

APLIKASI BAKTERI PEMACU TUMBUH DAN AMELIORAN TERHADAP KETERSEDIAAN HARA P DAN K DI TANAH MASAM SERTA SERAPANNYA PADA TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.)

APPLICATION OF GROWTH-PROMOTING BACTERIA AND AMELIORANT ON AVAILABILITY OF P AND K IN ACIDIC SOILS AND THE RICE UPTAKE (*Oryza sativa* L.)

Tri Candra Setiawati¹, Salsabila Alifia Widinda^{1*}, Wiwik Hartatik²

¹Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, Jl. Kalimantan no 37, Jember 68121, Jawa Timur, Indonesia

²Balai Penelitian Tanah, Bogor, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Ciwaringin, Bogor Tengah 16114, Jawa Barat, Indonesia

*Korespondensi: salsabilalifiaw30.wow@gmail.com

Diterima : 26 Desember 2022 / Disetujui : 04 Juli 2023

ABSTRAK

Tanah masam merupakan tanah marginal dengan pH yang rendah, didominasi ion Al dan Fe yang dapat mengikat unsur hara esensial seperti P. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian bakteri pemacu tumbuh dan amelioran terhadap perbaikan sifat kimia tanah masam dan serapan hara P dan K tanaman padi. Pelaksanaan penelitian di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Jember pada November 2021 – April 2022 menggunakan Rancangan Acak Lengkap 2 faktor dan diulang tiga kali, faktor pertama Amelioran (A): bahan organik (A1), *gypsum* (A2), dolomit (A3), dan pupuk NPK (A4). Faktor kedua yaitu : (1) tanpa inokulasi bakteri (P0), (2) bakteri pelarut fosfat (BPF) (P1), (3) bakteri pelarut kalium (BPK) (P2), dan (4) kombinasi BPF dan BPK (P3). Spesies bakteri yang digunakan adalah *Bacillus valesensis* dan *Bacillus* sp.. Varietas padi yang digunakan adalah varietas padi lokal Pendok. Hasil penelitian menunjukkan tidak terdapat interaksi antara aplikasi bakteri pemacu tumbuh dan amelioran. Amelioran berpengaruh terhadap pH tanah, serta peningkatan kadar dan serapan hara fosfor pada jaringan tajuk tanaman padi. Perlakuan amelioran bahan organik dan *gypsum* meningkatkan kadar fosfor jaringan tanaman bagian tajuk sebesar 0,420% hingga 0,426%. Serapan hara P bagian tajuk meningkat hingga 27,59% pada penambahan amelioran *gypsum* dibanding penambahan pupuk NPK. Aplikasi bahan amelioran memberikan perubahan yang lebih nyata dibanding perlakuan inokulasi bakteri pemacu tumbuh.

Kata Kunci: amelioran, BPF, BPK, Tanah masam

ABSTRACT

Acidic soils are marginal soils with low pH, dominated by Al and Fe ions which can bind essential nutrients such as P. Dissolving P and K from sources in the soil can be accelerated by

microbial activity and ameliorant materials, also to improve nutrient availability and other soil properties. This study aimed to determine the effect of inoculation growth promoting bacteria and ameliorants to improve the chemical properties of acid soils and rice nutrient uptake of P and K. The research was conducted in greenhouse of Agriculture Faculty, Universitas Jember, from November 2021 – April 2022. It used a completely randomized design with two factors and three replications: ameliorant materials namely organic matter (A1), gypsum (A2), dolomite (A3), and NPK fertilizer (A4). The second factor was the inoculation of growth-promoting bacteria, namely without inoculation of bacteria (P0), phosphate solubilizing bacteria (PSB) (P1), potassium solubilizing bacteria (KSB) (P2), and a combination of PSB and KSB (P3). The bacterial species used were *Bacillus valesensis* and *Bacillus* sp.. The rice variety used was the local Pendok rice variety. The results showed no interaction between the application of growth-promoting bacteria and ameliorant. Ameliorant factor affected the increase in soil pH, the P concentration, and the uptake on the shoot of rice plants. The treatment of organic matter ameliorant and gypsum increased the phosphorus content of the plant canopy tissue by 0.420% to 0.426%. The P uptake of the rice plant shoot was increased by up to 27.59% with the addition of gypsum compared to the addition of NPK fertilizer.

Keywords: Acid soil, ameliorant, KSB, PSB

PENDAHULUAN

Tanah masam umumnya terbentuk dari bahan induk tua yang menyebabkan tanah memiliki tingkat kemasaman yang rendah (pH kurang dari 5,5). Persebaran tanah masam di Indonesia cukup luas. Dari 189,2 juta hektar mulai daerah dataran rendah hingga dataran tinggi di seluruh Indonesia, dengan iklim yang cenderung basah akibat curah hujan tinggi, topografi berlereng, dan erosi serta pencucian hara yang sangat intensif, hanya 108,8 juta hektar tanah masam memiliki potensi untuk digunakan sebagai lahan pertanian, akan tetapi terkendala oleh dominasi unsur Al dan Fe yang mampu mengikat unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman (Mulyani & Sarwani, 2013). Tingkat kemasaman tanah selain disebabkan oleh bahan induk pembentuknya juga dapat dipengaruhi oleh proses dekomposisi bahan organik, curah hujan yang tinggi sehingga mengakibatkan kation basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^{2+}) tercuci, serta sistem drainase yang kurang (Renneson *et al.*, 2010). Tanah yang masam dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia

tanah, pertumbuhan tanaman, pola ketersediaan unsur hara, merusak siklus dan aktivitas biokimia mikroba dalam tanah, serta meracuni tanaman (Nazir *et al.*, 2017). Unsur hara esensial yang dapat dengan mudah diikat oleh Al dan Fe adalah unsur fosfor.

Fosfor menjadi salah satu unsur penting bagi pertumbuhan tanaman. Fosfor merupakan unsur yang berperan dalam pertumbuhan vegetatif tanaman pada proses pembelahan sel, pembentukan tubuh (batang, akar, ranting, daun) tanaman, serta memperkokoh tubuh tanaman sehingga tidak mudah rebah (Liferdi, 2010). Konsentrasi total hara fosfor dalam tanah tergolong tinggi, tetapi hanya sebagian kecil yang mampu diserap tanaman karena pada tanah masam hara fosfor akan terikat dengan Al menjadi AlPO_4 . Tanaman umumnya menyerap hara fosfor dalam bentuk H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} (Patle *et al.*, 2021). Kalium merupakan hara yang berperan dalam proses perkembangan akar, pembentukan protein, merangsang pengisian biji, serta meningkatkan daya tahan tanaman dari serangan hama dan

penyakit (Mu'mi *et al.*, 2016. Ketersediaan hara kalium yang dapat diserap tanaman umumnya tidak banyak karena disebabkan rendahnya ketersediaan dalam tanah akibat sifatnya yang mudah bergerak (*mobile*), pencucian kalium oleh air, serta adanya erosi tanah. Kalium pada umumnya diserap tanaman dalam bentuk K^+ melalui proses pertukaran kation secara difusi akibat mengalirnya hara yang ada dalam tanah menuju ke akar (Subandi, 2013).

Tanaman padi (*Oryza sativa* L.) adalah komoditas tanaman pangan utama di Indonesia karena hampir sebagian besar masyarakat mengandalkan beras sebagai bahan pangan tinggi karbohidrat. Pengelolaan tanah masam sebagai lahan pertanian dilakukan untuk menyediakan lingkungan pertumbuhan yang baik bagi tanaman padi. Cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kesuburan tanah masam adalah dengan memberikan bahan pembenah tanah berupa bahan amelioran dan bakteri pemacu tumbuh.

Penambahan bahan amelioran menurut Zhang *et al.* (2017) mampu meningkatkan pH tanah, menurunkan konsentrasi Al^{3+} dan H^+ dapat ditukar, meningkatkan unsur hara yang tersedia dalam tanah seperti K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} , serta menghilangkan gugus asam karboksilat alifatik yang bersifat masam dalam tanah. Amelioran merupakan bahan yang dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kondisi tanah, termasuk pada tanah masam. Hasil penelitian Conteh *et al.* (2021) menggunakan amelioran Palm Kernel Cake (PKC) dengan lima taraf menunjukkan semakin besar dosis PKC dapat mengurangi kemasaman dan konsentrasi Al tertukar serta meningkatkan ketersediaan P pada tanah masam. Sedangkan penambahan bakteri pemacu tumbuh menurut Dutta dan Bora (2019)

mampu mengurasi toksisitas Al pada tanah masam, meningkatkan kandungan nitrogen dalam tanah, melarutkan hara yang tidak tersedia, serta mendorong pertumbuhan tanaman khususnya padi.

Bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran mampu memperbaiki kondisi tanah masam dengan kembali menyediakan hara fosfor yang tidak tersedia, karena kekurangan unsur hara fosfor dan kalium dapat menghambat pertumbuhan tanaman padi, bunga yang mudah rontok, dan rentan terhadap serangan penyakit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh interaksi aplikasi bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran untuk memperbaiki sifat kimia tanah masam serta untuk mengetahui kadar dan serapan hara P dan K pada tanaman padi.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Biologi Tanah, Laboratorium Kesuburan Tanah, dan Rumah Kaca PS Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jember sejak Juli 2021 hingga April 2022. Sampel tanah yang digunakan untuk setiap pot percobaan adalah 8 kg tanah masam Ultisol yang berasal dari Desa Sukajaya, Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor, Jawa Barat, sedangkan benih padi yang digunakan merupakan Varietas Pendok yang berasal dari Tuban, Jawa Timur, yang tidak spesifik tahan terhadap tanah yang masam. Bakteri pemacu tumbuh yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari *Bacillus vazezensis* sebagai BPF dan *Bacillus sp.*, sebagai BPK yang berasal dari koleksi Laboratorium Biologi Tanah, sedangkan bahan amelioran yang digunakan yaitu bahan organik 20g pot⁻¹, *gypsum* ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 8 g pot⁻¹, dolomit

(CaMg(CO₃)₂) 10 g pot⁻¹, dan pupuk NPK campuran yang terdiri dari pupuk urea 0,87 g pot⁻¹ pada pemberian pertama dan 0,4 g pot⁻¹ pada pemberian kedua, pupuk SP36 1,66 g pot⁻¹, dan pupuk KCl 0,86 g pot⁻¹, dengan berat tanah pada masing-masing pot adalah sebesar 8 kg.

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor perlakuan, yaitu (1) bahan amelioran yang terdiri dari (a) bahan organik, (b) *gypsum*, (c) dolomit, dan (d) pupuk campuran NPK, dan (2) bakteri pemacu tumbuh yang terdiri dari (a) tanpa bakteri, (b) bakteri pelarut fosfat (BPF), (c) bakteri pelarut kalium (BPK), dan (d) kombinasi BPF dan BPK, dengan 3 kali pengulangan pada setiap perlakuan. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini antara lain pH tanah, C-organik (Walkey-Black), P-tersedia tanah (Bray I), K tersedia tanah (ekstrak NH₄OAc), serta kadar dan serapan hara jaringan tajuk dan akar tanama padi dengan destruksi basah sesuai dengan petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk (Balai Penelitian Tanah, 2009). Data hasil analisis setiap parameter diuji menggunakan sidik ragam, dan dilanjutkan dengan uji lanjut menggunakan DMRT 5% apabila terdapat pengaruh yang nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Awal Tanah

Penelitian menggunakan tanah masam Ultisol yang berasal dari Bogor, Jawa Barat dengan nilai pH awal sebesar 3,92 (sangat masam), kadar C-organik sebesar 2,41% (sedang), konsentrasi K-tersedia tanah sebesar 0,15 me 100g⁻¹ (rendah), konsentrasi P-tersedia tanah sebesar 6,46 ppm P (rendah), dan kelas tekstur liat. Sampel tanah memiliki tingkat kemasaman

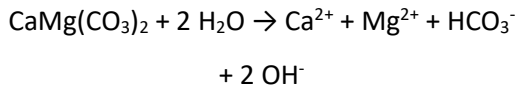
yang tinggi karena disebabkan oleh dominasi kation Al³⁺ yang membebaskan ion H⁺ pada kompleks jerapan tanah. Sampel tanah masam Ultisol yang digunakan memiliki nilai Al yang cukup tinggi pada kompleks jerapan tanah yaitu sebesar 3,12 cmol kg⁻¹. Selain itu rendahnya kandungan CaO dan MgO dalam tanah akibat tingginya curah hujan menyebabkan terjadinya pencucian hara (Abdillah *et al.*, 2018)

pH Tanah

Pemberian bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran tidak menunjukkan adanya interaksi, akan tetapi faktor tunggal bahan amelioran memberikan pengaruh berbeda sangat nyata sedangkan faktor tunggal bakteri pemacu tumbuh tidak menunjukkan adanya pengaruh terhadap pH H₂O tanah. Faktor tunggal bahan amelioran mampu meningkatkan pH tanah masam yang sebelumnya bernilai 3,92 menjadi 5,5 (Tabel 1), khususnya pada pemberian bahan amelioran dolomit yang memberikan hasil tertinggi karena mengandung unsur CaO dan MgO yang berperan penting sebagai bahan substitusi kation Al³⁺ yang terlarut dalam tanah (Basuki & Sari, 2019).

Peningkatan nilai pH tanah menunjukkan jika secara efektif pemberian bahan amelioran khususnya dolomit mampu mengikat senyawa organik tanah dengan mengikat unsur H dan Al, yang kemudian akan berpengaruh terhadap tersedianya unsur hara esensial yang dibutuhkan oleh tanaman (Rahma *et al.*, 2019). Hal ini juga didukung oleh penelitian Ilham *et al.* (2019) yang mengatakan bahwa dolomit yang terhidrolisis mampu melepaskan ion OH⁻ yang berperan menetralkan ion H⁺. Reaksi dolomit dalam

meningkatkan pH tanah adalah sebagai berikut:



Tabel 1. Hasil uji DMRT pengaruh bahan amelioran terhadap pH H₂O tanah

Perlakuan	Rata-rata
A1 (Bahan Organik)	5,08 b
A2 (<i>Gypsum</i>)	4,86 b
A3 (Dolomit)	5,50 a
A4 (Pupuk NPK)	5,05 b

Keterangan: Angka yang diikuti notasi yang sama berarti berbeda tidak nyata, angka yang tidak diikuti notasi yang sama berarti berbeda nyata.

Widyasari *et al.* (2013) mengemukakan bahwa bakteri yang tahan terhadap kondisi masam akan mampu mempertahankan kestabilan pH internalnya, sehingga dapat mengurangi toksisitas dari kemasaman tanah yang terserap dalam selnya. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri pemacu tumbuh yang diberikan kemungkinan memiliki daya tahan tubuh yang rendah terhadap kemasaman tanah yang menyebabkan kinerjanya terhambat dan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap perubahan pH tanah (Tabel 2).

Dalam aktivitasnya BPF *Bacillus valezensis* maupun BPK *Bacillus sp* menghasilkan asam-asam organik yaitu asam asetat, laktat, sitrat, malat dan oksalat dengan konsentrasi berkisar 0,056 hingga 4,94 mg L⁻¹, sedangkan *Bacillus sp* menghasilkan asam-asam organik yang sama dengan kisaran 0,021 hingga 2,907 mg L⁻¹ (Setiawati *et al.* 2022). Namun konsentrasi yang dihasilkan masih digunakan oleh bakteri dan belum memberikan perubahan terhadap pH tanah.

Tabel 2. Hasil uji DMRT pengaruh bakteri pemacu tumbuh terhadap pH H₂O tanah

Perlakuan	Rata-rata
P0 (Tanpa bakteri)	5,19
P1 (BPF)	5,16
P2 (BPK)	5,03
P3 (BPF + BPK)	5,11

Kadar C-Organik Tanah

Karbon organik menjadi salah satu indikator yang menentukan tingkat kesuburan tanah karena mampu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat-sifat tanah dan pertumbuhan tanaman.

Tabel 3. Hasil uji bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran terhadap C-organik tanah (%)

Perlakuan Bahan Amelioran	Bakteri Pemacu Tumbuh			
	P0	P1 (BPF)	P2 (BPK)	P3 (BPF+ BPK)
A1 (Bahan Organik)	1,89	1,89	2,62	2,48
A2 (<i>Gypsum</i>)	1,83	1,85	2,47	1,29
A3 (Dolomit)	2,35	3,01	2,75	2,34
A4 (Pupuk NPK)	2,24	1,98	2,47	2,71

Tidak terdapat interaksi antara pemberian bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran (Tabel 3) dan memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata. Pada beberapa perlakuan terutama perlakuan P2 aplikasi BPK tidak menyebabkan adanya penurunan kadar C-organik tanah, namun meningkatkan kadar C-organik tanah. Sebaliknya pada perlakuan yang lain terjadi penurunan kadar C-organik dalam tanah. Bahan organik dimanfaatkan oleh mikroba

sebagai sumber energi, dan akan hilang sebagai CO₂ sehingga bisa terjadi penurunan kadar C-organik didalam tanah. Peningkatan kadar C-organik dalam tanah bisa disebabkan adanya biomassa tanaman (daun maupun akar) yang belum terdekomposisi, dan juga tergantung kepada aktivitas bakteri dalam mendekomposisi. Faktor yang mempengaruhi perubahan c-organik dalam tanah antara lain temperatur, aktivitas mikroba, pH dan kualitas bahan.

Konsentrasi P-Tersedia Tanah

Pemberian faktor perlakuan bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata maupun interaksi antara kedua faktor. Pengaruh tidak nyata ini dapat disebabkan oleh terlalu kuatnya dominasi ion Fe pada tapak jerap tanah masam sehingga pemberian bahan amelioran maupun bakteri pemacu tumbuh memberikan hasil merata yang cenderung sama karena pengaruh dari masing-masing perlakuan yang sama kuatnya. Meskipun begitu P-tersedia tanah mengalami peningkatan secara keseluruhan sebesar 19,35%.

Tidak terdapat interaksi antara kedua faktor perlakuan terhadap perubahan konsentrasi ketersediaan P dalam tanah, dan pengaruh sederhana masing-masing faktor juga tidak nyata (Tabel 4). Aplikasi pupuk NPK (A4) separuh dari dosis anjuran sebagai pembanding juga berpengaruh tidak nyata terhadap ketersediaan P tanah. Hal ini disebabkan hara P yang dilarutkan dari pupuk NPK segera diserap oleh tanaman, dan kemungkinan terjadi ikatan dengan kation Fe dan Al pada larutan tanah.

Tabel 4. Hasil uji bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran terhadap P-tersedia tanah (ppm)

Perlakuan Bahan Amelioran	Bakteri Pemacu Tumbuh			
	P0	P1 (BPF)	P2 (BPK)	P3 (BPF+ BPK)
A1 (Bahan Organik)	6,98	5,56	7,71	5,97
A2 (<i>Gypsum</i>)	5,88	5,75	7,22	6,62
A3 (Dolomit)	6,16	6,10	6,56	7,45
A4 (Pupuk NPK)	6,77	6,96	5,35	7,71

Aplikasi bakteri pemacu tumbuh BPF dan kombinasinya dengan BPK belum memberikan pengaruh yang signifikan dalam meningkatkan ketersediaan P dalam tanah, walaupun dalam aktivitasnya menghasilkan asam-asam organik maupun enzim fosfatase. Besarnya pelarutan maupun kecepatan pelarutan unsur hara P dari sumber P tanah maupun dari sumber P yang lain dapat terjadi secara kimia maupun biologi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH tanah, aktivitas mikroba, konsentrasi bahan organik, dan konsentrasi oksida besi dan aluminium di dalam tanah (Asomaning, 2022).

Konsentrasi K-Tersedia Tanah

Hara kalium diserap tanaman dalam bentuk K⁺ melalui proses pertukaran kation secara difusi. Pada variabel ini tidak terdapat pengaruh yang berbeda nyata pada faktor tunggal bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran maupun interaksi antara kedua faktor (Tabel 5). Adanya penggenangan diawal tanam mempengaruhi ketersediaan K dalam tanah, yang mengakibatkan adanya kondisi reduksi. Kalium yang diikat oleh muatan negatif mineral liat pada kompleks pertukaran bertukar dengan kation antara

lain Fe^{2+} dan NH_4^+ yang meningkat kelarutannya pada kondisi reduksi atau kation lain seperti Ca^{2+} maupun Mg^{2+} , sehingga konsentrasi K tersedia meningkat.

Tabel 5. Hasil uji bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran terhadap K-tersedia tanah ($me\ 100\ g^{-1}$)

Perlakuan Bahan Amelioran	Bakteri Pemacu Tumbuh			
	P0	P1 (BPF)	P2 (BPK)	P3 (BPF +BPK)
A1 (Bahan Organik)	1,82	1,19	1,10	1,83
A2 (<i>Gypsum</i>)	2,01	0,73	0,70	1,61
A3 (Dolomit)	0,98	0,87	0,87	1,43
A4 (Pupuk NPK)	2,29	0,73	2,05	1,53

Kalium merupakan salah satu kation yang paling aktif melakukan pertukaran di dalam tanah selain Ca, Mg, Na, Al dan H. Kalium yang terikat pada koloid tanah akan bertukar dengan ion lain karena adanya sifat KTK pada tanah, akibatnya K akan terlepas dari ikatannya dan menempati larutan tanah menjadi bentuk K yang tersedia. Pada kondisi yang reduksi semua faktor perlakuan bahan ameliorant baik bahan organik, *gypsum*, dolomit maupun pupuk NPK memberikan kontribusi dalam menukar ion K^+ dari tapak jerapan. *Gypsum* dan dolomit melalui proses pertukaran kation Ca dan Mg yang terlarut, sedangkan bahan organik melalui kation-kation organik yang mulai terdekomposisi. Sedangkan aplikasi amelioran pupuk NPK memiliki sifat yang mudah larut dalam air yang membuat ion H^+ yang dihasilkan dari reaksi antara pupuk dengan air mampu menggeser ion K^+ yang berada pada tapak jerap sehingga ion K^+ tersebut menjadi terlarut dan mudah diserap oleh tanaman. Hal ini menjadikan pupuk NPK mudah terionisasi dan menyebabkan kalium yang terikat pada koloid tanah terlepas dari ikatannya dan

menempati larutan tanah sehingga konsentrasinya meningkat (Nursyamsi, 2011).

Kadar Hara dan Serapan Hara Fosfor Jaringan Tajuk

Kadar hara dan serapan hara (Tabel 6) menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dengan antara perlakuan A1 dan A2 terhadap aplikasi NPK (A4). Pemberian bahan amelioran bahan organik maupun *gypsum* mampu meningkatkan kadar hara fosfor sebesar 0,42% hingga 0,43% dibandingkan dengan perlakuan pada A4, maka A1 yang diberi perlakuan bahan amelioran bahan organik meningkat sebesar 31,25% dan A2 dengan bahan *gypsum* meningkat sebesar 34,38%. Peningkatan kadar hara fosfor juga sejalan dengan peningkatan pada serapan fosfor tajuk bahan yang diberi perlakuan. Hasil serapan fosfor tajuk pada A1 dan A2 yang diberi perlakuan amelioran meningkat sebesar 24,14% dan 27,59%.

Pada jaringan tanaman kebutuhan S untuk membentuk asam amino yang dicukupi dengan pemberian *gypsum* sama besarnya dengan kebutuhan P. Pemberian *gypsum* menurut Agustin *et al.* (2020) mampu menggantikan ion Al dan Fe yang menjadi penyebab kemasaman tanah, sehingga hara fosfor akan lebih mudah diserap oleh tanaman karena berada dengan bebas di tapak jerap tanah. Sedangkan aplikasi bahan organik yang terdekomposisi menghasilkan anion organik dan menggantikan anion fosfat yang terikat dengan kation dalam larutan tanah seperti kation Fe maupun kation lainnya, sehingga P dapat tersedia dan diserap oleh tanaman. Menurut Jindo *et al.* (2023) terdapat enam mekanisme bahan organik mempengaruhi dinamika fosfat dalam tanah baik secara

reaksi abiotik maupun reaksi biotik antara lain : (1) kompetisi dengan bahan organik pada tapak-tapak jerapan bermuatan positif dari mineral liat dan oksida logam, (2) kompetisi dengan bahan organik untuk kompleksasi dengan kation; (3) kompetisi kompleksasi antara penggabungan P dengan kompleksasi biner bahan organik dan menjembatani kation dengan pembentukan mineral P yang stabil.

Tabel 6. Hasil uji DMRT pengaruh bahan amelioran terhadap kadar hara dan serapan hara fosfor jaringan tajuk

Perlakuan	Rata-rata Kadar Fosfor (%)	Rata-rata Serapan Fosfor (g rumpun ⁻¹)
A1 (Bahan Org.)	0,42 a	0,036 a
A2 (<i>Gypsum</i>)	0,43 a	0,037 a
A3 (Dolomit)	0,35 ab	0,031 ab
A4 (Pupuk NPK)	0,32 b	0,029 b

Keterangan: Angka yang diikuti notasi yang sama berarti berbeda tidak nyata, angka yang tidak diikuti notasi yang sama berarti berbeda nyata.

Faktor inokulasi bakteri pemacu tumbuh memberikan pengaruh yang berbeda tidak nyata pada kadar maupun serapan P jaringan tajuk (Tabel 7). Hal ini disebabkan konsentrasi P yang tersedia didalam larutan tanah relatif sama pada semua perlakuan dengan kategori rendah yaitu berkisar 5,35 hingga 7,71 ppm (Tabel 4). Aktivitas bakteri pelarut fosfat belum secara maksimal meningkatkan pelarutan P yang terikat dalam tanah. Sedangkan besarnya P yang diserap tanaman juga dipengaruhi oleh konsentrasi P tersedia tanah.

Hasil penelitian Masjkur (2009) pada tanah dengan dominan liat smektit menunjukkan adanya korelasi positif yang kuat antara ketersediaan P dalam tanah

dengan serapan P di jaringan tanaman padi. Ketersediaan P yang di ekstrak dengan Olsen berkorelasi dengan nilai 0,93 dan 0,73 dengan ekstrak Bray I. Konsentrasi P tanah yang rendah menyebabkan konsentrasi dalam jaringan padi juga rendah.

Tabel 7. Hasil uji pengaruh bakteri pemacu tumbuh terhadap kadar hara dan serapan hara fosfor jaringan tajuk

Perlakuan	Rata-rata Kadar Fosfor (%)	Rata-rata Serapan Fosfor (g rumpun ⁻¹)
P0(Tanpa bakteri)	0,350	0,031
P1 (BPF)	0,394	0,034
P2 (BPK)	0,349	0,031
P3 (BPF + BPK)	0,428	0,038

Kadar Hara dan Serapan Hara Kalium Jaringan Tajuk

Analisis sidik ragam pada kadar hara dan serapan hara kalium di jaringan tajuk tidak menunjukkan adanya pengaruh yang nyata, baik pada interaksi maupun pada faktor tunggalnya (Tabel 8). Rahma *et al.* (2019) menyatakan bahwa kadar hara dan serapan hara kalium berkorelasi dengan konsentrasi K-tersedia dalam tanah.

Konsentrasi K-tersedia tanah yang tinggi menunjukkan jika kadar hara dan serapan hara kalium di jaringan tajuk juga tinggi. Perlakuan bahan amelioran bahan organik dan *gypsum* mampu meningkatkan kadar hara dan serapan hara K. Tidak adanya pengaruh oleh faktor bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran terhadap kadar hara dan serapan hara kalium di jaringan tajuk dapat disebabkan oleh sifat unsur K yang mudah berpindah atau *mobile*, yang dapat dikarenakan adanya pencucian hara pada lapisan tanah sehingga

mempengaruhi terserapnya kalium di jaringan tajuk (Srivastava *et al.*, 2019).

Tabel 8. Hasil uji bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran terhadap kadar hara kalium jaringan tajuk

Perlakuan	Bakteri Pemacu Tumbuh			
	P0	P1 (BPF)	P2 (BPK)	P3 (BPF + BPK)
Bahan Amelioran				
A1 (Bahan Org.)	14,43	14,98	16,66	19,03
A2 (<i>Gypsum</i>)	16,22	15,19	15,08	14,66
A3 (Dolomit)	14,87	15,46	15,66	13,98
A4 (Pupuk NPK)	14,85	17,06	16,12	14,44

Tabel 9. Hasil uji bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran terhadap serapan hara kalium jaringan tajuk

Perlakuan	Bakteri Pemacu Tumbuh			
	P0	P1 BPF	P2 BPK	P3 BPF + BPK
Bahan Amelioran				
A1 (Bahan Org.)	1,21	1,28	1,36	1,68
A2 (<i>Gypsum</i>)	1,43	1,34	1,36	1,25
A3 (Dolomit)	1,29	1,40	1,35	1,30
A4 (Pupuk NPK)	1,34	1,44	1,47	1,31

Kadar Hara dan Serapan Hara Fosfor Jaringan Akar

Analisis sidik ragam pada jaringan akar tidak menunjukkan adanya pengaruh yang nyata antara faktor tunggal bakteri pemacu tumbuh dan faktor tunggal bahan amelioran maupun pada interaksi kedua faktor terhadap kadar hara dan serapan hara fosfor di jaringan akar. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh konsentrasi fosfor tersedia yang relatif sama pada setiap perlakuan sehingga mempengaruhi kadar dan serapan hara fosfor di jaringan akar, yang sejalan dengan pernyataan (Liferdi *et al.* 2008) bahwa konsentrasi hara di jaringan

tanaman memiliki korelasi yang positif dengan konsentrasi P dalam tanah sehingga setiap meningkat atau menurunnya konsentrasi P di tanah akan sangat berdampak pada kadar dan serapan hara P di jaringan akar.

Serapan Hara Kalium Jaringan Akar

Jaringan akar merupakan bagian tubuh tanaman yang berada di bawah permukaan tanah. Serapan hara di jaringan akar (Tabel 10) menunjukkan bahwa faktor tunggal bakteri pemacu tumbuh memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada perlakuan P0, P1, dan P2 dengan aplikasi BPF + BPK (P3). Hal ini menunjukkan bahwa dalam proses penyerapan hara kalium di jaringan akar pengaruh dari interaksi antara BPF dan BPK tidak lebih besar daripada pemberian BPF maupun BPK secara terpisah.

Tabel 10. Hasil uji DMRT pengaruh bakteri pemacu tumbuh terhadap serapan hara kalium jaringan akar

Perlakuan	Rata-rata Serapan Kalium (g rumpun ⁻¹)
P0 (Tanpa PGPR)	0,055 a
P1 (BPF)	0,036 ab
P2 (BPK)	0,032 ab
P3 (BPF+BPK)	0,018 b

Ket.: Angka yang diikuti notasi yang sama berarti berbeda tidak nyata, angka yang tidak diikuti notasi yang sama berarti berbeda nyata.

Bahan amelioran sebagai bahan pembenah tanah berfungsi mengembalikan kesehatan tanah dan memperbaiki lingkungan pertumbuhan tanaman. Berdasarkan penelitian Maftu'ah *et al.* (2013) ketersediaan dan penyerapan kalium pada tanaman dipengaruhi oleh adanya proses dekomposisi dan mineralisasi yang

dilakukan oleh mikroorganisme terhadap bahan amelioran yang diberikan.

SIMPULAN

1. Tidak terdapat interaksi antara kombinasi faktor bakteri pemacu tumbuh dan bahan amelioran terhadap variabel pengamatan.
2. Faktor tunggal bakteri pemacu tumbuh memberi pengaruh yang nyata terhadap peningkatan nilai pH tanah, dan variabel pengamatan kadar dan serapan hara fosfor di jaringan tajuk tanaman padi.
3. Faktor tunggal bahan amelioran memberi pengaruh yang nyata terhadap pada variabel pengamatan kadar hara fosfor jaringan tajuk tanaman padi sebesar 0,420% hingga 0,426%, serta meningkatkan serapan hara fosfor jaringan tajuk hingga 27,59% pada penambahan amelioran *gypsum* dibanding penambahan pupuk NPK.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Jember atas dukungan pendanaan melalui hibah pendukung IDB, pranata Laboratorium Biologi Tanah dan Laboratorium Kesuburan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Jember, dan seluruh tim yang turut serta dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, A., K. S. Lubis, & Mukhlis. (2018). Perubahan beberapa sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.) akibat pemberian limbah kertas rokok dan pupuk kandang ayam di tanah ultisol. *Journal of Controlled*

Release, 6(3): 442–47.

Agustin, S. N., Zuraida, & Muyassir. (2020). Teknologi ameliorasi dan pemupukan tanah sub-optimal serta hubungannya dengan sifat kimia tanah dan pertumbuhan padi galur Sikuneng. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 5(2): 241–49.

Asomaning, Samuel Kwesi. (2022). Processes and factors affecting phosphorus sorption in Soils. *Sorption in 2020s*.

Balai Penelitian Tanah. (2009). *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, Dan Pupuk*.

Basuki, dan V. K Sari. (2019). Efektifitas Dolomit Dalam Mempertahankan PH Tanah Inceptisol Perkebunan Tebu Blimbing Djatiroto. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri* 11(2): 58.

Dutta, J., & U. Bora. (2019). 12 *Role of PGPR for Alleviating Aluminum Toxicity in Acidic Soil*.

Ilham, F., T. B Prasetyo, dan S. Prima. (2019). Pengaruh pemberian dolomit terhadap beberapa sifat kimia tanah gambut dan pertumbuhan serta hasil tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L). *Jurnal Solum*. 16(1): 29–39.

Jindo, K., Y. Audette, F. L. Olivares, L. P. Canellas, D. S. Smith, & R. P. Voroney. (2023). Biotic and abiotic effects of soil organic matter on the phytoavailable phosphorus in soils: A Review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1): 1–12.

Liferdi, L., R. Poerwanto, A. D. Susila, K. Idris, & I. Mangku. (2008). Korelasi kadar hara fosfor daun dengan produksi tanaman manggis. *Jurnal Hortikultura*,

- 18(3): 85204.
- Liferdi, L. (2010). Efek pemberian fosfor terhadap pertumbuhan dan status hara pada bibit manggis. *Jurnal Hortikultura*, 20(1): 18–26.
- Maftu'ah, E., A. Maas, A. Syukur, & B. H. Purwanto. (2013). Efektivitas amelioran pada lahan gambut terdegradasi untuk meningkatkan pertumbuhan dan serapan NPK tanaman jagung manis (*Zea mays* L. var. *Saccharata*). *Indonesian Journal of Agronomy*, 41(1): 16–23.
- Masjkur, M. (2009). Correlation between soil test phosphorus of kaolinitic and smectitic soils with phosphorus uptake of lowland rice. *Journal of Tropical Soils*, 14(3): 205.
- Mu'min, M. I. A., B. Joy, & A. Yuniarti. (2016). Dinamika kalium tanah dan hasil padi sawah (*Oryza sativa* L.) akibat pemberian npk majemuk dan penggenangan pada fluvaquentic epiaquepts. *Soilrens*, 14(1): 11–15.
- Mulyani, A., & M. Sarwani. (2013). Karakteristik dan potensi lahan sub optimal untuk pengembangan pertanian Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 7(1): 47–55.
- Nazir, M., Syakur, & Muyasir. (2017). Pemetaan kemasaman tanah dan analisis kebutuhan kapur di Kecamatan Keumala Kabupaten Pidie (Mapping Soil Acidity and Analysis of Lime Requirement in District of Pidie District Keumala). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*, 2(1): 21–30.
- Nursyamsi, D. (2011). Mekanisme pelepasan K terfiksasi menjadi tersedia bagi pertumbuhan tanaman pada tanah-tanah yang didominasi Smektit. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 5(2): 61–74.
- Patle, T., V.K Khaddar, & S. K Sharma. (2021). *Phosphorus Fixation Capacity of Soils*. Lambert publication. ISBN: 978-620-4-18492-0
- Rahma, S., B. Rasyid, & M. Jayadi. (2019). Peningkatan unsur hara kalium dalam tanah melalui aplikasi POC batang pisang dan sabut kelapa. *Jurnal Ecosolum*, 8(2): 74.
- Renneson, M., J. Dufey, L. Bock, & G. Colinet. (2010). Effects of parent material and land use on soil phosphorus forms in Southern Belgium. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*. 40–43.
- Setiawati, T. C., D. Erwin, M. Mandala, & A. Hidayatulah. (2022). Use of Bacillus as a Plant Growth-Promoting Rhizobacteria to improve phosphate and potassium availability in acidic and saline soils. *KnE Life Sciences*. 2022: 541–58.
- Srivastava, A. K., A. Shankar, A. K. N. Chandran, M. Sharma, K. H. Jung, P. Suprasana, & G. K. Pandey. (2019). Emerging concepts of potassium. *Homeostatis in Plants*, 71(2): 608–19.
- Subandi. (2013). Role and management of potassium nutrient for food production in Indonesia. *Agricultural Innovation Development*, 6(1): 1–10.
- Widyasari, N. M., R. Kawari, & I. K Muksin. (2013). Pengaruh pH media pertumbuhan terhadap ketahanan dari *Rhizobium* sp. pada tanah yang bersifat asam. *Jurnal Biologi*, 16(1): 56–60.
- Zhang, K., L. Chen, Y. Li, P. C. Brookes, J. Xu, & Y. Luo. (2017). The effects of combinations of biochar, lime, and

organic fertilizer on nitrification and nitrifiers. *Biology and Fertility of Soils*,

53(1): 77–87.