

# JURNAL BIOLOGI UDAYANA

P-ISSN: 1410-5292 E-ISSN: 2599-2856

Volume 28 | Nomor 1 | Juni 2024

DOI: <https://doi.org/10.24843/JBIOUNUD.2024.v28.i01.p10>

## Analisis bakteri rhizosfer pelarut fosfat pada tanaman jagung dari wilayah Empang Sumbawa, NTB

Analysis of phosphate solubilizing rhizosphere bacteria from maize in the Empang Sumbawa region, NTB

Ernin Hidayati<sup>1,\*</sup>, Rosal Okjayansah<sup>1</sup>, Faturrahman<sup>1</sup>, Bambang Fajar Suryadi<sup>1</sup>, Sarkono<sup>1</sup>, Sukiman<sup>2</sup>, Nur Indah Julisaniah<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kelompok Peneliti Bidang Ilmu Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram. Jalan Majapahit No. 62 Mataram, Lombok, Indonesia 83115

<sup>2</sup> Kelompok Peneliti Bidang Ilmu Biosistemika Tumbuhan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram. Jalan Majapahit No. 62 Mataram, Lombok, Indonesia 83115

\*Email: [hidayatiernin@unram.ac.id](mailto:hidayatiernin@unram.ac.id)

Diterima  
9 Juni 2024

Disetujui  
27 Juni 2024

### INTISARI

Bakteri pelarut fosfat merupakan komponen ekosistem tanah yang berperan dalam membantu menyediakan fosfat bagi tanaman. Sampai saat ini, eksplorasi bakteri pelarut fosfat yang berasosiasi dengan perakaran tanaman terus dilakukan untuk mendapatkan isolat potensial. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis bakteri rhizosfer pelarut fosfat pada tanaman jagung dari wilayah Empang Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Bakteri diisolasi dari tanah perakaran tanaman jagung yang berada pada fase pertumbuhan vegetatif dan fase generatif. Isolat diuji kemampuannya dalam melarutkan fosfat menggunakan medium Pikovskaya Agar. Pengujian dilakukan dengan teknik inokulasi titik. Zona bening yang terbentuk disekitar koloni bakteri mengindikasikan bahwa bakteri mampu melarutkan fosfat. Sebanyak 18 isolat bakteri rhizosfer berhasil diisolasi, 11 diantaranya menunjukkan kemampuan melarutkan fosfat. Isolat V6 dan V7 mempunyai kemampuan terbaik dibandingkan isolat lainnya, ditunjukkan dengan nilai indeks pelarutan fosfat sebesar 1,3 dan 1,54.

*Kata kunci: bakteri pelarut fosfat, rhizosfer, jagung, lahan kering, Sumbawa*

### ABSTRACT

Phosphate solubilizing bacteria are components of the soil ecosystem. They play a pivotal role in supplying phosphate for plants. Exploration of phosphate solubilizing bacteria continues to be carried out to obtain potential isolates. This research aims to analyze phosphate solubilizing bacteria of maize rhizosphere plants in the Empang Sumbawa region, West Nusa Tenggara. The bacteria were isolated from the soil of maize plants rhizosphere in the vegetative and generative growth phases. The ability of solubilize phosphate of the isolates were tested using the spot inoculation technique on Pikovskaya Agar medium. The clear zone formed around the bacterial colony indicates the phosphate solubilization. A total of 18 isolates were successfully isolated. Eleven of them showed the ability to dissolving phosphate. The isolates V6 and V7 have the best performance, as indicated by phosphate dissolution index values of 1,3 and 1,54.

*Keywords: phosphate solubilizing bacteria, rhizosphere, maize, dry land, Sumbawa*

### PENDAHULUAN

Tanaman jagung bukan lagi merupakan tanaman sekunder bagi sektor pertanian di Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, tetapi telah menjadi

komoditas unggulan wilayah tersebut. Harga jual yang semakin baik berdampak pada meningkatnya minat masyarakat bertanam jagung. Produksi jagung dari wilayah ini terus meningkat. Berdasarkan BPS Sumbawa tahun 2021, produksi jagung dari tahun 2015 sampai 2019 tercatat sebanyak 329.885 ton, 467.240 ton, 621.405 ton, 676.080 ton, dan 697.183 ton. Eskalasi produksi jagung di Kabupaten Sumbawa salah satunya karena dimanfaatkannya lahan kering untuk pertanaman jagung. Kabupaten Sumbawa memiliki lahan kering paling luas dibandingkan kabupaten lainnya di NTB yaitu seluas 664.398 ha. Kecamatan Empang merupakan salah satu wilayah dengan pertanian jagung yang ekstensif dan hasil produksi yang terus meningkat. Menurut Fika & Nurfadliyah (2023), kegiatan pertanian jagung di wilayah tersebut memanfaatkan daerah lereng dan produksinya terus meningkat.

Selain perubahan iklim dan hama, tantangan dalam mempertahankan kontinuitas produksi jagung adalah kesuburan tanah. Pada lahan kering dengan karakter lahan pegunungan dan perbukitan, hara tanah sangat rentan mengalami pencucian. Fosfor (P) merupakan salah satu nutrisi penting bagi tanaman. Indikator kualitas dan fertilitas tanah juga dilihat dari kandungan P dan rasionya dibandingkan dengan karbon (C) dan nitrogen (N) (Tisdale et al., 2017; Moinard et al., 2021; Cheng et al., 2021; Boudjabi & Chenchouni, 2022). Meskipun jumlah P yang tersedia dalam tanah cukup tinggi, namun seringkali jumlah P yang tersedia bagi tanaman relatif rendah. Oleh sebab itu, P seringkali menjadi faktor pembatas produktivitas tanaman (Tisdale et al., 2017).

Selain melalui proses geokimia, P dalam tanah bersiklus melalui proses biologi. Bakteri pelarut fosfat merupakan bakteri yang berperan melepaskan ikatan fosfat menjadi ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  dan  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  sehingga dapat digunakan oleh tanaman. Kajian mengenai bakteri pelarut fosfat dan aplikasinya telah banyak dilakukan. Dari berbagai penelitian diketahui bahwa penyediaan fosfat yang dapat diserap oleh tanaman dibantu oleh bakteri pelarut fosfat (Liu et al., 2023; Gupta et al., 2021; Liang et al., 2019). Bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari beberapa wilayah di China seperti Wenshui dan Beijing, Kabupaten Jawa Barat seperti Majalengka, Tasikmalaya dan Garut, serta wilayah lain terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung (Rafique et al., 2017; Li et al., 2017; Lovitna et al., 2021; Khumairah et al., 2020).

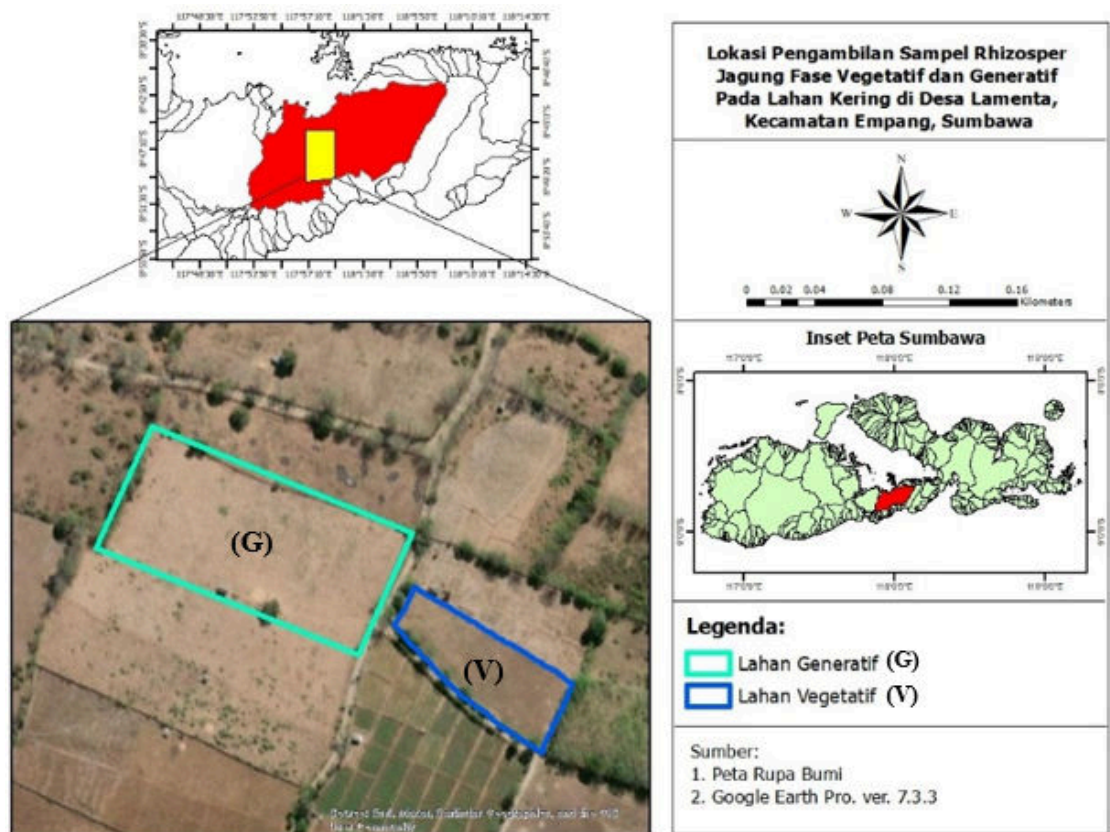
Rhizosfer atau daerah perakaran tanaman kaya dengan bakteri pelarut fosfat. Gupta et al., (2021) menjelaskan bahwa rhizobakteri pelarut fosfat (RbPF) merupakan kelompok penting dari berbagai rhizobakteri pemacu tumbuh tanaman. Pada penelitian Sukmawati et al. (2020) diketahui bahwa dari 6 isolat bakteri yang terisolasi dari rhizosfer tanaman jagung dari daerah Sulawesi Selatan, 3 diantaranya mempunyai kemampuan melarutkan fosfat. Panjaitan et al. (2020) menjelaskan bahwa bakteri pelarut fosfat yang diisolasi dari perakaran tanaman jagung di Cikabayan IPB Bogor berpotensi dikembangkan sebagai biofertilizer.

Penelitian RbPF yang diisolasi dari tanaman jagung dari wilayah timur Indonesia masih terbatas. Penelitian ini adalah penelitian pertama yang mengkaji bakteri rhizosfer pelarut fosfat pada tanaman jagung dari wilayah Sumbawa. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis keberadaan bakteri rhizosfer pelarut fosfat pada tanaman jagung dari wilayah Empang, Sumbawa. Hasil penelitian ini menyajikan informasi pertama tentang bakteri pelarut fosfat di daerah perakaran jagung di wilayah tersebut.

## **MATERI DAN METODE**

### **Pengambilan tanaman sampel dan tanah rhizosfer**

Sampel tanah rhizosfer diambil dari tanaman jagung yang tumbuh di areal pertanian jagung di lahan kering wilayah Empang Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Sebanyak 25 batang tanaman jagung yang menunjukkan pertumbuhan yang segar dan tidak terserang penyakit dipilih secara acak masing-masing dari tanaman yang sedang dalam fase pertumbuhan vegetatif (14 hari setelah tanam) maupun fase generatif (90 hari setelah tanam) (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi sampling tanaman jagung di wilayah Empang Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Blok V adalah lahan yang ditumbuhi tanaman jagung dalam fase vegetatif dan blok G ditumbuhi tanaman jagung dalam fase generatif.

Rumput yang tumbuh disekitar tanaman sampel dibersihkan terlebih dahulu. Tanah digali pada kedalaman 20 - 30 cm sampai seluruh perakarannya terlihat. Bongkahan perakaran diambil dan dimasukkan ke dalam kantong plastik, kemudian dibawa ke laboratorium. Bongkahan perakaran dikibaskibaskan untuk melepaskan tanah yang ada di sela-sela akar. Tanah rhizosfer yang diambil adalah tanah yang melekat pada rambut-rambut akar dengan jarak sekitar 1 mm seperti konsep yang dikemukakan oleh Phillips & Fahey (2006). Tanah rhizosfer diambil secara hati-hati menggunakan spatula dan kuas steril. Sebanyak 5 g tanah rhizosfer dari masing-masing bongkahan disatukan kemudian dicampur secara merata. Dari 25 batang tanaman sampel, terkumpul sebanyak 125 g sampel tanah rhizosfer baik dari tanaman fase pertumbuhan vegetatif maupun generatif. Sampel tanah rhizosfer disimpan dalam wadah plastik steril.

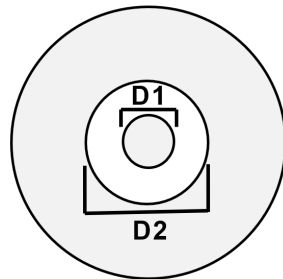
#### Isolasi Bakteri Rhizosfer dan Pemurnian Isolat

Sebanyak 1 g sampel tanah rhizosfer diencerkan dengan larutan NaCl 0,85%. Sebanyak 0,5 mL suspensi disebar pada media *Soil Extract Agar* (SEA,

Himedia) dalam cawan petri. Cawan kemudian dinkubasi pada suhu 30°C selama 48 jam. Koloni bakteri yang tumbuh dihitung jumlahnya, diamati morfologinya, kemudian dimurnikan dengan menggoresnya pada media SEA.

### Uji Kemampuan Melarutkan Fosfat

Media uji yang digunakan adalah Pikovskaya Agar dengan komposisi 5,0 g/L  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ ; 0,2 g/L NaCl; 0,1 g/L  $\text{MgSO}_4$ ; 0,005 g/L  $\text{FeSO}_4$ ; 0,5 g/L  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; 0,2 g/L KCl; 10 g/L glukosa; 0,5 g/L ekstrak *yeast*; 18 g/L *bacto agar*; pH 6,8-7,3). Media agar dipanaskan kemudian disterilkan pada suhu 121°C selama 15 menit menggunakan autoklaf. Cawan petri steril disiapkan untuk menuang media. Kemampuan isolat dalam melarutkan fosfat anorganik diuji menggunakan metode inokulasi titik. Isolat dari biakan agar miring diambil menggunakan ose kemudian ditusukkan pada media dalam cawan petri. Pengamatan dilakukan sampai 5 hari inkubasi pada suhu 30°C. Koloni pelarut fosfat dideteksi dengan munculnya zona bening yang muncul di sekitar koloni. Kemampuan pelarutan fosfat dari masing-masing isolat diukur dalam satuan indeks kelarutan fosfat (IKF) (Edi-Premono et al., 1996) seperti rumus sebagai berikut:



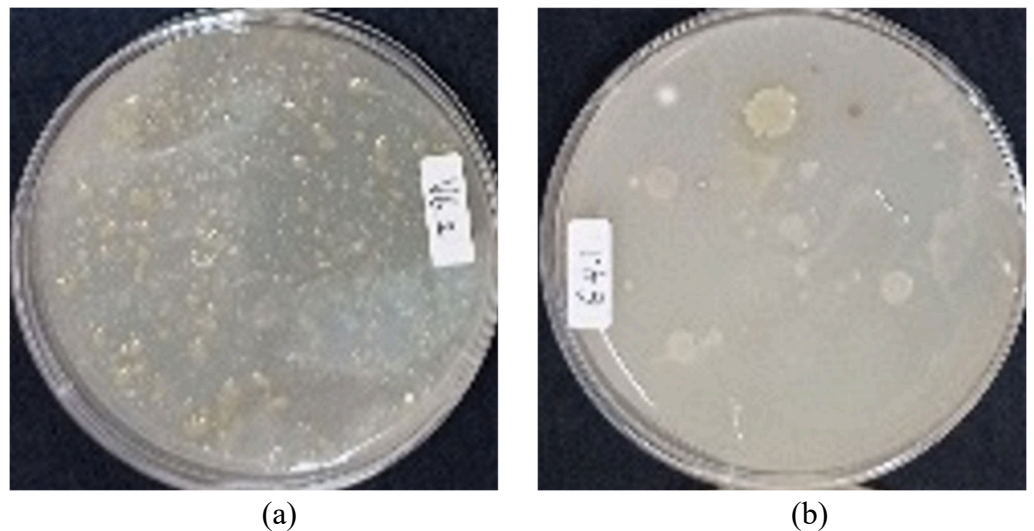
$$\text{IKF} = (\text{D2} - \text{D1})/\text{D1}$$

D1 : Diameter koloni

D2 : Diameter total (koloni dan zona bening)

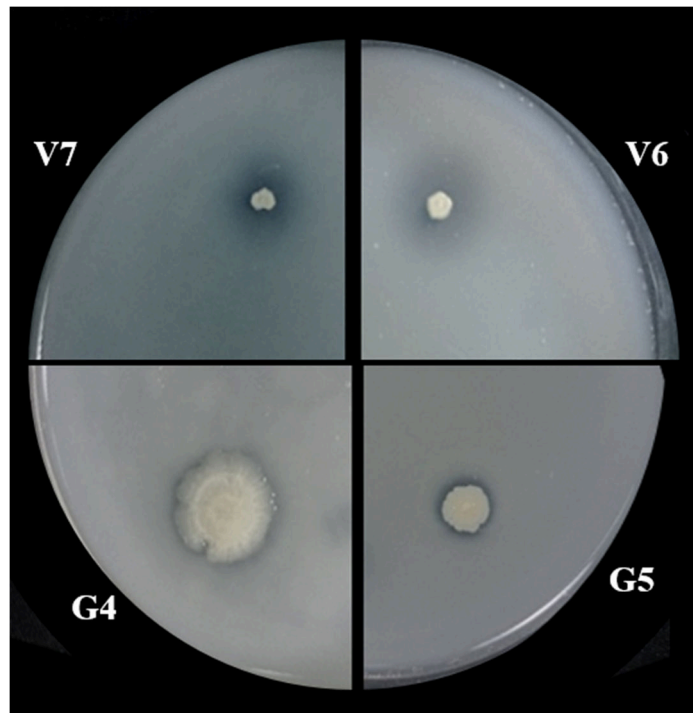
### HASIL

Jumlah total koloni bakteri rhizosfer per gram tanah pada tanaman jagung fase vegetatif lebih tinggi dibandingkan fase generatif. Pada setiap gram tanah rhizosfer tanaman jagung fase vegetatif terdapat sebanyak  $1,65 \times 10^8$  sel dan fase generatif sebanyak  $7,3 \times 10^7$  sel (Gambar 2).

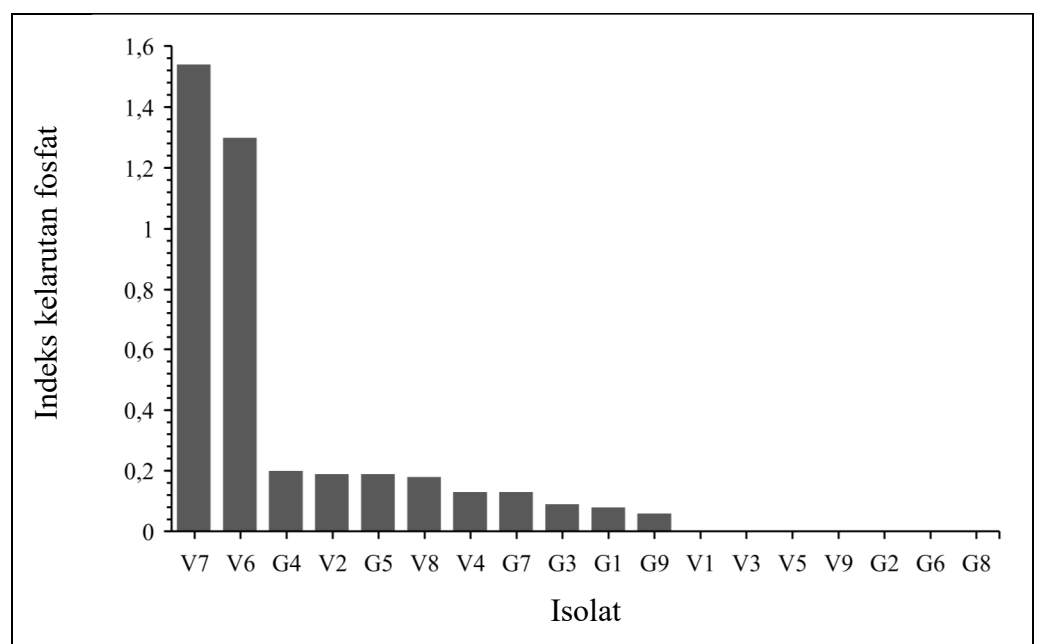


Gambar 2. Perbedaan jumlah koloni bakteri rhizosfer tanaman jagung yang ditumbuhkan pada media *Soil Extract Agar*. (a) Koloni dari tanaman fase vegetatif dan (b) generatif.

Total bakteri yang berhasil diisolasi sebanyak 18 isolat, 9 isolat dari rhizosfer tanaman jagung yang berada pada fase pertumbuhan vegetatif, serta 9 isolat dari fase pertumbuhan generatif. Isolat dengan kode V (V1 sampai V9) diperoleh dari tanaman fase vegetatif sedangkan kode G (G1 sampai G9) diperoleh dari tanaman fase generatif. Sebanyak 11 isolat (61,1 %) menunjukkan kemampuan melarutkan fosfat saat ditumbuhkan pada Pikovskaya agar (Gambar 3). Sebanyak 5 isolat ditemukan pada fase pertumbuhan vegetatif dan 6 isolat pada fase pertumbuhan generatif. Isolat V6 dan V7 memiliki indeks kelarutan fosfat tertinggi yaitu sebesar 1,3 dan 1,54 (Gambar 4).



Gambar 3. Zona bening di sekitar koloni isolat V7, V6, G5, dan G4 saat tumbuh pada Pikovskaya agar.



Gambar 4. Nilai indeks kelarutan fosfat isolat bakteri rhizosfer tanaman jagung dari wilayah Empang Sumbawa, NTB

## PEMBAHASAN

Rhizobakteri pelarut fosfat (RbPF) dari tanaman jagung yang tumbuh di wilayah Sumbawa dapat diisolasi dengan mudah menggunakan media Pikovskaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman jagung berasosiasi dengan bakteri pelarut fosfat selama fase pertumbuhan dan perkembangannya (Gambar 2 dan Gambar 3). Meskipun demikian, tidak semua isolat yang diperoleh mempunyai kemampuan yang sama dalam melarutkan fosfat secara *in vitro* (Gambar 4). Diduga bahwa jumlah total koloni bakteri rhizosfer tidak hanya ditentukan oleh jenis tanaman dan fase pertumbuhannya melainkan oleh lebih dari satu faktor, termasuk jenis bakteri itu sendiri. Nilai IKF sangat bervariasi diantara bakteri pelarut fosfat. Bakteri dengan IKF tertinggi sebesar 3,35 pernah diperoleh dari rhizosfer padi di wilayah Sukoharjo (Purwanti et al., 2019), 2,82 dari tanah mangrove di wilayah Lamongan (Fatimah et al., 2023), dan 2,08 dari rhizosfer kentang di Pulau Buru (Kesaulya et al., 2015).

Seperti yang dipelajari oleh Breitzkreuz et al., (2020) pada tanaman gandum menunjukkan bahwa isolat *Pseudomonas* dan *Phyllobacterium* yang diisolasi dari tanaman fase vegetatif mempunyai kemampuan melarutkan fosfat lebih tinggi dibandingkan isolat yang sama namun dari tanaman fase generatif. Hal yang berbeda ditunjukkan oleh *Streptomyces*, dimana isolat yang diperoleh dari tanaman fase generatif menunjukkan kemampuan melarutkan fosfat yang lebih tinggi. Diantara ketiga genus tersebut, kemampuan tertinggi ditunjukkan oleh *Pseudomonas*, baik isolat yang diperoleh dari fase pertumbuhan vegetatif maupun generatif. Hasil penelitian Utami et al., (2020) pada tanaman nanas menginformasikan bahwa tanaman pada fase pertumbuhan vegetatif mempunyai kandungan bakteri pelarut fosfat yang lebih melimpah dibandingkan pada fase pertumbuhan generatif. Adapun bakteri lainnya seperti kitinolitik, penghasil IAA, dan pelarut kalium tampak lebih melimpah pada fase pertumbuhan generatif.

Jagung merupakan tanaman yang sensitif terhadap pasokan fosfat (Zicker et al., 2018). Kurangnya pasokan fosfat dapat mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan dan produktivitas tanaman jagung terlebih pada tanah yang kurang subur. Sementara itu, jumlah fosfat yang melimpah di tanah tidak berbanding lurus dengan jumlah fosfat yang tersedia bagi tanaman. Menurut Borggaard et al. (2006), Fink et al. (2016) dan Asomaning (2020), rendahnya jumlah fosfat yang tersedia disebabkan karena bereaksi dengan oksida besi dan aluminium, serta materi organik. Mikroorganisme pelarut fosfat mampu melepaskan fosfat dari bentuk terikatnya. Menurut Zaidi et al. (2019), mekanisme yang dilakukan oleh bakteri dalam melarutkan fosfat sangat beragam, antara lain dengan memproduksi asam organik dan anorganik, enzim phosphatase dan phytase, H<sub>2</sub>S, eksopolisakarida, dan lain-lain.

Kajian Silva et al. (2023) terhadap berbagai hasil penelitian menyimpulkan bahwa mikroorganisme pelarut fosfat adalah kunci keberhasilan pertanian berkelanjutan. Adapun isolat RbPF yang diperoleh dalam penelitian ini dapat diteliti lebih lanjut pada aspek yang lain, baik berkaitan dengan karakter pemacu tumbuh serta pengembangan dan pemanfaatannya untuk pertanian berkelanjutan di Pulau Sumbawa. Tipe lahan pertanaman jagung di wilayah Sumbawa pada umumnya terkendala antara lain oleh kesuburan tanah. Oleh sebab itu, input RbPF diperlukan sebagai bagian dari pengolahan lahan untuk meningkatkan ketersediaan fosfat bagi tanaman.

## SIMPULAN

Tanaman jagung yang tumbuh di wilayah Empang Sumbawa berasosiasi dengan bakteri rhizosfer pelarut fosfat baik tanaman pada fase pertumbuhan vegetatif maupun generatif. Jumlah total koloni bakteri rhizosfer pada fase vegetatif lebih tinggi dari pada fase generatif. Sebanyak 18 isolat berhasil diisolasi dari kedua fase pertumbuhan tanaman dan 61,1% diantaranya mampu melarutkan fosfat. Isolat V6 dan V7 mempunyai kemampuan lebih tinggi dalam melarutkan fosfat dibandingkan dengan isolat lainnya dengan indeks kelarutan fosfat masing-masing 1,3 dan 1,54.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Mataram melalui LPPM atas pendanaan yang telah diberikan. Terima kasih juga tentunya kepada kelompok tani jagung di wilayah Empang Sumbawa atas bantuannya selama pengambilan sampel dan diskusi yang sangat bermanfaat.

## KEPUSTAKAAN

- Asomaning SK. 2020. Processes and Factors Affecting Phosphorus Sorption in Soils. In: Kyas B, Lazaridis N (eds) *Sorption in 2020s*. Intech Open.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Sumbawa. 2021. <https://sumbawakab.bps.go.id/>
- Borggaard O, Jdrngensen SS, Moberg JP, Raben-Lange B. 2006. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides in sandy soils. *European Journal of Soil Science* **41(3)**: 443-449.
- Boudjabi S, Chenchouni H. 2022. Soil fertility indicators and soil stoichiometry in semi-arid steppe rangelands. *CATENA* **210**: 105910.
- Breitkreuz C, Buscot F, Tarkka M, Reitz T. 2020. Shifts between and among populations of wheat rhizosphere pseudomonas, streptomyces and phyllobacterium suggest consistent phosphate mobilization at different growth stages under abiotic stress. *Frontiers in Microbiology* **10**: 3109.
- Cheng S, Ke G, Li Z, Cheng Y, Wu H. 2021. Soil available phosphorus investigated for spatial distribution and effect indicators resulting from ecological construction on the Loess Plateau, China. *Sustainability* **13**: 12572.
- Edi-Premono, Moawad MA, Vleck PLG. 1996. Effect of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* on the growth of maize and its survival in the rhizosphere. *Indonesian Journal of Crop Science* **11**: 13-23.
- Fatihah, Aula N, Salsabila S, Ramly ZA, Rose SY, Surtiningsih T, Nurhariyati T. 2023. Exploration of phosphate solubilizing bacteria from mangrove soil of Lamongan, East Java, Indonesia. *Biodiversitas* **24(2)**: 1272-1278.
- Fika, Nurfadliyah. 2023. Pengaruh modal, tenaga kerja, luas lahan dan harga jual terhadap pendapatan petani jagung di Desa Lamenta Kecamatan Empang Kabupaten Sumbawa. *UTS Student Confrence* **1(4)**: 474-482.
- Fink JR, Inda AV, Tiecher T, Barrón V. 2016. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. *Ciência e Agrotecnologia* **40(4)**: 369-379.
- Gupta R, Anshua, Noureldeen A, Darwish H. 2021. Rhizosphere mediated growth enhancement using phosphate solubilizing rhizobacteria and their tri-calcium phosphate solubilization activity under pot culture assays in rice (*Oryza sativa*). *Saudi Journal of Biological Sciences* **28**:3692-3700.
- Kesaulya H, Baharuddin, Zakaria B, Syaiful SA. 2015. The ability phosphate solubilization of bacteria rhizosphere of potato Var. Hartapel from Buru Island. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* **4(1)**: 404-409.
- Khumairah FH, Jingga A, Fitriatin BN, Simarmata T. 2022. Aplikasi pupuk hayati fosfat dan bahan pembenah tanah organik untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen jagung (*Zea mays* L) pada tanah masam. *Soilrens* **20(2)**: 112-118.
- Li Y, Liu X, Hao T, Chen S. 2017. Colonization and maize growth promotion induced by phosphate solubilizing bacterial isolates. *Internasional Journal of Molecular Sciences* **18(7)**: 1253.
- Liang JL, Liu J, Jia P, Yang T, Zeng Q, Zhang S, Liao B, Shu W, Li J. 2020. Novel phosphate-solubilizing bacteria enhance soil phosphorus cycling following ecological restoration of land degraded by mining. *The ISME* **14**: 1600-1613.

- Liu F, Qian J, Zhu Y, Wang P, Hu J, Lu B, He Y, Tang S, Shen Y, Liu Y, Li F. 2024. Phosphate solubilizing microorganisms increase soil phosphorus availability: A Review. *Geomicrobiology* **41(1)**: 1-6.
- 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.
- Moinard V, Levavasseur V, Houot S. 2021. Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. *Resources, Conservation and Recycling* **169**: 105523.
- Panjaitan FJ, Bachtiar T, Arsyad I, Lele OK. 2020. Isolasi dan karakteristik bakteri pelarut fosfat (BPF) dari rhizosfer tanaman jagung fase vegetatif dan fase generatif. *Jurnal Agroplasma* **7(2)**: 53-60.
- Phillips R, Fahey T. 2006. Trees species and mycorrhizal associations influence the magnitude of rhizosphere effects. *Ecology* **87(5)**: 1302-1313.
- Purwanti D, Setyaningsih R, Susilowati A. 2019. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of rice in organic and non-organic rice fields in Sukoharjo District, Indonesia. *Borneo Wetland* **9(1)**: 108-115.
- Rafique M, Sultan T, Ortas I, Chaudhary HJ. 2017. Enhancement of maize plant growth with inoculation of phosphate-solubilizing bacteria and biochar amendment in soil. *Soil Science and Plant Nutrition* **63(5)**: 460-469.
- Silva LI, Pereira MC, Carvalho AMX, Buttrós VH, Pasqual M, Dória J. 2023. Phosphorus-solubilizing microorganisms: A Key to sustainable agriculture. *Agriculture* **13**: 462.
- Sukmawati, Ala A, Patandjengi B, Gusli S. 2020. Exploring of promising bacteria from the rhizosphere of maize, cocoa and lamtoro. *Biodiversitas* **21(12)**: 5665-5673.
- Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD. 2017. *Soil fertility and fertilizers an introduction to nutrient management*. Havlin JL (eds). Eighth edition. Pearson: India.
- Utami AD, Wiyono S, Widyastuti R, Cahyono P. 2020. Keanekaragaman mikrob fungsional rizosfer nanas dengan berbagai tingkat produktivitas. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* **25(4)**: 584-591.
- Zaidi A, Khan MS, Ahemad M, Oves M, Wani PA. 2009. Recent Advances in Plant Growth Promotion by Phosphate-Solubilizing Microbes. In: Khan M, Zaidi A, Musarrat J (eds) *Microbial Strategies for Crop Improvement*. Springer: Berlin.
- Zicker T, von Tucher B, Kavka M, Eichler-Löbermann B. 2018. Soil test phosphorus as affected by phosphorus budgets in two long-term field experiments in Germany. *Field Crops Research* **218**: 158-170.