

Potensi Bakteri dari Tanah Perkebunan Tebu dalam Melarutkan Fosfat

Ana Mariatul Khiftiyah^{1,2}, Mochammad Iam Fahmition³, Anggik Ardianto³, Muhammad Muzadib³, Abdul Jabar³, M. Jalalluddin Al Kafi³, Ni'matuzahroh^{4,5,6*}, Nurul 'Aini², Arsy Habi Priyatama⁷, Silvia Kurnia Sari¹

¹Program Studi S3 Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

²Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah

³Program Studi Rekayasa Pertanian dan Biosistem, Fakultas Pertanian, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah

⁴Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

⁵Fakultas Teknologi Maju dan Multidisiplin, Universitas Airlangga

⁶PUI-PT Pusat Riset Rekayasa Molekul Hayati (Biome), Universitas Airlangga

⁷Program Studi S2 Biologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

*E-mail: nimatuzahroh@fst.unair.ac.id

ABSTRAK

Tebu merupakan salah satu tanaman penting di Indonesia. Rendahnya ketersediaan fosfor (P) di tanah menjadi faktor pembatas dalam pertumbuhan tanaman tebu. Keterbatasan P dapat diatasi dengan mengaplikasikan bakteri pelarut fosfat. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kemampuan bakteri yang diisolasi dari lahan perkebunan tebu di Desa Miagan, Kecamatan Mojoagung, Jombang dalam melarutkan fosfat. Isolasi bakteri dilakukan dengan metode pengenceran bertingkat. Isolat yang diperoleh dikarakterisasi secara makroskopis dan mikroskopis. Uji potensi bakteri dalam melarutkan fosfat dilakukan secara kualitatif dengan menumbuhkan isolat pada media Pikovskaya agar. Kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat ditunjukkan melalui indeks pelarutan. Isolat bakteri yang diperoleh sebanyak enam isolat dengan morfologi koloni yang beragam. Isolat SCB 1, SCB 2, SCB 3, SCB 4, dan SCB 5 memiliki bentuk sel basil, sedangkan isolat SCB 6 memiliki bentuk sel kokus. Seluruh isolat memiliki jenis Gram yang sama yaitu Gram positif. Keenam isolat bakteri memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat dengan indeks pelarutan $1,06 \pm 0,03$ sampai $1,37 \pm 0,27$. Penelitian yang dilakukan berhasil mendapatkan mikroba yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi pupuk hayati sehingga mendukung terwujudnya pertanian berkelanjutan.

Kata kunci: Bakteri pelarut fosfat; indeks pelarutan; pupuk; tebu.

PENDAHULUAN

Tebu menjadi tanaman perkebunan penting yang ditanam untuk memenuhi kebutuhan gula nasional. Pada periode 2019-2023 produksi gula di Indonesia mengalami fluktuasi, dengan peningkatan produksi tertinggi sebesar 54,32 ribu ton (2,31%) pada tahun 2022, lalu mengalami penurunan 168,41 ribu ton (7,01 %) pada tahun 2023 (Direktorat Statistik Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan, 2024). Produksi gula di Indonesia pada tahun 2023 tercatat sebesar 2,27 juta ton (Silalahi, 2024). Jumlah tersebut belum memenuhi kebutuhan nasional yang mencapai 2,93 juta ton pada 2023 (Silalahi, 2024). Defisit gula dipenuhi dengan melakukan impor (Silalahi, 2024). Padahal, Indonesia memiliki lahan perkebunan tebu yang luas. Namun, produktivitasnya cenderung menurun dalam 10 tahun terakhir (Silalahi, 2024). Hasil peramalan produksi gula tebu di Indonesia dengan menggunakan data Januari 2014 sampai Desember 2025 menunjukkan bahwa produksi gula cenderung stagnan (Hermawan *et al.*, 2025).

Peningkatan produksi tebu berkaitan erat dengan penyediaan hara bagi tanaman tebu. Salah satu kebutuhan hara esensial bagi tebu adalah fosfor (P) (Atmojo *et al.*, 2024). Unsur P melimpah di litosfer, namun P yang tersedia bagi tanaman, yaitu HPO_4^{2-} dan H_2PO_4^- terbatas (Paz-Ares *et al.*, 2022), sehingga membatasi pertumbuhan dan hasil tanaman (Pang *et al.*, 2024). Di tanah, unsur P dapat berupa P organik dalam bentuk yang inert dan tidak larut, serta fosfor anorganik yang terikat dengan ion-ion di dalam tanah, misalnya Fe^{3+} , Al^{3+} , dan Ca^{2+} , sehingga P menjadi tidak larut dan tidak dapat diserap tanaman (Pan & Cai, 2023; Santos *et al.*, 2025; Singh *et al.*, 2023). Untuk mencukupi kebutuhan P tanaman, aplikasi pupuk sintetis banyak dilakukan. Namun, penggunaan pupuk sintetis yang tidak

bijak dapat menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan, di antaranya adalah ketidakseimbangan hara di tanah dan eutrofikasi (Fatimah *et al.*, 2023; Pan & Cai, 2023). Selain itu, penggunaan pupuk sintetis yang berlebihan juga tidak sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development goals/ SDGs*) (BAPPENAS, n.d.).

Peningkatan efisiensi pemanfaatan P yang ramah lingkungan dan mendukung pertanian berkelanjutan antara lain adalah dengan memanfaatkan bakteri pelarut fosfat (BPF). BPF melarutkan fosfat dengan berbagai mekanisme. Mekanisme yang paling umum adalah dengan menghasilkan asam dan enzim yang dapat memineralisasi atau menghidrolisis fosfat tidak larut, serta membentuk kompleks dengan kation Fe^{3+} , Al^{3+} , dan Ca^{2+} untuk melarutkan fosfat (Pan & Cai, 2023). Selain itu, BPF juga dapat menghasilkan CO_2 dan hidrogen sulfida yang dapat menurunkan pH lingkungan, sehingga dapat menurunkan pH lingkungan dan melarutkan fosfat (Pan & Cai, 2023). Penelitian Santos *et al.*, (2025) menunjukkan bahwa aplikasi *Bacillus velezensis* secara tunggal, maupun dikombinasikan dengan monoammonium fosfat dengan 1/3 dosis pada tanaman tebu dapat meningkatkan ketersediaan fosfor sampai 22%. Penelitian Estrada-Bonilla *et al.*, (2021) mengkombinasikan kompos sebagai sumber fosfor dengan isolat bakteri pelarut fosfat dari genus *Bacillus* dan *Rhizobium* diaplikasikan pada tanaman tebu berhasil meningkatkan kandungan P pada tanaman dibandingkan dengan tanaman yang hanya mendapat kompos atau *triple superphosphate* saja. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa aplikasi bakteri pelarut fosfat dapat membantu efisiensi pemupukan P pada tanaman tebu, serta memberi alternatif peningkatan P pada tanaman secara berkelanjutan.

Formulasi mikroba yang berperan dalam efisiensi pemupukan P dimulai dari proses isolasi untuk mendapatkan bakteri dengan kemampuan terbaik. Kegiatan isolasi mikroba pelarut fosfat telah dilakukan dari berbagai lokasi dan berbagai jenis habitat. Di Indonesia, bakteri pelarut fosfat pernah diisolasi dari rizosfer jati dan sengon di pegunungan kapur di Tulungagung (Mardyansyah & Trimulyono, 2021), dari rizosfer mangrove di (Alhafiza *et al.*, 2025; Fatimah *et al.*, 2023) dan dari lahan padi di Kabupaten Bangka (Kartika *et al.*, 2024). Eksplorasi lokasi dan habitat sangat penting dilakukan untuk mendapatkan isolat dengan kemampuan terbaik. Oleh sebab itu, eksplorasi bakteri pelarut fosfat dari lahan tebu di Jombang juga menarik untuk dilakukan guna mendapatkan isolat yang berpotensi dalam melarutkan fosfat. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kemampuan isolat bakteri yang diisolasi dari lahan perkebunan tebu di Jombang dalam melarutkan fosfat. Penelitian ini menjadi langkah awal dalam mendukung terwujudnya pertanian berkelanjutan yang terdapat dalam program SDG's.

METODE PENELITIAN

1. Pengambilan Sampel

Sampel tanah diambil dari lahan Perkebunan tebu di Desa Miagan, Kecamatan Mojoagung, Kabupaten Jombang, pada tanggal 17 Mei 2026. Sampel berasal dari satu titik pengambilan sampel di sekitar perakaran tanaman tebu. Sampel diambil pada kedalaman 0-10 cm. Sampel yang diperoleh disimpan pada suhu ruang selama sekitar 24 jam sebelum digunakan untuk tahapan isolasi bakteri.

2. Isolasi Bakteri

Isolasi bakteri dilakukan dengan metode pengenceran bertingkat. Sebanyak 10 gram sampel tanah dilarutkan ke dalam 90 mL NaCl 0,85% dan dihomogenkan. Suspensi tersebut merupakan pengenceran 10^{-1} . Selanjutnya, sebanyak 1 mL suspensi diambil dari pengenceran 10^{-1} lalu dimasukkan dalam 9 mL NaCl 0,85%, yang selanjutnya disebut sebagai pengenceran 10^{-2} . Pengenceran dilakukan sampai 10^{-8} . Sebanyak 1 mL suspensi dari pengenceran 10^{-4} , 10^{-6} , dan 10^{-8} , dimasukkan dalam cawan Petri yang berbeda, kemudian ditambahkan media *nutrient agar* (NA) pada masing-masing cawan Petri, lalu diinkubasi selama 48 jam pada suhu ruang. Koloni yang tumbuh pada media dimurnikan dengan metode gores kuadran. Isolat bakteri yang telah murni digunakan pada tahapan selanjutnya yaitu karakterisasi dan uji potensi bakteri dalam melarutkan fosfat.

3. Karakterisasi Isolat Bakteri

Karakterisasi yang dilakukan pada isolat bakteri meliputi karakterisasi makroskopis dan mikroskopis. Karakterisasi makroskopis dilakukan dengan mengamati koloni bakteri, meliputi bentuk, tepi, elevasi, permukaan, warna, dan karakteristik optik. Penentuan karakter makroskopis dilakukan dengan panduan seperti pada Rachael (n.d.). Karakterisasi mikroskopis sel bakteri dilakukan dengan pewarnaan Gram untuk mengamati bentuk sel dan jenis Gram bakteri.

4. Uji Potensi Bakteri dalam Melarutkan Fosfat

Uji potensi bakteri dalam melarutkan fosfat dilakukan dengan menginokulasikan masing-masing isolat bakteri pada media Pikovskaya agar dengan metode *spot inoculation*. Bakteri diinkubasi selama 48 jam pada suhu ruang. Bakteri yang dapat melarutkan fosfat ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri (Fatimah *et al.*, 2023; Mardiansyah & Trimulyono, 2021). Kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat dinyatakan dalam indeks pelarutan (IP) yang merupakan rasio diameter zona bening terhadap diameter koloni bakteri (Fatimah *et al.*, 2023).

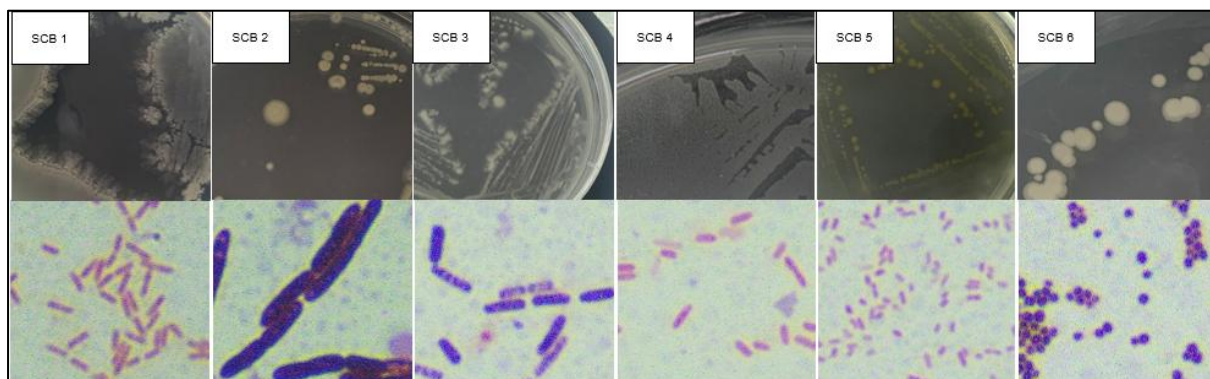
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, terdapat $3,1 \times 10^6$ CFU/g bakteri heterotrof dari sampel tanah yang diperoleh pada perkebunan tebu Desa Miagan, Jombang. Koloni yang tumbuh pada media NA yang terlihat berbeda dimurnikan untuk mendapatkan isolat tunggal. Pada penelitian ini diperoleh enam isolat bakteri dengan karakteristik yang beragam. Karakteristik isolat bakteri yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik makroskopis dan mikroskopis isolat bakteri dari tanah perkebunan tebu, Desa Miagan, Kabupaten Jombang

Karakteristik yang diamati	Nama isolat bakteri					
	SCB 1	SCB 2	SCB 3	SCB 4	SCB 5	SCB 6
Ukuran	Besar	Sedang	Besar	Sedang	Kecil	Kecil
Bentuk	<i>Filamentous</i>	<i>Circular</i>	<i>Rhizoid</i>	<i>Irregular</i>	<i>Circular</i>	<i>Irregular</i>
Tepi	<i>Filamentous</i>	<i>Even</i>	<i>Lobate</i>	<i>Wavy</i>	<i>Wavy</i>	<i>Even</i>
Elevasi	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Convex</i>
Permukaan	<i>Smooth</i>	<i>Rough</i>	<i>Dull</i>	<i>Smooth</i>	<i>Glistening</i>	<i>Smooth</i>
Warna	<i>White</i>	<i>Creamy White</i>	<i>White</i>	<i>White</i>	<i>Yellowish white</i>	<i>White</i>
Karakteristik Optik	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>	<i>Opaque</i>
Bentuk sel	Basil	Basil	Basil	Basil	Basil pendek	Kokus
Gram	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif

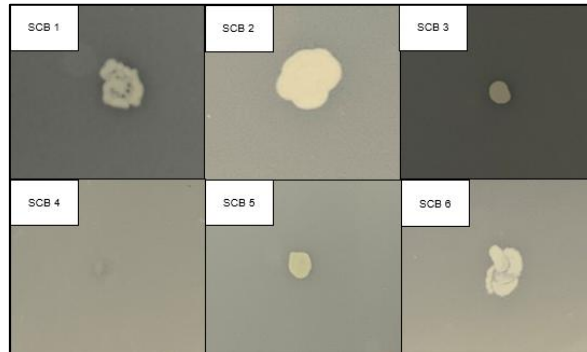
Bakteri tanah Perkebunan tebu Jombang memiliki karakteristik makroskopis dan mikroskopis yang beragam. Pada penelitian ini bentuk sel yang diperoleh terdiri dari basil dan kokus, dengan jenis Gram yang diperoleh seluruhnya adalah Gram positif. Meskipun seluruh isolat memiliki bentuk dan jenis Gram yang sama, terdapat variasi pada ukuran selnya (Gambar 1). Penelitian isolasi bakteri pelarut fosfat di Indonesia, bakteri yang diperoleh bervariasi, di antaranya dapat berbentuk batang, maupun kokus, dapat berupa Gram positif maupun Gram negatif (Alhafiza *et al.*, 2025; Fatimah *et al.*, 2023; Hala & Suryani, 2024; Kartika *et al.*, 2024; Mardiansyah & Trimulyono, 2021).



Gambar 1. Karakteristik makroskopis dan mikroskopis isolat bakteri dari tanah perkebunan tebu (pengamatan sel bakteri dilakukan dengan perbesaran 1000 $\times$)

Penelitian isolasi bakteri pelarut fosfat yang dilaksanakan sampai tahap identifikasi, bakteri basil Gram positif dapat teridentifikasi sebagai genus *Bacillus*, sedangkan bakteri kokus Gram positif dapat teridentifikasi sebagai genus *Micrococcus* maupun *Streptococcus* (Alhafiza *et al.*, 2025; Hala & Suryani, 2024). Namun, data karakteristik bakteri yang diperoleh pada penelitian ini (Tabel 1) belum dapat

digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi isolat yang terpilih. Diperlukan berbagai pengujian tambahan, di antaranya pengamatan endospora, uji katalase, uji oksidase, maupun identifikasi molekuler dengan analisis sekuens 16S rRNA.



Gambar 2. Zona bening yang terbentuk di sekitar koloni bakteri dari tanah perkebunan tebu yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat

Setelah diperoleh isolat bakteri, selanjutnya seluruh isolat diuji potensinya dalam melarutkan fosfat. Uji potensi pada penelitian ini dilakukan dengan menumbuhkan isolat pada media Pikovskaya agar yang mengandung fosfat tidak terlarut yaitu kalsium fosfat. Setelah masa inkubasi selama 48 jam, seluruh isolat memiliki zona bening yang terdapat di sekitar koloni, menandakan bahwa seluruh isolat memiliki potensi dalam melarutkan fosfat (Gambar 2). Oksana *et al.* (2020) menyatakan bahwa zona bening dapat terbentuk di sekitar koloni bakteri pelarut fosfat karena bakteri pelarut fosfat menghasilkan asam organik yang berikatan dengan ion Ca pada kalsium fosfat, dan menghasilkan fosfat terlarut. Hal tersebut menyebabkan media yang sebelumnya keruh menjadi bening.

Tabel 2. Kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat

Isolat	Indeks Pelarutan Fosfat
SCB 1	1,09±0,00
SCB 2	1,06±0,03
SCB 3	1,20±0,04
SCB 4	1,37±0,27
SCB 5	1,08±0,03
SCB 6	1,07±0,02

Berdasarkan zona bening yang terbentuk, dapat dihitung indeks pelarutan fosfat yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai indeks pelarutan tersebut dapat mencerminkan kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat secara kualitatif. Kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat dapat dikelompokkan dalam tiga kategori, yaitu rendah ($IP < 2,00$), sedang ($2,00 \leq IP \leq 4,00$), dan tinggi ($IP > 4,00$) (Marra *et al.*, 2011). Pada penelitian ini seluruh isolat menunjukkan kemampuan fosfat yang tergolong rendah. Rendahnya kemampuan isolat bakteri yang diperoleh pada penelitian ini dapat disebabkan karena isolasi dilakukan dengan menggunakan media NA yang mendukung pertumbuhan bakteri heterotrofik, sehingga isolat bakteri yang diperoleh tidak spesifik mengarah pada kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan uji potensi lainnya terhadap isolat bakteri, misalnya amilolitik dan selulolitik untuk mengungkap potensi isolat bakteri..

Pada penelitian ini isolat yang memiliki indeks pelarutan terbaik adalah isolat SCB 4. Isolat ini merupakan isolat basil Gram positif. *Bacillus* merupakan salah satu genus bakteri Gram positif dengan sel berbentuk basil yang banyak dari anggotanya telah diketahui memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat. Anggota dari genus ini yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat juga telah diaplikasikan pada berbagai jenis tanaman. *Bacillus thuringiensis* yang diaplikasikan pada *Arachis hypogaeae* yang ditanam di tanah ultisol berhasil meningkatkan ketersediaan P dan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Wang *et al.*, 2014). Penelitian lain yang dilakukan oleh Souza *et al.* (2023) menunjukkan bahwa aplikasi bakteri pelarut fosfat *Bacillus* spp. pada *Phaseolus vulgaris* dapat meningkatkan produksi tanaman.

KESIMPULAN

Isolasi bakteri dari sampel tanah perkebunan tebu di daerah Jombang berhasil memperoleh empat isolat berbentuk basil dan satu isolat berbentuk kokus, Gram positif. Seluruh isolat memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat dengan kategori rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) dan Pusat Pembiayaan dan Asesmen Pendidikan Tinggi (PPAPT) Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, serta Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhafiza, N. Z., Syah, R. F., & Kristalisasi, E. N. 2025. Isolation and Potential Test of Phosphate-Solubilizing Bacteria in the Rhizosphere of Mangrove Plants (*Rhizophora mucronata* Poir) as Isolates for Biofertilizer. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA)*, 7(1), 9–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.36378/juatika.v7i1.3865>.
- Atmojo, H. W., Machmudi, Nursandi, M., & Puspitasari, A. R. 2024. Pengaruh Pemupukan Anorganik pada Budidaya Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Varietas PSKA 942 di Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia. *Indonesian Sugar Research Journal*, 4(2), 13–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.54256/isrj.v4i1.120>.
- BAPPENAS. (n.d.). 2 *Tanpa Kelaparan*. Retrieved June 17, 2026, from <https://sdgs.bappenas.go.id/17-goals/goal-2/>.
- Direktorat Statistik Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan. 2024. *Statistik Tebu Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik. <https://web-api.bps.go.id/download.php?f=ZZfzrRN0x5KabTkeqYhBiWFyTmhBajd3NWpGQ2M3cmxIR2hhOE1BRVQ2SFA0bnRVT1VGRHZUTWijMDVrUzRXWUFkaFdJVXRud3duUzJPRWkxUTdCM0xYVGh1V0RFczBuZ01obXpZRTR6NmJuUno3d2lodHVnWTNOQWRoeDg4NFBxcMqWOGxmQU RoK1A0Y000c01aNk03akEvZ2RhWjZhSF>.
- Estrada-Bonilla, G. A., Durrer, A., & Cardoso, E. J. B. N. 2021. Use of Compost and Phosphate-Solubilizing Bacteria Affect Sugarcane Mineral Nutrition, Phosphorus Availability, and The Soil Bacterial Community. *Applied Soil Ecology*, 157, 103760. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103760>.
- Fatimah, Aula, N., Salsabila, S., Ramly, Z. A., Rose, S. Y., Surtiningsih, T., & Nurhariyati, T. 2023. Exploration of Phosphate Solubilizing Bacteria from Mangrove Soil of Lamongan, East Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(2), 1272–1278. <https://doi.org/https://doi.org/10.13057/biodiv/d240269>.
- Hala, Y., & Suryani, A. I. 2024. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Kayu Jawa (*Lannea Coromandelica*). *Prosiding Aeminar Nasional Hasil Penelitian*, 828–834.
- Hermawan, K. D. K., Cahyarani, A. I., Siregar, T. K. H., & Kartiasih, F. 2025. Peramalan Produksi Gula Tebu di Indonesia Menggunakan Model Hybrid SARIMA (SARIMA-ANN) dalam Mengukur Capaian Swasembada Gula 2025. *Agricore: Jurnal Agribisnis Dan Sosial Ekonomi Pertanian Unpad*, 10(1), 132–149.
- Kartika, K., Munif, A., Palupi, E. R., Ilyas, S., & Suhartanto, M. R. 2024. Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Upland Rice Cultivation Areas in Bangka Regency. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 09(01), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.22146/jtbb.84500>.
- Mardiansyah, D., & Trimulyono, G. 2021. Isolasi, Karakterisasi, dan Uji Potensi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Jati dan Sengon di Pegunungan Kapur, Daerah Selatan Kabupaten Tulungagung. *LenteraBio*, 10(2), 188–198. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n2.p188-198>.
- Marra, L. M., de Oliveira, S. M., Soares, C. R. F. S., & Moreira, F. M. D. S. 2011. Solubilisation of Inorganic Phosphates by Inoculant Strains from Tropical Legumes. *Note Scientia Agricola*, 68(5), 603–609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000500015>.

- Oksana, Irfan, M., Fianiray, A. R., & Zam, S. I. 2020. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah Ultisol di Kecamatan Rumbai, Pekanbaru. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 22–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v4i1.36063>.
- Pan, L., & Cai, B. 2023. Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Microorganisms*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>.
- Pang, F., Li, Q., Solanki, M. K., Wang, Z., Xing, Y.-X., & Dong, D.-F. 2024. Soil Phosphorus Transformation and Plant Uptake Driven by Phosphate-Solubilizing Microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1383813. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383813>.
- Paz-Ares, J., Puga, M. I., Rojas-Triana, M., Martinez-Hevia, I., Diaz, S., Poza-Carrión, C., Miñambres, M., & Leyva, A. 2022. Plant Adaptation to Low Phosphorus Availability: Core Signaling, Crosstalks, and Applied Implications. *Molecular Plant*, 15(1), 104–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.12.005>.
- Rachael. (n.d.). *How to See Bacteria on Your Hand (Bacteria Handprint)*. Retrieved <https://rsscience.com/how-to-see-bacteria-on-your-hand-bacteria-handprint/>.
- Santos, H. L., da Silva, G. F., Carnietto, M. R. A., da Silva, Gustavo Ferreira Fernandes, C. N., Ferreira, L. de S., & Silva, M. de A. 2025. Improving Sugarcane Biomass and Phosphorus Fertilization Through Phosphate-Solubilizing Bacteria: A Photosynthesis-Based Approach. *Plants*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/plants14172732>.
- Silalahi, A. V. 2024. Kebijakan Pengembangan Tebu Menuju Swasembada Gula Konsumsi. *Jurnal Perencanaan Pembangunan Pertanian*, 1(1), 75–86.
- Singh, A. K., Singh, J. B., Singh, R., Kantwa, S. R., Jha, P. K., Ahamad, S., Singh, A., Ghosh, A., Prasad, M., Singh, S., Singh, S., & Prasad, P. V. V. 2023. Understanding Soil Carbon and Phosphorus Dynamics under Grass-Legume Intercropping in a Semi-Arid Region. *Agronomy*, 13(1692), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy13071692>.
- Souza, A. E. S. de, Filla, V. A., Silva, J. P. M. da, Barbosa Júnior, M. R., Oliveira-Paiva, C. A. de, Coelho, A. P., & Lemos, L. B. 2023. Application of *Bacillus* spp. Phosphate-Solubilizing Bacteria Improves Common Bean Production Compared to Conventional Fertilization. *Plants*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/plants12223827>.
- Wang, T., Liu, M.-Q., & Li, H.-X. 2014. Inoculation of Phosphate-Solubilizing Bacteria *Bacillus thuringiensis* B1 Increases Available Phosphorus and Growth of Peanut in Acidic Soil. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 64(3), 252–259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09064710.2014.905624>.