

UJI AKTIVITAS BAKTERI PELARUT FOSFAT TERHADAP KELARUTAN FOSFAT PADA TANAH SALIN

Activity Test of Phosphate-Solubilizing Bacteria on Phosphate Solubility in Saline Soils

Nisa Hidayatulloh, Tri Candra Setiawati*

Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, Jl. Kalimantan No. 37, Jember 68121

* Penulis korespondensi: candra.setiawati.faperta@unej.ac.id

Abstrak

Kandungan garam yang tinggi pada tanah salin menjadi penyebab utama rendahnya kesuburan tanah khususnya unsur hara fosfor. Aplikasi bakteri pelarut fosfat pada tanah salin merupakan salah satu cara untuk meningkatkan ketersediaan fosfat pada tanah salin. Penelitian ini terdiri atas dua pengujian, yaitu (1) pengujian kualitatif dan kuantitatif bakteri pelarut fosfat pada kondisi salin dan (2) pengujian aktivitas bakteri pelarut fosfat pada tanah salin. Penelitian ini menggunakan *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valeszensis* (Koleksi Laboratorium Biologi Tanah), tanah salin Inceptisol dari Banongan dan Agel Situbondo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas bakteri pelarut fosfat terhadap kelarutan fosfat dalam tanah salin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valeszensis* memiliki indeks kelarutan 1,25-2,68 pada medium Pikovskaya padat dengan beberapa konsentrasi NaCl. Uji kuantitatif pada medium Pikovskaya cair, konsentrasi fosfat larut air berkisar 4,84 ppm sampai 14,18 ppm dan fosfat terlarut (ekstrak Bray) antara 15,91 ppm sampai 21,58 ppm. Selain itu, (2) pada tanah salin menunjukkan bahwa *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valeszensis* dapat meningkatkan ketersediaan fosfat sebesar 11,61% menjadi 72,89%. Berdasarkan hasil penelitian, *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valeszensis* berpotensi meningkatkan ketersediaan fosfat di tanah salin.

Kata kunci: bakteri pelarut fosfat, fosfat, tanah salin

Abstract

The high salt content in saline soils is the main cause of low salinity soil fertility, especially phosphorus nutrients. The application of phosphate-solubilizing bacteria in saline soil is one method to increase phosphate availability in saline soils. This study consisted of two tests, namely (1) qualitative and quantitative testing of phosphate-solubilizing bacteria in saline conditions and (2) testing of the activity of phosphate solubilizing bacteria in saline soil. This study used *Pseudomonas sp.* and *Bacillus valeszensis* (Soil Biology Laboratory collection), Inceptisol saline soil from Banongan and Agel Situbondo. The study aimed to determine the activity of phosphate-solubilizing bacteria on the solubility of phosphate in saline soil. The results showed that: (1) *Pseudomonas sp.* and *Bacillus valeszensis* have a solubility index of 1.25 to 2.68 on solid Pikovskaya medium with some NaCl concentration. Quantitatively test on liquid Pikovskaya medium, water-soluble phosphate concentration about 4.84 ppm to 14.18 ppm and soluble phosphate (extract Bray) between 15.91 ppm to 21.58 ppm. In addition, (2) on saline soil showed that *Pseudomonas sp.* and *Bacillus valeszensis* could increase phosphate availability by 11.61% to 72.89%. Based on the study results, *Pseudomonas sp.* and *Bacillus valeszensis* have the potential to increase phosphate availability in saline soils.

Keywords: phosphate-solubilizing bacteria, phosphate, saline soil

Pendahuluan

Tanah salin adalah tanah yang memiliki kandungan garam tinggi. Natrium (Na) adalah salah satu jenis garam yang terlarut pada tanah salin yang dapat berbentuk NaCl, Na₂CO₃, dan Na₂SO₄. Tanah dapat dikategorikan salin apabila mempunyai pH 7- 8,5, daya hantar listrik (DHL) atau *Electrical conductivity* (EC) lebih besar 4 ds m⁻¹ (ekivalen dengan 40 mM NaCl dan persentase natrium yang dapat ditukar (ESP = *exchangeable sodium percentage*) kurang dari 15 (Rachman *et al.*, 2018). Tanah salin berpotensi dimanfaatkan sebagai lahan produktif untuk budidaya pertanian. Namun, memiliki kendala terutama dalam penyerapan unsur hara (Nugraheni *et al.*, 2003). Penyerapan garam yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan menyebabkan keracunan pada tanaman. (Suharyani *et al.*, 2012). Salinitas termasuk dalam cekaman abiotik. Menurut Suliasih dan Widawati (2016) cekaman abiotik memiliki efek terhadap produktivitas tanah dalam kelangsungan hidup bakteri fungsional di dalam tanah serta pertumbuhan dan hasil tanaman

Fosfor merupakan hara makro yang bermanfaat untuk perkembangan tanaman. Ketersediaan fosfor di tanah tinggi, namun hanya sedikit yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Fosfor diserap tanaman dalam bentuk ion fosfat terlarut seperti H₂PO₄⁻¹, HPO₄⁻², dan PO₄⁻³. Ketersediaan fosfat terlarut di dalam tanah terbatas karena kecenderungannya terikat dengan mineral tanah atau ion positif yang mendominasi tanah sehingga membentuk fosfat kompleks (Larasati *et al.*, 2018). Sekitar 30% hingga 40% dari lahan pertanian yang kekurangan unsur hara fosfor sehingga berimplikasi terhadap produktivitas tanah yang buruk. Bakteri pelarut fosfat adalah bakteri yang dapat melarutkan fosfat yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman (Mukamto *et al.*, 2015). Genus bakteri *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* adalah sebagian dari kelompok bakteri

pelarut fosfat yang memiliki kemampuan tinggi sebagai *biofertilizer* (Widawati dan Suliasih, 2005). *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* adalah kelompok bakteri pemacu pertumbuhan tanaman yang dapat hidup pada tanah dalam kondisi salin (Vimal *et al.*, 2018). *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* memiliki kemampuan untuk bertahan hidup pada lingkungan dengan salinitas 28,2 hingga 29,6% dan pH antara 7,8 hingga 8,2 (Seshadri *et al.*, 2002). Aplikasi bakteri pelarut fosfat mampu meningkatkan ketersediaan fosfat pada tanah salin (Jiang *et al.*, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk menguji aktivitas dari bakteri pelarut fosfat terhadap kelarutan fosfat pada tanah salin.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan bulan Agustus 2020 hingga Juni 2021 di Laboratorium Biologi Tanah, Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Penelitian menggunakan dua isolat bakteri pelarut fosfat yaitu *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus vaezensis* (Koleksi Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember) (Tabel 1). Tanah salin Inceptisol dari Kecamatan Banongan dan Kecamatan Agel Kabupaten Situbondo. Bahan-bahan yang digunakan adalah media Pikovskaya agar, media Pikovskaya cair, *nutrient broth* (NB), ekstrak Olsen, KOH, NaCl, aquades, alkohol 70% dan bahan analisis lainnya.

Uji bakteri pelarut fosfat pada kondisi salin media padat Pikovskaya

Uji salinitas kualitatif menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF), terdiri atas dua factor yaitu (1) Faktor Konsentrasi NaCl (K): 0%, 0,3%, 0,5%, dan 1% NaCl dan (2) Faktor Isolat (P): P1 (*Pseudomonas sp.*) dan P2 (*Bacillus vaezensis*). Setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga terdapat 24 satuan percobaan. Pada setiap cawan petri dinokulasi dengan bakteri pelarut fosfat sesuai perlakuan, dan diinkubasi selama 10 hari.

Tabel 1. Karakteristik morfologi koloni dan sel isolat bakteri pelarut fosfat.

Isolat	Karakter					
	Karakter Optik	Bentuk koloni	tepi koloni	Warna Koloni	Elevasi	Gram
<i>Pseudomonas sp.</i>	Opaque	Circular	Entire	Putih susu	Flat	Negatif
<i>Bacillus vaezensis</i>	Opaque	Circular	Entire	Krem-putih	Flat	Positif

Pengamatan dilakukan dengan mengukur diameter koloni dan zona bening. Indeks kelarutan fosfat dihitung dengan rumus menurut Duangpaeng *et al.* (2013) sebagai berikut:

$$SI = \frac{\text{Diameter Koloni} + \text{Diameter Halozone}}{\text{Diameter Koloni}}$$

Uji bakteri pelarut fosfat pada media cair Pikovskaya kondisi salin

Uji salinitas pada media cair Pikovskaya menggunakan desain rancangan yang sama dengan uji kualitatif pada media padat, namun dengan peningkatan konsentrasi NaCl yaitu: konsentrasi NaCl 0%, 1%, 2%, dan 3%. Isolat bakteri pelarut fosfat *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valeszensis* masing-masing ditumbuhkan pada media *Nutrient Broth* (NB) sebanyak 100 mL. Inokulasi bakteri sebanyak 2,5 mL NB dengan kerapatan sel $17,27 \times 10^7$ CFU mL⁻¹ hingga $32,77 \times 10^7$ CFU mL⁻¹ pada 50 mL media Pikovskaya steril dengan konsentrasi NaCl 0%, 1%, 2%, dan 3% sesuai dengan perlakuan. Pengukuran pH H₂O, daya hantar listrik, fosfat larut air, dan fosfat larut Bray (Balittanah, 2009) setiap 5 hari sekali selama 15 hari masa inkubasi. Dilakukan penggojokan pada orbital shaker setiap hari pada putaran 100 rpm.

Karakteristik tanah

Tanah salin yang digunakan dalam penelitian tergolong ke dalam ordo Inceptisol diperoleh

dari Kabupaten Situbondo yaitu Kecamatan Agel dan Kecamatan Banongan. Analisis dasar tanah dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur hara tanah (Tabel 2).

Uji aktivitas bakteri pelarut fosfat pada tanah salin

Uji aktivitas bakteri pelarut fosfat pada tanah salin menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF) terdiri atas 2 Faktor yaitu: Tanah salin yaitu: (A) salin Agel dan (B) Salin Banongan; dan Inokulasi BPF yaitu: P0 (tanpa inokulasi); (P1) *Pseudomonas sp* dan (P2) *Bacillus valeszensis*; masing-masing diulang sebanyak 3 kali sehingga terdiri atas 18 satuan percobaan. Sebanyak 250 gram tanah salin steril lolos ayakan 20 mesh diinokulasi dengan bakteri pelarut fosfat *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valeszensis* yang telah ditumbuhkan pada media *Nutrient Broth* sebanyak 5,0 mL dengan kerapatan $\pm 49,1 \times 10^8$ hingga $65,9 \times 10^8$ CFU. Inkubasi dilakukan selama 30 hari dengan menjaga kondisi tanah pada $\pm 80\%$ kapasitas lapangan. Pengamatan dilakukan secara regular setiap 10 hari selama 30 hari masa inkubasi meliputi pengukuran pH H₂O, P total, dan P₂O₅ Olsen (Balittanah, 2009). Aktivitas bakteri diamati dengan mengukur respirasi tanah pada hari ke-3, 7, 14, 21, dan 28, serta penghitungan populasi bakteri hari ke 30 masa inkubasi dengan menggunakan metode modifikasi Verstraete (Anas, 1989).

Tabel 2. Hasil analisis dasar tanah.

Parameter	Inceptisol Salin Banongan		Inceptisol Salin Agel	
	Nilai	Kriteria	Nilai	Kriteria
pH H ₂ O	6,64	Netral	7,38	Netral
Daya Hantar Listrik (dS m ⁻¹)	5,87	Sedang	6,23	Sedang
Exchangeable Sodium Percentage (%)**	39,45	-	18,79	-
Sodium Adsorption Ratio (%)**	4,79	-	5,52	-
C organik (%)	1,71	Rendah	0,33	Sangat Rendah
P ₂ O ₅ Olsen (ppm)	7,15	Rendah	12,44	Sedang
P ₂ O ₅ HCl 25% (mg 100 g ⁻¹)	120,26	Sangat Tinggi	112,64	Sangat Tinggi
Ca ⁺⁺ (me 100 g ⁻¹)	1,96	Sangat Rendah	1,72	Sangat Rendah
Mg ⁺⁺ (me 100 g ⁻¹)	2,72	Tinggi	2,95	Tinggi
K ⁺ (me 100 g ⁻¹)	1,56	Sangat Tinggi	1,69	Sangat Tinggi
Na ⁺ (me 100 g ⁻¹)	7,33	Sangat Tinggi	8,43	Sangat Tinggi
KTK/CEC (me 100 g ⁻¹)	18,58	Sedang	44,85	Sangat Tinggi

*) Keterangan: Kriteria berdasarkan Balai Penelitian Tanah (2009); **) Perhitungan berdasarkan USDA (1954).

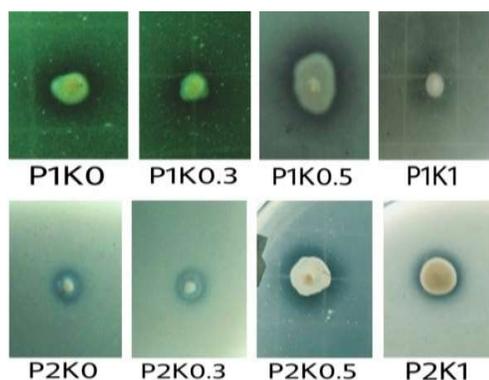
Analisis data

Analisis data dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan dengan menggunakan sidik ragam. Apabila terdapat pengaruh nyata terhadap parameter maka dilanjutkan uji lanjut dengan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) taraf 5%. Uji korelasi menggunakan metode korelasi *pearson*.

Hasil dan Pembahasan

Uji bakteri pelarut fosfat pada kondisi salin secara kualitatif

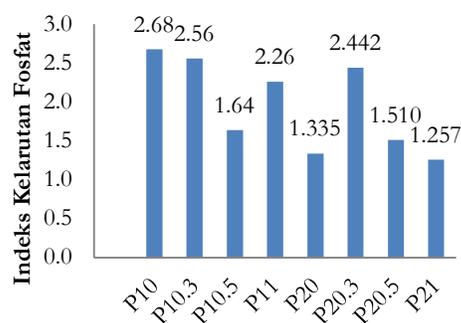
Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kedua isolat BPF mampu melarutkan fosfat secara kualitatif pada media Pikovskaya padat (Gambar 1).



Gambar 1. Pertumbuhan bakteri pelarut fosfat pada pikovskaya dengan beberapa konsentrasi NaCl. Keterangan : P1 (*Pseudomonas sp.*); P2 (*Bacillus valeszensis*); K0 (Pikovskaya NaCl 0%); K0.3 (Pikovskaya NaCl 0,3%); K0.5 (Pikovskaya NaCl 0,5%); K1 (Pikovskaya NaCl 1%).

Kemampuan pelarutan fosfat pada media padat diidentifikasi dengan adanya zona bening yang terbentuk di sekitar koloni bakteri. Menurut Oksana *et al.* (2020) zona bening merupakan bentuk adanya asam organik yang diekskresikan oleh bakteri kemudian berikatan dengan ion Ca dari sumber $Ca_3(PO_4)_2$ pada media Pikovskaya dan membebaskan ion fosfat ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-}) sehingga membentuk area yang berwarna jernih. Kemampuan pelarutan fosfat dalam kategori tinggi apabila memiliki nilai indeks kelarutan fosfat >4, sedang 2-4, dan rendah <2 (Marra *et al.*, 2011). Perlakuan P10, P10.3, P11, dan P20.3 (Gambar 2) memiliki

kemampuan pelarutan fosfat sedang. Sementara itu, pada perlakuan P10.5, P20, P20.5, dan P21 (Gambar 2) memiliki kemampuan pelarutan yang rendah. Kecepatan pelarutan memiliki kategori cepat apabila mampu melarutkan kurang dari 3 hari masa inkubasi, lambat lebih dari 3 hari masa inkubasi, dan tidak dapat melarutkan apabila tidak menunjukkan adanya pelarutan selama 15 hari masa inkubasi (Marra *et al.*, 2011). Isolat *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* yang ditumbuhkan pada pikovskaya padat konsentrasi NaCl 0%, 0,3%, 0,5%, dan 1% memiliki kecepatan pelarutan cepat.



Gambar 2. Nilai indeks kelarutan fosfat. Keterangan : P1 (*Pseudomonas sp.*); P2 (*Bacillus valeszensis*); K0 (Pikovskaya NaCl 0%); K0.3 (Pikovskaya NaCl 0,3%); K0.5 (Pikovskaya NaCl 0,5%); K1 (Pikovskaya NaCl 1%).

Zona bening tidak dapat menentukan jumlah fosfat terlarut yang dihasilkan oleh bakteri. Adanya zona bening yang terbentuk hanya dapat mengetahui bahwa bakteri mampu dalam melarutkan fosfat. Menurut Selvi *et al.* (2017) setiap bakteri pelarut fosfat yang diuji secara kualitatif dan kuantitatif menunjukkan kemampuan dalam meningkatkan kelarutan fosfat yang berbeda. Bakteri pelarut fosfat dalam aktivitas metabolisme menghasilkan asam-asam organik antara lain oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat, α -ketoglutarat, asetat, formiat, propionate, glikolat, glutamate, gliksilat, malat, fumarat (Banik *et al.*, 1982). Asam-asam organik memiliki perbedaan kualitas dan kuantitas dalam membebaskan fosfat (Soepardi, 1983). Asam-asam organik memiliki kemampuan untuk melarutkan fosfat dari yang terkuat sampai terlemah sebagai berikut sitrat>oksalat>tartar>malat>HCl (Kim *et al.*, 1997). Asam organik yang paling banyak diproduksi oleh *Pseudomonas*

sp. adalah glukonat, ketoglukonat, oksalat, malat, laktat, suksinat, dan dalam jumlah kecil asam format dan asam sitrat (Rashid *et al.*, 2004). *Bacillus sp.* banyak memproduksi asam organik berupa glukonat, asetat, suksinat, dan propionate (Sacid *et al.*, 2018).

Uji bakteri pelarut fosfat pada kondisi salin secara kuantitatif

pH media Pikovskaya

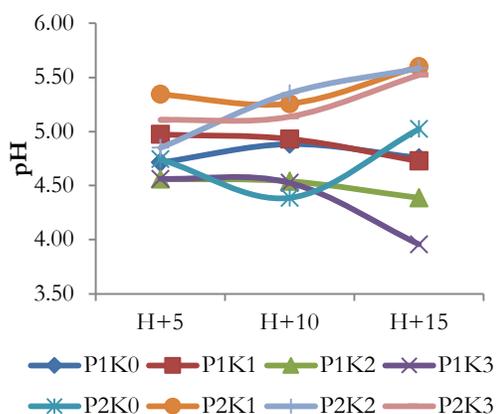
Terdapat interaksi berbeda tidak nyata pada perlakuan *Pseudomonas sp.* terhadap konsentrasi NaCl yang berbeda (Tabel 3). Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa pada perlakuan *Pseudomonas sp.* peningkatan konsentrasi NaCl dari 0% hingga 3% tidak berpengaruh signifikan pada variabel pH. Sementara itu, terdapat interaksi yang nyata pada perlakuan

Bacillus valezensis pada konsentrasi NaCl yang berbeda. Perlakuan *Bacillus valezensis* dengan konsentrasi NaCl 0% memiliki pengaruh berbeda nyata dengan konsentrasi NaCl 1%, 2%, dan 3%, yang menunjukkan pada *Bacillus valezensis* peningkatan konsentrasi NaCl dari 0%, 1%, 2%, dan 3% memberikan pengaruh signifikan terhadap variabel pH. Perubahan pH cenderung fluktuatif untuk semua perlakuan (Gambar 3). Perbedaan nilai pH pada masing – masing perlakuan dapat disebabkan kemampuan bakteri dalam menghasilkan asam – asam organik. Penurunan pH menunjukkan bahwa adanya produksi asam-asam organik oleh bakteri. Peningkatan pH terjadi karena asam-asam organik yang dihasilkan bakteri mampu melepas ikatan fosfat dan menghasilkan ion Ca²⁺ pada larutan sehingga mengalami peningkatan pH.

Tabel 3. Interaksi bakteri pelarut fosfat dan konsentrasi NaCl pada variabel pH.

Konsentrasi NaCl (K)	Bakteri Pelarut Fosfat (B)	
	P1 (<i>Pseudomonas sp.</i>)	P2 (<i>Bacillus valezensis</i>)
K0 (NaCl 0%)	4,88 a A	4,39 b A
K1 (NaCl 1%)	4,93 a A	5,26 a A
K2 (NaCl 2%)	4,54 a B	5,35 a A
K3 (NaCl 3%)	4,53 a B	5,14 a A

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%. Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%.



Gambar 3. Perubahan pH.

Fosfat larut air

Hasil uji DMRT 5% (Tabel 4) menunjukkan terdapat interaksi nyata pada perlakuan *Pseudomonas sp.* terhadap konsentrasi NaCl yang berbeda. Pada perlakuan *Pseudomonas sp.*, konsentrasi NaCl 0% berbeda nyata dengan konsentrasi NaCl 1%, 2%, dan 3%. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada *Pseudomonas sp.* peningkatan konsentrasi NaCl 0%, 1%, 2%, dan 3% memberikan pengaruh signifikan pada variabel fosfat larut air. Sementara itu, terdapat interaksi nyata pada perlakuan *Bacillus valezensis* terhadap konsentrasi NaCl yang berbeda. Pada perlakuan *Bacillus valezensis*, konsentrasi NaCl 0% berbeda nyata dengan konsentrasi NaCl 1%,

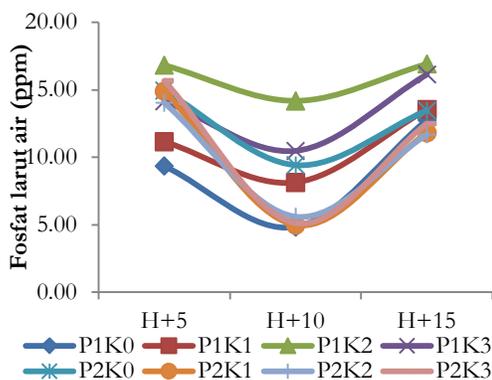
2%, dan 3%. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada perlakuan *Bacillus vazezensis* peningkatan konsentrasi NaCl berpengaruh signifikan terhadap variabel fosfat larut air. Grafik

perubahan fosfat larut air (Gambar 4) menunjukkan bahwa pada H+10 terjadi penurunan fosfat larut air dan pada H+15 terjadi peningkatan fosfat larut air.

Tabel 4. Interaksi konsentrasi NaCl dan bakteri pelarut fosfat pada variabel fosfat larut air.

Konsentrasi NaCl (K)	Bakteri Pelarut Fosfat (B)	
	P1 (<i>Pseudomonas sp.</i>)	P2 (<i>Bacillus vazezensis</i>)
K0 (NaCl 0%)	4,84 c B	9,42 a A
K1 (NaCl 1%)	8,15 b A	4,98 b B
K2 (NaCl 2%)	14,18 a A	5,61 b B
K3 (NaCl 3%)	10,48 b A	5,14 b B

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%. Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%..



Gambar 4. Perubahan fosfat larut air.

Penurunan fosfat larut air dapat disebabkan oleh proses adsorpsi dalam larutan yaitu suatu proses penyerapan ion fosfat dari larutan pada permukaan padatan yang menyebabkan fosfat larut air mengalami penurunan. Peningkatan fosfat larut air dapat disebabkan oleh proses desorpsi ion fosfat yaitu proses pelepasan ion fosfat dari permukaan mineral yang disebabkan oleh aktivitas bakteri pelarut fosfat dalam menghasilkan asam- asam organik.

Fosfat larut Bray

Hasil uji DMRT 5% (Tabel 5) menunjukkan terdapat interaksi berbeda tidak nyata pada perlakuan *Pseudomonas sp.* terhadap konsentrasi

NaCl yang berbeda. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa pada *Pseudomonas sp.* peningkatan konsentrasi NaCl 0%, 1%, 2% dan 3% tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel fosfat larut Bray. Sementara itu, terdapat interaksi nyata pada perlakuan *Bacillus vazezensis* terhadap konsentrasi NaCl yang berbeda. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaCl 0%, 1%, 2%, dan 3% memberikan pengaruh signifikan terhadap aktivitas bakteri *Bacillus vazezensis* pada variabel fosfat larut Bray.

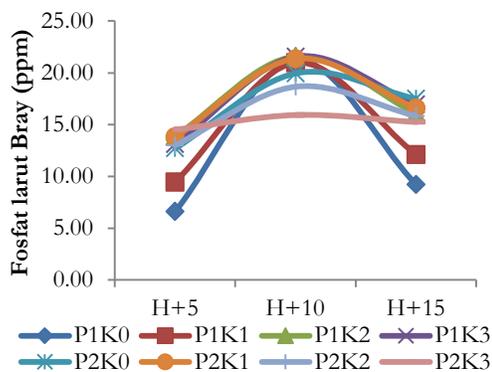
Terjadi peningkatan fosfat larut Bray pada H+10 dan penurunan fosfat larut Bray pada H+15 (Gambar 5). Peningkatan fosfat dapat terjadi karena adanya proses pelarutan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia oleh bakteri pelarut fosfat. Penurunan fosfat larut Bray dapat terjadi karena sumber fosfat pada media yang akan dimanfaatkan bakteri dalam aktivitasnya telah berkurang sehingga dapat menurunkan kadar fosfat terlarut pada media. Penurunan pelarutan fosfat pada kondisi lingkungan yang tinggi kadar garam dapat dijelaskan karena efek merugikan dari garam untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan yang berakibat pada hilangnya efisiensi pelarutan dan netralisasi proton dengan ion klorida menghasilkan penurunan aktivitas pelarutan (Mussarat *et al.*, 2014).

Tabel 5. Interaksi konsentrasi NaCl dan bakteri pelarut fosfat pada variabel fosfat larut Bray.

Kadar NaCl (K)	Bakteri Pelarut Fosfat (B)	
	P1 (<i>Pseudomonas sp.</i>)	P2 (<i>Bacillus valezensis</i>)
K0 (NaCl 0%)	21,18 a	19,96 ab
	A	A
K1 (NaCl 1%)	20,96 a	21,35 a
	A	A
K2 (NaCl 2%)	21,58 a	18,65 b
	A	B
K3 (NaCl 3%)	21,55 a	15,91 c
	A	B

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%. Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%.

Penurunan populasi mikroba dengan meningkatnya konsentrasi NaCl dapat dikaitkan dengan penurunan aktivitas cairan sitoplasma mikroba disebabkan oleh paparan organisme terhadap kondisi tekanan osmotik tinggi (Fidya *et al.*, 2017). Bakteri yang dikembangkan pada lingkungan yang memiliki kadar garam tinggi akan mengalami hiperosmolaritas yang dapat menyebabkan penurunan aktivitas sel bakteri.



Gambar 5. Perubahan fosfat larut Bray.

NaCl dapat meningkatkan osmolaritas pada media Pikovskaya sehingga cairan intraseluler (sitoplasma) menjadi berkurang (Srinivasan *et al.*, 2012). Media pikovskaya konsentrasi NaCl 0% setara dengan daya hantar listrik sebesar 0,46 dscm⁻¹ dan konsentrasi NaCl 3% setara dengan daya hantar listrik sebesar 27,76 ds cm⁻¹. Hasil analisis fosfat larut air dan fosfat larut Bray menunjukkan bahwa bakteri pelarut fosfat baik isolat *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valezensis* masih dalam kondisi optimal dalam melarutkan fosfat dengan daya hantar listrik 0,46 ds cm⁻¹ hingga

27,76 ds cm⁻¹. pH dan fosfat larut air berkorelasi negative dengan hubungan yang cukup kuat ($r=0,576$). pH media dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri pelarut fosfat sehingga berpengaruh terhadap hasil fosfat larut air. pH dan fosfat larut Bray tidak berkorelasi dengan hubungan yang sangat lemah ($r=0,009$). Pengekstrak Bray yang digunakan pada analisis fosfat larut Bray tidak hanya menyerap ion fosfat yang terdapat pada larutan namun juga menyerap ion fosfat yang terdapat pada permukaan mineral.

Uji aktivitas bakteri pelarut fosfat pada tanah salin

pH tanah

Hasil uji DMRT 5% (Tabel 6) menunjukkan terdapat interaksi nyata pada perlakuan tanah salin terhadap bakteri pelarut fosfat yang berbeda. Pada perlakuan inceptisol banongan terdapat interaksi berbeda tidak nyata antara perlakuan kontrol, *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valezensis* terhadap variabel pH tanah. Hal tersebut menunjukkan bahwa antara perlakuan kontrol, *Pseudomonas sp.*, dan *Bacillus valezensis* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel pH. Sementara itu, pada inceptisol agel terdapat interaksi berbeda nyata antara perlakuan kontrol, *Pseudomonas sp.*, dan *Bacillus valezensis*. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan kontrol, *Pseudomonas sp.*, dan *Bacillus valezensis* memberikan pengaruh berbeda signifikan pada variabel pH. Perbedaan nilai pH dapat disebabkan oleh aktivitas bakteri dan dapat disebabkan oleh pH awal masing-masing

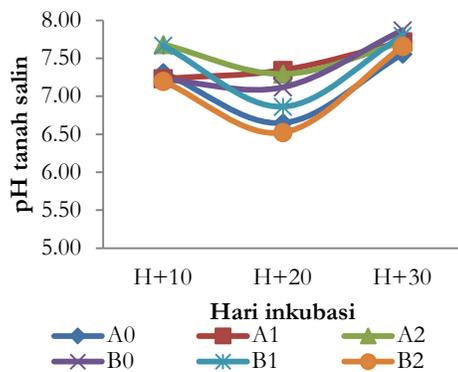
tanah yang digunakan memiliki perbedaan. Grafik perubahan pH tanah menunjukkan bahwa pH tanah mengalami fluktuasi (Gambar 6) setelah aplikasi bakteri pelarut fosfat. pH tanah mengalami penurunan pada H+20 masa inkubasi yang dapat disebabkan oleh sekresi

asam – asam organik oleh bakteri pelarut fosfat. Kondisi pH tanah berpengaruh terhadap aktivitas bakteri pelarut fosfat dalam tanah. Menurut Noviana *et al.* (2009) bakteri memiliki kriteria pH optimal untuk aktivitasnya yaitu antara 6,5-7,5.

Tabel 6. Interaksi tanah salin dan bakteri pelarut fosfat pada variabel pH.

Tanah Salin (T)	Bakteri Pelarut Fosfat (P)		
	Kontrol	<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Bacillus valezensis</i>
Inceptisol Banongan	7,56 b A	7,72 b A	7,71 a A
Inceptisol Agel	7,87 a A	7,80 a AB	7,66 a B

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%. Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%.



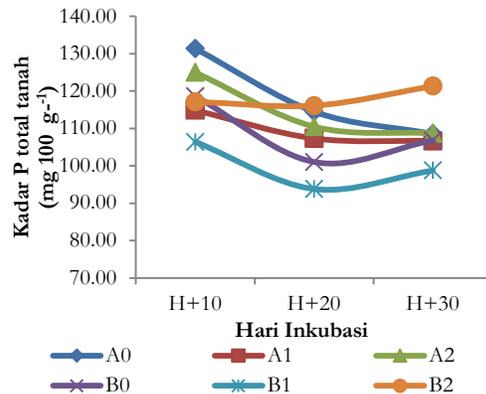
Gambar 6. Perubahan pH tanah Inceptisol salin. Keterangan : A : Inceptisol Banongan; B : Inceptisol Agel; 0 : kontrol; 1; *Pseudomonas sp.*; 2: *Bacillus valezensis*.

Beberapa spesies bakteri dapat tumbuh dalam keadaan sangat masam atau sangat alkalin. Nilai pH minimal dan maksimal untuk pertumbuhan bakteri adalah antara 4 dan 9. pH H₂O pada Inceptisol banongan adalah 6,64 dan inceptisol agel adalah 7,38 yang menunjukkan dalam kategori netral (Tabel 3) hal tersebut menunjukkan bahwa pH pada tanah yang digunakan masih dalam kondisi optimal untuk pertumbuhan bakteri pelarut fosfat.

P total tanah

Interaksi perlakuan tanah salin dan bakteri pelarut fosfat selama 30 hari masa inkubasi

memberikan pengaruh berbeda tidak nyata (Gambar 7). Penurunan P total tanah diduga karena adanya pembebasan ion fosfat tanah yang disebabkan oleh aplikasi bakteri pelarut fosfat. Meskipun terjadi pembebasan ion fosfat pada tanah namun antar perlakuan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan P total tanah.



Gambar 7. Perubahan P total Inceptisol salin. Keterangan : A : Inceptisol Banongan; B : Inceptisol Agel; 0 : kontrol; 1; *Pseudomonas sp.*; 2: *Bacillus valezensis*.

P tersedia tanah

Hasil uji DMRT 5% (Tabel 7) menunjukkan bahwa terdapat interaksi berbeda nyata pada inceptisol banongan terhadap bakteri pelarut fosfat yang berbeda. Pada perlakuan Inceptisol banongan terdapat interaksi berbeda nyata pada

perlakuan kontrol, *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valesensis*. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa pemberian perlakuan kontrol, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus valesensis* memberikan pengaruh berbeda signifikan terhadap variabel P tersedia tanah. Pada Inceptisol Agel

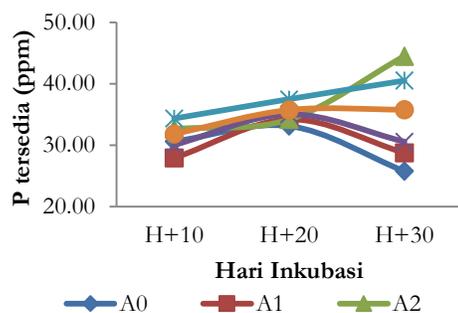
menunjukkan interaksi berbeda tidak nyata pada perlakuan kontrol, *Pseudomonas sp.*, dan *Bacillus valesensis*. Hal tersebut menunjukkan bahwa aplikasi kontrol, *Pseudomonas sp.*, dan *Bacillus valesensis* tidak memiliki perbedaan signifikan terhadap variabel P tersedia tanah.

Tabel 7. Interaksi Inceptisol salin dan bakteri pelarut fosfat pada variabel P tersedia H+30.

Tanah Salin (T)	Bakteri Pelarut Fosfat (B)		
	Kontrol	<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Bacillus valesensis</i>
Inceptisl Banongan	25,75 a B	28,74 a AB	44,52 a A
Inceptisol Agel	30,55 a A	40,55 a A	35,78 a A

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%. Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata menurut uji DMRT 5%.

Grafik perubahan P tersedia tanah (Gambar 8) menunjukkan bahwa P tersedia tanah selama 30 hari masa inkubasi bersifat fluktuatif. Peningkatan P tersedia tanah yang terjadi pada beberapa perlakuan pada H+20 hingga H+30 menunjukkan bahwa masih terdapat aktivitas bakteri pelarut fosfat dalam meningkatkan P tersedia tanah.



Gambar 8. Perubahan P tersedia Inceptisol salin. Keterangan : A : Inceptisol Banongan; B : Inceptisol Agel; 0 : kontrol; 1; *Pseudomonas sp.*; 2: *Bacillus valesensis*.

Penurunan P tersedia tanah yang terjadi pada beberapa perlakuan diduga dapat terjadi karena aktivitas bakteri telah menurun karena nutrisi pada tanah telah menurun. pH dan P tersedia tanah tidak berkorelasi dengan hubungan yang lemah ($r=0,365$). Kondisi pH tanah yang digunakan selama penelitian kondisi netral. pH yang netral sesuai untuk aktivitas bakteri pelarut fosfat. Daya hantar listrik dan P tersedia tidak terdapat korelasi dengan hubungan negative yang lemah ($r=0,240$). Bakteri pelarut fosfat masih optimal dan mampu dalam melarutkan fosfat dalam kondisi daya hantar listrik setara $1,27 \text{ ds m}^{-1}$ hingga 3% setara $24, 5 \text{ ds m}^{-1}$ pada uji salinitas.

Populasi bakteri dan laju respirasi tanah

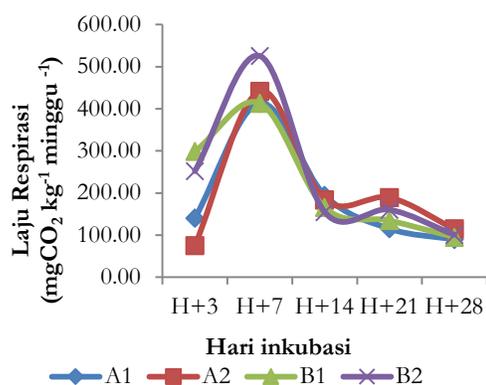
Populasi bakteri dan laju respirasi tanah menurun selama masa inkubasi (Tabel 8) dapat disebabkan oleh kandungan bahan organik pada masing-masing tanah yang dalam kategori rendah (Gambar 9).

Tabel 8. Populasi bakteri pelarut fosfat pada akhir masa inkubasi.

Perlakuan	Satuan	Populasi Awal	Populasi H+30
A1	(CFU g^{-1})	$49,1 \times 10^8$	$18,56 \times 10^8$
A2	(CFU g^{-1})	$65,9 \times 10^8$	$11,26 \times 10^8$
B1	(CFU g^{-1})	$49,1 \times 10^8$	$7,84 \times 10^8$
B2	(CFU g^{-1})	$65,9 \times 10^8$	$18,72 \times 10^8$

Keterangan : A : Inceptisol Banongan; B : Inceptisol Agel; 1 : *Pseudomonas sp.*; 2: *Bacillus valesensis*.

Inceptisol Banongan memiliki kandungan C organik 1,71% (rendah) dan Inceptisol Agel 0,33% (sangat rendah). C organik yang rendah dapat menyebabkan bakteri kekurangan nutrisi untuk bertahan hidup. Menurut Lukmansyah *et al.* (2020) kandungan C organik yang rendah memiliki pengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme tanah. C organik adalah sumber energy bagi mikroorganisme tanah dalam melakukan aktivitas hidup. Aktivitas mikroorganisme yang menurun dapat menyebabkan laju respirasi menurun.



Gambar 9. Laju respirasi tanah. Keterangan : A : Inceptisol Banongan; B : Inceptisol Agel; 0 : kontrol; 1; *Pseudomonas sp.*; 2: *Bacillus valeszensis*.

Pembahasan

Bakteri yang mampu hidup dalam kondisi salin dapat membangun mekanisme molekuler untuk bertahan hidup dan tumbuh semakin meningkatnya salinitas (Tripathi *et al.*, 2002). Bakteri memiliki kemampuan dalam mengimbangi tekanan osmotik ekstraseluler yang jauh lebih tinggi.

Bakteri secara biokimia memiliki kemampuan mengakumulasi polisakarida, peptide, protein, dan senyawa-senyawa organik lain seperti gliserol, glisin, betain untuk menjaga kesetimbangan osmotik selnya (Malik, 2019). Selain itu, menurut Gonzales *et al.* (2004) terdapat mekanisme lain dalam mempertahankan kesetimbangan osmotik bakteri yaitu dengan memanfaatkan pertukaran ion dengan mengakumulasi kation K⁺ pada intraselulernya dan menukarnya dengan memompa ion Na⁺ dari dalam sel bakteri. Aplikasi bakteri pelarut fosfat *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus valeszensis* mampu meningkatkan

ketersediaan fosfat pada tanah inceptisol banongan dan inceptisol agel. Kandungan P Tersedia pada inceptisol Banongan mengalami peningkatan sebesar 11,61% dari 25,75 ppm menjadi 28,74 ppm untuk isolat *Pseudomonas sp.* dan sebesar 72,89% dari 25,75 ppm menjadi 44,52 ppm untuk isolat *Bacillus valeszensis*. Kandungan P tersedia pada inceptisol Agel mengalami peningkatan sebesar 32,72% dari 30,55 ppm menjadi 40,55 ppm untuk isolat *Pseudomonas sp.* dan sebesar 17,12% dari 30,55 ppm menjadi 35,78 ppm isolat *Bacillus valeszensis*. Aktivitas bakteri pelarut fosfat juga dapat diidentifikasi melalui respirasi tanah. Menurut Doran (1997), aktivitas respirasi tanah dibagi menjadi lima kategori yaitu aktivitas sangat rendah (<300 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹), aktivitas menengah (300-500 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹), aktivitas sedang (500-1000 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹), aktivitas ideal (1000-2000 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹), aktivitas tinggi (>2000 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹). Aktivitas respirasi tanah salin untuk semua perlakuan mengalami hasil paling tinggi pada H+7 masa inkubasi.

Inceptisol Banongan pada H+7 masa inkubasi perlakuan *Pseudomonas sp.* memiliki laju respirasi 413,33 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹ dan perlakuan *Bacillus valeszensis* sebesar 441,40 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹. Pada Inceptisol Agel pada H+7 masa inkubasi perlakuan *Pseudomonas sp.* memiliki laju respirasi 413,33 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹ dan perlakuan *Bacillus valeszensis* sebesar 525,61 mg CO₂ kg⁻¹ minggu⁻¹. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk inceptisol banongan perlakuan *Pseudomonas sp.* dan perlakuan *Bacillus valeszensis*, dan inceptisol agel perlakuan *Pseudomonas sp.* memiliki aktivitas menengah. Sementara itu pada Inceptisol Agel perlakuan *Bacillus valeszensis* memiliki aktivitas sedang. Aktivitas respirasi menengah menunjukkan bahwa tanah merupakan tanah marginal yang rendah aktivitas biologi dan bahan organik. Aktivitas respirasi sedang menunjukkan bahwa tanah dalam kondisi seimbang dan telah mendapatkan penambahan bahan organik.

Kesimpulan

Aplikasi bakteri pelarut fosfat mampu meningkatkan ketersediaan fosfat pada tanah salin. Kandungan P Tersedia pada inceptisol

Banongan mengalami peningkatan sebesar 11,61% dari 25,75 ppm menjadi 28,74 ppm untuk isolat *Pseudomonas sp.* dan sebesar 72,89% dari 25,75 ppm menjadi 44,52 ppm untuk isolat *Bacillus valeszensis*. Kandungan P tersedia inceptisol Agel mengalami peningkatan sebesar 32,72% dari 30,55 ppm menjadi 40,55 ppm untuk isolat *Pseudomonas sp.* dan sebesar 17,12% dari 30,55 ppm menjadi 35,78 ppm isolat *Bacillus valeszensis*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Jember atas dukungan pendanaan melalui penelitian Hibah Pendamping IDB Tahun 2020/2021, pranata Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, dan seluruh tim yang terlibat dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

Anas, I. 1989. Biologi tanah dalam praktek : petunjuk laboratorium. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pusat IPB, Bogor.

Balai Penelitian Tanah. 2009. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Bogor. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.

Banik, S. and Dey, B.K. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate solubilizing micro-organisms. *Plant and Soil* 69:353-364, doi:10.1007/BF02372456.

Doran, J.W., Kettler, T. and Tsivou, M. 1997. Field and Laboratory Solvita Soil Test Evaluation Nov. 19, 1997 University of Nebraska USDA-ARS

Duangpaeng A., Phetcharat, P., Chanthapo, S. and Okuda, N. 2013. Screening of endophyte bacteria for phosphate solubilization from organic rice. *Proceeding-Science and Engineering* 61-66.

Fidya A.P., Sofyan, E.T. dan Fitriatin, B.N. 2017. Aplikasi konsorsium pupuk hayati terhadap populasi bakteri pelarut fosfat dan bobot kering padi (*Oryza sativa L.*) pada beberapa tingkat salinitas. *Agroekotek* 9(1):61-67.

Gonzalez-Hernandez, J.C., Cardenas-Monroy, C.A. and Pena, A. 2004. Sodium and potassium transport in the halophilic yeast *Debaryomyces hansenii*. *Yeast* 231(5):403-412, doi:10.1002/yea.1108.

Jiang, H., Qi, P., Wang, T., Chi, X., Wang, M., Chen, M., Chen, N. and Pan, L. 2018. Role of

halotolerant phosphate solubilizing bacteria on growth promotion of peanut (*Arachis hypogaea*) under saline soil. *Annals of Applied Biology* 1-11, doi:10.1111/aab.12473.

Kim, K.Y., McDonald, G.A. and D. Jordan, D. 1997. Solubilization of hydroxyapatite by *Enterobacter agglomerans* and cloned *Escheria coli* in culture medium. *Biology and Fertility of Soils* 24:3347-3352, doi: 10.1007/s003740050256.

Larasati, E.D., Rukmi, M.G.I., Kusdiyantini, E. dan Ginting, R.C.B. 2018. Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat dari tanah gambut. *Bioma* 20(2):1-8.

Lukmansyah, A., Niswati, A., Buchari, H. dan Salam, A.K. 2020. Pengaruh asam humat dan pemupukan p terhadap respirasi tanah pada pertanaman jagung di tanah Ultisol. *Jurnal Agrotek Tropika* 8(3):527-535, doi: 10.23960/jat.v8i3.4529.

Malik, R.A., Nilawati, Handayani, N.I., Rame, Djayanti, S., Pratiwi, N.I. dan Setianingsih, N.I. 2019. Aplikasi bakteri halofilik berwarna merah terimmobilisasi dalam meningkatkan kualitas garam dalam proses produksi garam berbasis air laut. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek*. 224-231.

Marra., L.M., de Oliveira, S.M., Soares, C.R.F.S. and de Souza Moreira, F.M. 2011. Solubilisation of inorganic phosphate by inoculant strains from tropical legumes. *Science Agriculture* 68(5):603-609, doi:10.1590/S0103-90162011000500015.

Mukamto, M., Ulfah, S., Mahalina, W., Syaui, A., Istiqfaroh, L. dan Trimulyono, G. 2015. Isolasi dan karakterisasi *Bacillus sp.* pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman leguminosae. *Sains dan Matematika* 3(2):62-68.

Musarat, J. and Khan, M.S. 2014. Factors affecting phosphate solubilizing activity of microbes. *Springer* 63:85.

Noviana, L. dan Raharjo, B. 2009. Viabilitas rhizobakteri *Bacillus sp.* DUCC-BR-K1.3 pada media pembawa tanah gambut disubstitusi dengan padatan limbah cair kuindustri rokok. *Bioma* 11(1):30-39.

Nugraheni, I.T., Solichatun, S. dan Anggarwulan, A. 2003. Pertumbuhan dan akumulasi prolin tanaman orok – orok (*Crotalaria juncea L.*) pada salinitas CaCl₂ berbeda. *Biosmart* 5(2):98-101.

Oksana., Irfan, M., Fianiray, A.R. dan Zam, S.I. 2020. Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat pada tanah Kecamatan Rumbai, Pekanbaru. *Agrotechnology Research* 4(1):22-25, doi:10.20961/agrotechresj.v4i1.36063.

Rachman, A., Dariah, A. dan Sutono, S. 2018. Pengelolaan Sawah Salin Berkadar Garam Tinggi. Jakarta. IAARD Press.

- Rashid, M., Samina, K., Ayub, N., Sadia, A. and Latif, F. 2004. Organic acids production and phosphae solubilization by Phosphate Solubilizing Microorganisms (PSM) under *in vitro* conditions. Pakistan Journal of Biological Science 7(2):187-196, doi:10.3923/pjbs.2004.187.196.
- Saeid, A., Prochownik, E. and Iwanek, J.D. 2018. Phosphorus solubilization by *Bacillus* species. Molecules 23:2-18
- Selvi, K.B., Paul, J.J.A., Vijaya, V. and Saraswathi, K. 2017. Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques. Biochemistry and Molecular Biology Journal 3(1):1-7.
- Seshadri, S. and Ignacimuthu, S. 2002. Variations in hetertophic and phosphate solubilizing bacteria from Cennai, southeast coast of India. Indian Journal of Marine Science 31(1):69-72.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Institut Pertanian Bogor.
- Srinivasan, R., Yandigeri, M.S., Kashyap, A. and Alagawadi, A. 2021. Effect of salt on survival and P-solubilization potensial of phosphate solubilizing microorganisms from salt affected soils. Saudi Journal of Biological Sciences 19(4):427-434, doi:10.1016/j.sjbs.2012.05.004.
- Suharyani, S., Kusmiyati, F. dan Karno. 2012. Pengaruh metode perbaikan tanah salin terhadap serapan nitrogen dan fosfor rumput Brenggala (*Panicum maximum*). Animal Agriculture Journal 1(2):168-176.
- Suliasih dan Widawati, S. 2016. Pengaruh salinitas dan inokulan bakteri terhadap pertumbuhan tanaman terung (*Solanum melongena L.*). Berita Biologi 15(1):17-25, doi:10.21082/jhort.v25n3.2015.p222-228.
- Tripathi, A.K., Verma, S.C. and Ron, E.Z. 2002. Molecular characterization of a salt-tolerant bacterial community in the rice rhizosphere. Research in Microbiology 153:579-584, doi:10.1016/S0923-2508(02)01371-2.
- United States Fepartment of Agriculture. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Washington. United Stated Government Printing Office.
- Vimal, S.R., Gupta, J and Singh, J.S. 2018. Effect of salt tolerant *Bacillus sp.* and *Pseudomonas sp.* on wheat (*Triticum aestivum L.*) growth under soil salinity. Microbiology Research 9:26-32, doi:10.4081/mr.2018.7462.
- Widawati, S. dan Suliasih. 2005. Populasi bakteri pelarut fosfat (BPF) di Cikaniki, Gunung Botol, dan Ciptarasa, serta kemampuannya melarutkan P terikat di media Pikovskaya padat. Biodiversitas 7(2):109-113.