hama dan Penyakit Tanaman, Kabupaten Jember. Perbanyakan Bakteri dilakukan di Laboratorium Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Isolat bakteri *Serratia marcescens* diremajakan pada media *Mac Conkey Agar* (MCA) dan diinkubasikan selama 48 jam. Kultur bakteri yang telah tumbuh kemudian dilakukan pengamatan karakteristik morfologi meliputi pengamatan bentuk koloni, elevasi, dan bentuk tepi koloni. Setelah itu, dilakukan perbanyakan pada media *Nutrient Broth* (NB) dan diinkubasikan selama 48 jam sebagai kultur stok.

Uji kerapatan sel koloni bakteri

Kultur bakteri diambil sebanyak 1 ml dan diencerkan berseri hingga tingkat pengenceran 10^{-8} . Suspensi

hasil pengenceran diambil sebanyak 0,1 ml dan diratakan menggunakan *L-glass* pada media *Nutrient Agar* (NA) dan diinkubasikan selama 48 jam. Kepadatan sel koloni bakteri yang tumbuh dihitung menggunakan metode *plate counting* (Yelti *et al.*, 2014) dengan rumus:

$$\text{Kerapatan sel bakteri (cfu/ml)} = \frac{\text{Jumlah koloni}}{\text{volume pengambilan}} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

Penentuan Indeks Pelarutan Fosfat

Kultur *S. marcescens* yang telah diremajakan kemudian diinokulasikan pada media *Pikovskaya Agar* (PA) dan diinkubasikan selama 48 jam, diameter koloni dan diameter zona bening yang terbentuk diukur dan dihitung indeks pelarutan fosfat mengikuti rumus (Kaur & Kaur, 2020):

$$\text{IP} = \frac{\text{diameter koloni} + \text{diameter halo zone}}{\text{diameter koloni}}$$

Hasil penentuan indeks pelarutan fosfat dapat dikategorikan sebagaimana pada Tabel 1.

Prosedur percobaan

Percobaan dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 perlakuan dan 5 kali pengulangan. Setiap unit satuan percobaan terdiri dari 1 tanaman mentimun. Faktor perlakuan yang digunakan yakni konsentrasi aplikasi *S. marcescens* pada media NB. Taraf perlakuan yang digunakan yakni P0: 0 ml; P1: 20 ml; P2: 40 ml; P3: 60 ml dengan kepadatan 33×10^9 cfu/ml. Parameter kesuburan tanah meliputi pH tanah, P-total tanah (mg/100g), dan P-tersedia tanah (ppm). Selanjutnya, parameter agronomis meliputi P-jaringan trubus dan *root* (%), Serapan P-Trubus dan *root* (g/pot), tinggi tanaman (cm), volume akar (ml), panjang akar (cm), jumlah buah, dan berat segar buah (gram).

Pelaksanaan penelitian

Media tanam yang digunakan adalah tanah Alfisol yang berasal dari Desa Sucopangepok, Kecamatan Jelbuk, Kabupaten Jember. Input tambahan yang diberikan pada semua perlakuan dalam media tanam berupa bahan organik kotoran kambing sebanyak 340 g/tanaman (4 ton/ha) dan *rock phosphate* 8,8 g/tanaman (110kg/ha) (Zulkarnain, 2013). Media tanam ditimbang sebanyak 5 kg untuk setiap satuan percobaan pada kondisi kering angin.

Pemberian perlakuan dilakukan saat persiapan media tanam. Pemberian perlakuan dilakukan

Tabel 1. Kategori pelarutan fosfat dan kecepatan pelarutannya

| Nilai IP | Kategori Pelarutan | Mulai Terbentuk Halo Zone | Kategori Kecepatan Pelarutan |
|----------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|
| IP < 2,0 | Rendah | <3 hari | Cepat |
| 2,0 < IP < 4,0 | Sedang | 4-14 hari | Lambat |
| IP > 4,0 | Tinggi | >15 hari | Tidak dapat melarutkan |

(Marra *et al.*, 2011; Marra *et al.*, 2012)

dengan cara menyemprotkan larutan bakteri ke media tanam. Volume aplikasi sebanyak 100 ml yang terdiri atas suspensi bakteri dan aquades sesuai dengan perlakuan yang diujikan. Pemberian perlakuan dilakukan sebanyak 1x yakni 30 hari sebelum tanam.

Benih yang digunakan yakni benih mentimun varietas Renes F1, benih disemai hingga muncul daun sejati. Bibit yang memiliki pertumbuhan baik dilakukan pindah tanam pada media tanam yang telah diberi perlakuan. Jarak tanam antar pot 80x100 cm. Pengaplikasian pupuk susulan (Pupuk N dan K) dilakukan saat tanaman berusia 7 Hari Setelah Tanam dan 30 Hari Setelah Tanam. Pemeliharaan meliputi kegiatan penyiraman, penyiangan dan pengendalian OPT. Pemanenan dilakukan selama 10 kali untuk mengetahui tingkat produksi tanaman mentimun.

Analisis tanah dan tanaman

Analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Kesuburan Tanah, Universitas Jember. Analisis pH H₂O (1:5) diukur menggunakan pH meter, analisis P-total tanah dilakukan menggunakan metode ekstrak HCl 25% dan P-tersedia tanah menggunakan metode Olsen (NaHCO₃ 0,5 M) (Olsen *et al.*, 1954).

Analisis P-jaringan tribus dan *root* menggunakan metode pengabuan basah dengan H₂SO₄ dan H₂O₂. Analisis serapan P tribus dan *root* ditetapkan dengan cara perkalian antara berat kering dengan kadar P-jaringan. Tinggi tanaman diukur saat masa vegetatif tanaman pada 21 HST. Panjang akar diukur menggunakan penggaris dan diukur saat usia tanaman 56 HST. Volume akar diukur menggunakan gelas ukur dan diukur saat usia tanaman 56 HST. Jumlah buah ditentukan melalui penghitungan banyaknya buah yang dapat dipanen dan berat segar buah ditentukan dengan menimbang buah yang dapat dipanen. Pemanenan dilakukan 3 hari sekali pada 30 HST, 33 HST, 36 HST, 38 HST, 41 HST, 44 HST, 47 HST, 50 HST, 53 HST, 56 HST.

Analisis data

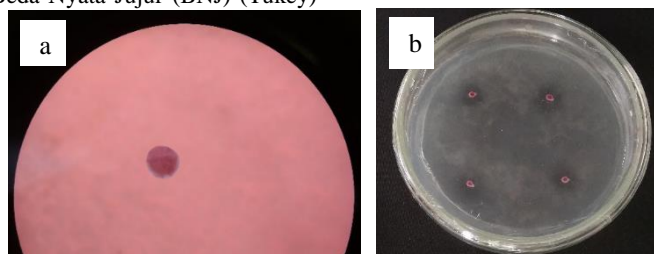
Data dianalisis menggunakan analisis ragam, apabila didapatkan hasil yang berpengaruh nyata di antara perlakuan-perlakuan tersebut, maka akan dilakukan uji lanjutan bagi perlakuan yang nyata dengan menggunakan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) (Tukey)

pada taraf kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan morfologi Bakteri *S. marcescens* (Gambar 1a) didapatkan beberapa karakteristik koloni bakteri yakni memiliki bentuk koloni bulat dengan tepi koloni yang halus. Bentuk koloni tersebut memiliki elevasi yang cembung dengan warna koloni merah. *S. marcescens* termasuk dalam bakteri gram negatif (Mohamed *et al.*, 2018). *S. marcescens* NAUKP5 mempunyai karakteristik berukuran kecil, bentuk membulat, permukaan halus (smooth), opak, dan berwarna merah merupakan salah satu bakteri pelarut fosfat (Patel *et al.*, 2016). Hasil pengujian kerapatan sel koloni bakteri menunjukkan bahwa *S. marcescens* yang diaplikasikan memiliki kepadatan koloni sebesar 33×10^9 cfu/ml.

Berdasarkan hasil uji pelarutan fosfat menggunakan media *Pikovskaya Agar* (Gambar 1b), diperoleh nilai indeks pelarutan fosfat oleh bakteri *S. marcescens* sebesar 2,64. *Halo zone* pada sekitar koloni bakteri terbentuk pada inkubasi hari ke-2. Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, *S. marcescens* yang digunakan pada penelitian ini memiliki kemampuan pelarutan fosfat yang tergolong sedang dengan kategori waktu pelarutan yang cepat (Tabel 1). Hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa *S. marcescens* memiliki kemampuan pelarutan fosfat yang tergolong sedang dengan nilai indeks pelarutan 2,8-3,2 (Mohamed *et al.*, 2018). Mekanisme pelarutan fosfat oleh *S. marcescens* dengan mensintesis asam organik yang dapat mengikat kation (Al, Fe, Ca) melalui gugus karboksil dan hidroksilnya, sehingga fosfat dapat dibebaskan (Rawat *et al.*, 2021). Asam-asam organik yang dihasilkan yakni asam sitrat, glukonat, suksinat dan laktat (Chen *et al.*, 2006).



Gambar 1. Karakteristik bakteri *Serratia marcescens*: a) pengamatan bentuk koloni b) uji pelarutan fosfat pada media *Pikovskaya*

Tabel 2. Analisis kesuburan awal tanah Alfisol

| Jenis Analisis | Satuan | Nilai | Harkat ^{*)} |
|-------------------------------------|-----------|------------|---------------------------|
| pH H ₂ O (1:5) | - | 5,71 | Agak masam |
| P-total | mg/100g | 11,54 | Sangat Rendah |
| P ₂ O ₅ Olsen | ppm | 3,03 | Sangat Rendah |
| Warna Tanah | - | 5 YR 2,5/2 | <i>Dark Reddish Brown</i> |
| Tekstur | Pasir (%) | 21,40 | Kelas Tekstur Klei |
| | Debu (%) | 29,80 | |
| | Klei (%) | 48,80 | |

^{*)}Berdasarkan Kriteria Penelitian Hasil Tanah, Balai Penelitian Tanah (2009).

Karakteristik fisik dan kimia tanah awal

Hasil analisis kesuburan tanah Alfisol sebelum perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai pH yang rendah sebesar 5,71 disebabkan oleh pencucian pada tanah Alfisol Kecamatan Jelbuk Kabupaten Jember. Kondisi tersebut didukung oleh curah hujan bulanan yang menunjukkan bahwa bulan basah pada daerah tersebut berlangsung selama 7 bulan dalam kurun 15 tahun terakhir (Kurniawan *et al.*, 2019). Hal tersebut diduga menyebabkan penurunan pH yang menjadi masam pada tanah ini. Nilai pH yang masam dapat memicu kelarutan ion Fe, Al, dan Mn menjadi tinggi dan ketika tingkat kelarutannya lebih tinggi dari pada kelarutan P, maka unsur P akan banyak terikat sehingga akan mengalami defisiensi (Cahyono, 2018).

Hal ini juga dapat diketahui berdasarkan warna tanah, semakin terang warna tanah Alfisol menggambarkan banyaknya jumlah bahan pengikat P. Tanah Alfisol merupakan kelompok tanah merah dengan kandungan Fe

yang tinggi, warna merah tersebut merupakan akumulasi Fe yang mengalami oksidasi (Wijanarko *et al.*, 2007). Kandungan Fe pada tanah Alfisol ini sangat memungkinkan untuk mengikat P dalam tanah, menjadi bentuk P-terikat (Fe-P). Kadar P- tersedia dalam tanah Alfisol yang digunakan sebagai media tanam memiliki harkat yang sangat rendah yakni sebesar 3,03 ppm (Tabel 2).

Selain itu, pencucian juga menyebabkan sejumlah besar fosfat ikut terlarut ke lapisan bawah perakaran. Hasil pengujian P-total tanah menunjukkan kadar P-total pada tanah Alfisol memiliki harkat yang sangat rendah yakni sebesar 11,54 mg/100g (Tabel 2). Upaya peningkatan kesuburan tanah Alfisol dapat dilakukan melalui aplikasi *S. marcescens*. Aplikasi *S. marcescens* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pH tanah, P-total tanah, P-tersedia tanah (Tabel 3), serta P-jaringan, serapan P (Tabel 4), tinggi tanaman, volume akar dan panjang akar (Tabel 5).

Tabel 3. Pengaruh aplikasi *Serratia marcescens* terhadap pH tanah, P-total tanah dan P-tersedia tanah pada 56 HST

| Perlakuan | pH tanah | P-total tanah (mg/100g) | P-tersedia tanah (ppm) |
|------------|-------------------|-------------------------|------------------------|
| P0 (0 ml) | 5,96 ^a | 22,72 ^a | 7,45 ^a |
| P1 (20 ml) | 5,99 ^a | 41,05 ^b | 17,90 ^b |
| P2 (40 ml) | 6,03 ^a | 41,62 ^b | 28,39 ^c |
| P3 (60 ml) | 6,16 ^b | 25,56 ^a | 23,82 ^{bc} |

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Tukey pada taraf kepercayaan 95%.

Tabel 4. Pengaruh aplikasi *Serratia marcescens* terhadap P-jaringan dan serapan P pada 56 HST

| Perlakuan | P-Jaringan (%) | | Serapan P (g/pot) | |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Trubus | Akar | Trubus | Akar |
| P0 (0 ml) | 0,12 ^a | 0,54 ^a | 9,19 ^a | 1,27 ^a |
| P1 (20 ml) | 0,23 ^{ab} | 0,67 ^{ab} | 11,82 ^a | 1,98 ^{ab} |
| P2 (40 ml) | 0,30 ^b | 0,78 ^b | 28,52 ^a | 2,27 ^b |
| P3 (60 ml) | 0,27 ^{ab} | 0,74 ^b | 24,81 ^a | 1,97 ^{ab} |

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Tukey pada taraf kepercayaan 95%.

Tabel 5. Pengaruh aplikasi *Serratia marcescens* terhadap pertumbuhan dan hasil mentimun

| Perlakuan | Tinggi Tanaman (cm) | Panjang Akar (cm) | Volume Akar (ml) | Jumlah Buah (buah) | Berat Segar Buah (gram) |
|------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| P0 (0 ml) | 111,96 ^a | 45,38 ^a | 29,00 ^a | 0,76 ^a | 96,22 ^a |
| P1 (20 ml) | 134,24 ^{ab} | 54,34 ^{ab} | 30,00 ^{ab} | 0,82 ^a | 100,60 ^a |
| P2 (40 ml) | 138,72 ^b | 59,92 ^b | 32,00 ^{ab} | 0,92 ^a | 115,03 ^a |
| P3 (60 ml) | 135,62 ^{ab} | 55,70 ^{ab} | 43,00 ^b | 1,14 ^a | 128,46 ^a |

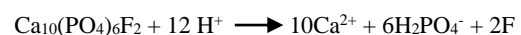
Keterangan: Angka-angka pada kolom yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata pada Uji Tukey pada taraf kepercayaan 95%.

Konsentrasi P-total, P-tersedia dan pH tanah Alfisol

Aplikasi *S. marcescens* memberikan pengaruh nyata pada pH tanah, P-total tanah dan P-tersedia tanah. Nilai pH tanah menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3) berbeda nyata terhadap perlakuan lainnya. Sedangkan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), berbeda tidak nyata dengan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2). Kondisi pH yang meningkat erat kaitannya dengan aktivitas bakteri *S. marcescens* di dalam tanah dalam menguraikan bahan organik yang ditambahkan ke dalam media tanam. Bahan organik yang terurai akan menghasilkan ion OH⁻ yang mampu menetralkan ion H⁺, sehingga pH akan meningkat, bahan organik mampu membuffer pH dalam tanah dan bersifat amfoter (Siregar *et al.*, 2017). Semakin banyak koloni bakteri yang ada dalam tanah, maka proses penguraian juga akan membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat dan pH akan lebih cepat meningkat. Kondisi pH tersebut yang menjadikan indikator peningkatan P-tersedia dalam tanah. *S. marcescens* memiliki aktivitas tertinggi pada pH 6 (Cahyani *et al.*, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa pada pH tersebut bakteri dapat aktif berkembang serta melakukan fungsinya, satu diantaranya yakni melarutkan fosfat dalam tanah. Fosfat banyak tersedia pada kondisi pH yang netral antara 6-7. Pada kondisi pH yang masam, fosfat pada tanah Alfisol banyak terikat pada unsur-unsur pengkelat seperti Fe. Konsentrasi Fe pada tanah Alfisol umumnya sangat tinggi (Wijanarko *et al.*, 2007). Fe tersebut mengikat fosfat dalam bentuk FePO₄.2H₂O.

Hasil rata-rata P-total tanah menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2) berbeda tidak nyata dengan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1), namun berbeda nyata dengan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0) dan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3). Penambahan bahan organik dan *rock phosphate* pada semua

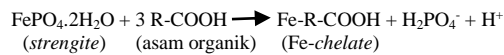
perlakuan merupakan salah satu sumber P dan meningkatnya kandungan P-total tanah. Namun, pada perlakuan aplikasi *S. marcescens* meningkatkan konsentrasi P-total maupun P-tersedia tanah secara nyata dibanding tanpa inokulasi *S. marcescens* (Tabel 3). Bahan organik merupakan salah satu sumber unsur hara P dalam bentuk P-organik, sehingga penambahan bahan organik akan meningkatkan P-total pada tanah (Fikdalillah *et al.*, 2016). Fosfat dari bahan organik dibebaskan melalui aktivitas bakteri yang memproduksi enzim fosfatase yang menyebabkan defosforilasi senyawa P-organik dengan cara memutus ikatan fosfoester atau fosfoanhidrida dan menyediakan P dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman (Shrivastava *et al.*, 2018). Selain itu, *rock phosphate* juga merupakan salah satu sumber fosfat. Kelarutan fosfat pada *rock phosphate* dipengaruhi oleh suplai ion H⁺ yang berada pada larutan tanah. suplai ion H⁺ dapat berasal dari disosiasi asam organik yang juga dihasilkan oleh bakteri, ion H⁺ dapat melemahkan ikatan kimia pada kristal *rock phosphate* (Hartatik & Idris, 2008). Reaksi pelarutan P dari *rock phosphate* sebagai berikut (Triwulan, 2018).



Kedua bentuk fosfat tersebut merupakan bagian dari P-total, penambahan bahan organik dan *rock phosphate* akan mempengaruhi peningkatannya dalam tanah. Tanaman tidak dapat menyerap seluruh bentuk fosfat yang ada dalam tanah. Tanaman menyerap fosfat dalam bentuk H₂PO₄⁻ dan HPO₄²⁻, kemudian akan dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan perkembangannya.

Fosfat yang diserap tanaman merupakan bentuk P-tersedia dalam tanah yang telah dibebaskan dari unsur pengkelatnya. Fe merupakan salah satu unsur pengikat P pada tanah Alfisol yang memiliki konsentrasi sangat tinggi (Wijanarko *et al.*, 2007). Fosfat yang terikat oleh Fe dilarutkan oleh *Serratia marcescens* dengan memproduksi asam-asam

organik. Asam-asam organik yang dihasilkan yakni asam sitrat, glukonat, suksinat dan laktat (Chen *et al.*, 2006). Asam organik yang dihasilkan akan mengikat kation yang mengikat fosfat melalui gugus karboksil dan hidroksilnya, sehingga fosfat dapat dibebaskan (Rawat *et al.*, 2021). Berikut merupakan reaksi pembebasan P dari unsur Fe:



Hasil rata-rata P-tersedia tanah menunjukkan perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) berbeda nyata terhadap perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0) dan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2), namun berbeda tidak nyata terhadap perlakuan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3). Perlakuan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2) berbeda nyata terhadap perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0) dan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1), namun berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3). Perlakuan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), namun berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2).

Konsentrasi P-jaringan dan serapan P tanaman

Aplikasi *S. marcescens* memberikan pengaruh berbeda nyata pada parameter pengamatan P-jaringan trubus dan akar, serapan P akar, namun memiliki pengaruh yang berbeda tidak nyata pada parameter serapan P trubus. Pengamatan parameter P-jaringan trubus, menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), namun berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3). Perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3) berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0). Hasil serupa juga terdapat pada pengukuran P-jaringan akar. Perlakuan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), namun berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3). Perlakuan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), namun berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2).

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan fosfat banyak diakumulasi pada bagian akar (Tabel 4). Rata-rata konsentrasi P-jaringan pada akar (akar) cenderung lebih tinggi daripada kandungan pada bagian tajuk (trubus). Hasil tersebut berbanding terbalik dengan penelitian Alzate Zuluaga *et al.*, (2021) yang menyebutkan bahwa konsentrasi P trubus memiliki peningkatan lebih tinggi dibandingkan konsentrasi P akar akibat pemberian pemupukan P dan inokulasi *Enterobacter* sp. Strain 15S pada tanaman mentimun. Konsentrasi P-jaringan yang lebih tinggi pada bagian akar ini diduga karena penyerapan unsur hara tanaman masih belum mencukupi kebutuhan tanaman. Fosfat banyak diakumulasi pada bagian akar untuk menunjang pertumbuhan akar guna mendapatkan lebih banyak suplai unsur hara.

Pengamatan parameter serapan P akar, menunjukkan perlakuan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), namun berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3). Pada pengukuran serapan P trubus menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata pada masing-masing perlakuan.

Fosfat yang terserap ke jaringan tanaman kemudian dimanfaatkan dalam proses metabolisme pada tanaman. Hal ini akan meningkatkan biomassa tanaman. Serapan fosfat tanaman dipengaruhi oleh berat kering tanaman, semakin tinggi berat kering tanaman, menggambarkan penyerapan unsur hara yang optimal. Pemanfaatan *S. marcescens* ini mampu mengoptimalkan penyerapan fosfat dengan menstabilkan pH pada tanah, sehingga fosfat dapat lebih banyak diserap oleh tanaman. Konsentrasi optimal penggunaan *S. marcescens* pada penelitian ini adalah 40 ml (P2). Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa bakteri pelarut fosfat secara signifikan dapat meningkatkan serapan P oleh tanaman. Inokulasi *Bacillus thuringiensis* mampu meningkatkan serapan P tanaman gandum pada tanah masam ultisol (Delfim *et al.*, 2020). Penelitian serupa juga menunjukkan bahwa aplikasi bakteri pelarut fosfat dari jenis *Pseudomonas* yang dikombinasikan dengan pupuk P mampu meningkatkan serapan P tanaman gandum pada lahan kering (Shirmohammadi *et al.*, 2020).

Alfisol termasuk tanah kering dengan pH yang masam, sehingga pemanfaatan BPF dinilai

mampu membantu pengelolaan P pada tanah tersebut. Berdasarkan hasil analisis serapan P, menunjukkan bahwa serapan P pada bagian trubus menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan pada bagian akar. Semakin tinggi hasil berat kering tanaman dapat menggambarkan semakin efektif penyerapan unsur hara dan proses metabolisme yang dilakukan oleh tanaman. Fosfat yang diserap tanaman kemudian ditranslokasikan ke seluruh jaringan tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Hasil pengamatan tinggi tanaman, menunjukkan perlakuan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), namun berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3). Rata-rata tinggi tanaman sejalan dengan peningkatan kadar P-tersedia yang dapat diserap oleh tanaman. Peningkatan kadar P-tersedia dipengaruhi oleh aktivitas *S. marcescens* dalam melarutkan fosfat dalam tanah. Semakin tinggi kadar P-tersedia, diduga juga berpengaruh terhadap peningkatan tinggi tanaman. Hal ini sesuai dengan fungsi fosfat dalam pembelahan sel dan perkembangan jaringan meristem pada tanaman (Adiwijaya, 2019).

Fosfat bersifat *mobile* dalam jaringan dan banyak mengisi titik-titik tumbuh (Yama *et al.*, 2021). Aplikasi pupuk Fosfat yang dikombinasikan dengan nitrogen menghasilkan Tinggi tanaman pada tanaman mentimun 21 HST antara 79-81 cm (Adiwijaya, 2019). Pada penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih tinggi. Hasil terbaik pengukuran tinggi tanaman ini juga diikuti dengan hasil terbaik pada parameter P-jaringan, keduanya menegaskan bahwa perlakuan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2) adalah perlakuan terbaik. Pemberian bakteri pelarut fosfat yang ditunjang dengan pupuk NPK memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap tinggi tanaman (Lovitna *et al.*, 2021).

Pengamatan parameter panjang akar, menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), namun berbeda tidak nyata terhadap perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3). Pemanjangan akar juga dipengaruhi oleh pembelahan sel yang berkembang pada titik tumbuh. Jaringan meristem pada akar akan semakin aktif membelah seiring dengan penyerapan fosfat

pada tanaman yang semakin banyak. Fosfat berfungsi sebagai sistem pembentuk energi (ATP dan ADP) dalam sistem sel yang mengontrol berbagai reaksi yang terjadi dalam tanaman serta sebagai penyusun dalam komponen asam nukleat, RNA, DNA, dan *Phospholipids* (Ginting *et al.*, 2020). Fosfat yang dapat diserap tanaman tersebut sebagian besar merupakan hasil pelarutan fosfat oleh *S. marcescens*. Pemanjangan akar merupakan hasil dari aktivitas jaringan meristem yang aktif membelah, sehingga mempengaruhi peningkatan panjang akar. Perkembangan perakaran juga dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, suhu tanah, aerasi, ketersediaan air, dan ketersediaan unsur hara (Dhani *et al.*, 2014). Peningkatan ketersediaan P pada tanah Alfisol yang digunakan sebagai media tanam ini diduga mempengaruhi kecepatan pertumbuhan perakaran menjadi lebih banyak.

Hasil pengamatan volume akar menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3) berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 0 ml (P0), namun berbeda tidak nyata dengan perlakuan konsentrasi aplikasi 20 ml (P1) dan konsentrasi aplikasi 40 ml (P2). Hasil pelarutan fosfat oleh *S. marcescens* kemudian diserap oleh tanaman dan di translokasikan pada beberapa titik tumbuh, termasuk pada perakaran. Aplikasi *S. marcescens* secara signifikan dapat meningkatkan berat kering akar dibandingkan kontrol (Khan *et al.*, 2016). Peningkatan berat kering akar sejalan dengan peningkatan volume akar. Semakin padat koloni bakteri yang ada dalam tanah, maka pelarutan fosfat juga semakin tinggi sehingga penyerapan fosfat oleh akar juga dapat berjalan dengan optimal. Fosfat dapat merangsang pembelahan sel dalam perakaran dengan membentuk bulu-bulu akar. Pembentukan bulu-bulu akar yang semakin banyak akan mampu meningkatkan volume akar. Volume akar yang semakin tinggi, diduga mampu meningkatkan serapan unsur hara dalam tanah. Pemberian bakteri pelarut fosfat mampu meningkatkan ketersediaan P dan meningkatkan pembentukan serabut akar yang lebih banyak sehingga pertumbuhan perakaran menjadi lebih baik (Aditya *et al.*, 2015).

Pengamatan parameter jumlah buah, menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan memiliki pengaruh yang berbeda tidak nyata. Hasil terbaik yakni pada perlakuan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3) dengan rata-rata jumlah buah sebesar 1,14. Fosfat merupakan salah satu

unsur hara yang banyak dibutuhkan dalam pembentukan buah pada tanaman disamping unsur kalium (Bertua *et al.*, 2012). Fosfat diketahui mampu meningkatkan penyerapan unsur lain seperti N dan K (Oksilia & Alby, 2020). Hasil penyerapan unsur hara tersebut akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman serta menunjang pembentukan buah. Hasil yang tidak berbeda nyata mengindikasikan bahwa aplikasi tunggal *S. marcescens* belum mampu menunjang pembentukan buah yang banyak. Perlu adanya tambahan suplai unsur hara terutama fosfat untuk menunjang pembentukan buah yang dilakukan melalui pemupukan tambahan.

Pengamatan parameter berat segar buah menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan yang diaplikasikan memiliki pengaruh yang berbeda tidak nyata. Rata-rata berat segar buah tertinggi pada perlakuan konsentrasi aplikasi 60 ml (P3) yakni sebesar 128,46 g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan Konsentrasi aplikasi *Serratia marcescens* belum mampu menunjang perkembangan buah yang telah terbentuk. Hasil pelarutan fosfat oleh *Serratia marcescens* belum mampu mencukupi kebutuhan tanaman mentimun yang menyebabkan perkembangan pembesaran buah menjadi kurang optimal. Kondisi tersebut mempengaruhi hasil berat segar buah. Nilai rata-rata berat segar buah berbanding lurus dengan jumlah buah yang dapat terbentuk, semakin banyak buah yang terbentuk maka potensi berat segar buah juga dapat meningkat. Jumlah buah memiliki hubungan yang sangat kuat dengan berat segar buah dengan koefisien korelasi sebesar 0,86, parameter jumlah buah mempengaruhi 74,9% peningkatan berat segar buah dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Penambahan sumber fosfat yang lebih tinggi diperlukan untuk menunjang pembentukan bunga dan buah. Mengingat tujuan aplikasi bakteri pelarut fosfat ini bukan untuk menggantikan pupuk kimia dalam menyediakan fosfat bagi tanaman, melainkan untuk meningkatkan ketersediaannya dalam tanah. Saat ketersediaan fosfat dapat ditingkatkan, maka dosis pupuk yang digunakan dapat dikurangi. Penambahan mikroba-mikroba dalam tanah ini juga mampu memperbaiki kesuburan tanah, semakin tinggi aktivitas bakteri dalam tanah, maka kesuburan tanah juga akan semakin baik (Kadarwati, 2016).

KESIMPULAN

Inokulasi *S. marcescens* berpengaruh nyata terhadap pH tanah menjadi 6,16, konsentrasi P-total tanah sebesar 41,62 mg/100g, konsentrasi P-tersedia tanah sebesar 28,39 ppm, konsentrasi P-jaringan tribus dan akar sebesar 0,30% dan 0,78%, serapan P akar sebesar 28,52 dan 2,27 g/pot. Demikian pula dengan tinggi tanaman sebesar 138,72 cm, volume akar sebesar 43 ml, serta panjang akar sebesar 59,92 cm dipengaruhi secara nyata oleh adanya inokulasi *S. marcescens* dibanding perlakuan tanpa inokulasi.

Penelitian ini memberikan informasi bahwa *S. marcescens* merupakan salah satu alternatif bakteri pelarut fosfat yang dapat digunakan pada tanah-tanah yang memiliki permasalahan terhadap ketersediaan fosfat seperti tanah Alfisol.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya M, Idwar & Nurbaiti. 2015. Aplikasi Bakteri Pelarut Fosfat Isolat No. 68 dengan Berbagai Takaran Batuan Fosfat pada Medium Gambut dalam Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Varietas 129. *JOM Faperta*. **2**(2): 1-15.
- Adiwijaya HD. 2019. Pengaruh Kombinasi Takaran Pupuk Nitrogen dan Pupuk Fosfat terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus* L.) Kultivar Zaty F1. *Jurnal Agroteknik*. **6**(2): 2-21.
- Alvernia P, Minardi S & Sunoro S. 2017. Zeolite and Organic Fertilizer Application to The Improvement of Available P and Soybean (*Glycine max* L) Seed Yield in Alfisols. *Sains Tanah - Journal of Soil Science and Agroclimatology*. **14**(2): 84-90.
- Alzate Zuluaga MY, Martinez de Oliveira AL, Valentinuzzi F, Tiziani R, Pii Y, Mimmo T, & Cesco S. 2021. Can Inoculation With the Bacterial Biostimulant *Enterobacter* sp. Strain 15S Be an Approach for the Smarter P Fertilization of Maize and Cucumber Plants? *Frontiers in Plant Science*, **12**:1-18.
- Bertua, Irianto, & Ardiyaningsih. 2012. Pengaruh Dosis Pupuk Kandang Ayam terhadap Pertumbuhan dan Hasil Mentimun (*Cucumis sativus* L.) pada Tanah Ultisol. *Bioplantae*. **1**(4): 266-273.
- Cahyani P, Wijanarka & Raharjo B. 2017. Aktivitas Spesifik Selulase *Serratia marcescens* dengan Variasi Konsentrasi

- Amonium Sulfat ((NH₄)₂SO₄) dan pH. *Jurnal Biologi*. **6**(2): 41-49.
- Cahyono O. 2018. Respon Beberapa Varietas Padi Sawah terhadap Cara Aplikasi Pupuk Fosfat di Tanah Alfisol. *Jurnal Ilmiah Agrineca*. **18**(2): 22-33.
- Campos CNS, Teixeira GCM, Prado RdeM, Caione G, da Silva Júnior GB, David CHO de, Sales AC, Roque CG & Teodoro PE. 2021. Macronutrient Deficiency in Cucumber Plants: Impacts in Nutrition, Growth and Symptoms. *Journal of Plant Nutrition*, **44**(17): 2609-2626.
- Chakraborty U, Chakraborty BN & Chakraborty AP. 2010. Influence of *Serratia marcescens* TRS-1 on Growth Promotion and Induction of Resistance in *Camellia Sinensis* Against *Fomes Lamaoensis*. *Journal of Plant Interactions*. **5**(4): 261-272.
- Chen YP, Rekha PD, Arun AB, Shen FT, Lai W A & Young CC. 2006. Phosphate Solubilizing Bacteria from Subtropical Soil and Their Tricalcium Phosphate Solubilizing Abilities. *Applied Soil Ecology*. **34**(1): 33-41.
- Delfim J, Gerding M & Zagal E. 2020. Phosphorus fractions in Andisol and Ultisol inoculated with *Bacillus thuringiensis* and phosphorus uptake by wheat. *Journal of Plant Nutrition*. **43**(18): 2728-2739.
- Dhani H, Wardati & Rosmimi. 2014. Pengaruh Pupuk Vermikompos pada Tanah Inceptisol terhadap Pertumbuhan dan Hasil Sawi Hijau (*Brassica juncea* L.). *JOM Faperta*, **1**(1): 1-11.
- Fikdalillah, Basir M & Wahyudi I. 2016. Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang Sapi terhadap Serapan Fosfor dan Hasil Tanaman Sawi Putih (*Brassica pekinensis*) pada Entisols Sidera. *J. Agrotekbis*. **4**(5): 491-499.
- Ginting EN, Pradiko I, Farrasati R & Rahutomo S. 2020. Pengaruh Rock Phosphate dan Dolomit terhadap Distribusi Perakaran Tanaman Kelapa Sawit pada Tanah Ultisols. *Jurnal Agrikultura*. **31**(1): 32-41.
- Hartatik W & Idris DK. 2008. Kelarutan Fosfat Alam dan SP-36 dalam Gambut yang Diberi Bahan Amelioran Tanah Mineral. *Jurnal Tanah dan Iklim*, **27**: 45-56.
- Kadarwati FT. 2016. Evaluasi Kesuburan Tanah untuk Pertanaman Tebu di Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*. **22**(2): 53-62.
- Kannan P, Paramasivan M, Marimuthu S, Swaminathan C & Bose J. 2021. Applying Both Biochar and Phosphobacteria Enhances *Vigna mungo* L. Growth and Yield in Acid Soils by Increasing Soil pH, Moisture Content, Microbial Growth and P Availability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **308**: 1-9.
- Kaur R & Kaur S. 2020. Variation in the Phosphate Solubilizing Bacteria from Virgin and the Agricultural Soils of Punjab. *Current Microbiology*. **77**(9): 2118-2127.
- Khan MA, Khatun A & Islam T. 2016. Promotion of Plant Growth by Phytohormone Producing Bacteria. In *Industrial Microbiology: Microbes in Action* (pp. 1-42).
- Kurniawan AR, Bisri M & Suhartanto E. 2019. Analisis Kekeringan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Bedadung Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). *Jurnal Teknik Pengairan*. **10**(2): 97-109.
- Ligowe IS, Young SD, Ander EL, Kabambe V, Chilimba ADC, Bailey EH, Lark RM & Nalivata PC. 2020. Agronomic Biofortification of Leafy Vegetables Grown in an Oxisol, Alfisol and Vertisol with Isotopically Labelled Selenium (77Se). *Geoderma*. **361**: 1-11.
- Lovitna G, Nuraini Y & Istiqomah N. 2021. Pengaruh Aplikasi Bakteri Pelarut Fosfat dan Pupuk Anorganik Fosfat Terhadap Populasi Bakteri Pelarut Fosfat, P-Tersedia, dan Hasil Tanaman Jagung pada Alfisol. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*. **8**(2): 437-449.
- Marra LM, Maria de Oliveira S, Roberto Fonsêca Sousa Soares C, Maria de Souza Moreira F & Borges Regitano J. 2011. Solubilisation of Inorganic Phosphates by Inoculant Strains From Tropical Legumes. *Sci. Agric*. **68**(5): 603-609.
- Marra LM, Sousa Soares CRF, de Oliveira SM, Ferreira PAA, Soares BL, de Carvalho RF, de Lima JM & de Moreira FMS. 2012. Biological Nitrogen Fixation and Phosphate Solubilization by Bacteria Isolated from Tropical Soils. *Plant and Soil*. **357**(1): 289-307.
- Mohamed EAH, Farag AG & Youssef SA. 2018. Phosphate Solubilization by *Bacillus subtilis* and *Serratia marcescens* Isolated from Tomato Plant Rhizosphere. *Journal of Environmental Protection*. **09**(03): 266-277.
- Mohammed WS, Mishra KS, Singh RK, Singh, MK & Soni SS. 2021. The Effect of NPK on

- The Growth, Yield and Quality of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Under Protected Cultivation. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. **10**(1): 2011-2014.
- Nursyamsi D & Setyorini DD. 2009. Ketersediaan P Tanah-Tanah Netral dan Alkalin. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, **30**: 25-36.
- Oksilia & Alby S. 2020. Pengaruh Pupuk Fosfat terhadap Pertumbuhan dan Produksi Mentimun Jepang (*Cucumis sativus* L.). *Jurnal Ilmu Pertanian Agronitas*. **2**(2): 38-45.
- Patel K, Patel S, Parekh V & Jha S. 2016. Isolation and Characterization of Salt Tolerant Phosphate Solubilizing *Serratia marcescens* Isolated from Coastal Area. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, **10**(3): 2401-2408.
- Rawat P, Das S, Shankhdhar D & Shankhdhar, SC. 2021. Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. **21**: 49-68.
- Setyawan F. 2017. Pengaruh *Bacillus subtilis* dan Bahan Organik terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.). *Jurnal Hijau Cendekia*. **2**(1): 21-28.
- Shirmohammadi E, Alikhani HA, Pourbabaee AA & Etesami H. 2020. Improved Phosphorus (P) Uptake and Yield of Rainfed Wheat Fed with P Fertilizer by Drought-Tolerant Phosphate-Solubilizing Fluorescent Pseudomonads Strains: a Field Study in Drylands. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. **20**(4): 2195-2211.
- Shrivastava M, Srivastava PC & D'Souza SF. 2018. Phosphate-solubilizing microbes: Diversity and phosphates solubilization mechanism. In *Role of Rhizospheric Microbes in Soil: Volume 2: Nutrient Management and Crop Improvement* (pp. 137-165). Springer Singapore.
- Siregar P, Fauzi & Supriadi. 2017. Pengaruh Pemberian Beberapa Sumber Bahan Organik dan Masa Inkubasi Terhadap Beberapa Aspek Kimia Kesuburan Tanah Ultisol. *Agroekoteknologi FP USU*. **5**(2): 256-264.
- Triwulan Y. 2018. Pengaruh Kombinasi Sumber Fosfat dengan Bakteri Pelarut Fosfat terhadap Peningkatan Kadar P Tanah Alfisol dan Serapannya pada Tanaman Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Universitas Jember.
- Wijanarko A, Sudaryono & Sutarno. 2007. Karakteristik Sifat Kimia dan Fisika Tanah Alfisol di Jawa Timur dan Jawa Tengah. *Iptek Tanaman Pangan*. **2**(2): 214-226.
- Yama DI, Ivansyah O & Astriy R. 2021. Hubungan Serapan P dengan Pertumbuhan Setek Lada pada Aplikasi Kompos Ampas Tahu dan Jerami Padi. *Agrotechnology Research*. **5**(2): 77-84.
- Yelti SN, Zul D & Fibriarti BL. 2014. Formulasi Biofertilizer Cair Menggunakan Bakteri Pelarut Fosfat Indigenus Asal Tanah Gambut Riau. *JOM FMIPA*. **1**(2): 651-662.