



## Aktifitas Pelarut Fosfat Isolat Aktinomisetes asal Tanah Rizosfer Hutan Pinus Malino, Sulawesi Selatan

**Sitti Rahmah Sari\***

Program Studi Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Luwuk, Jl. KH Ahmad Dahlan, Luwuk, 94771, Sulawesi Tengah, Indonesia

\*Email Co-author: [stt.rahmahsari@gmail.com](mailto:stt.rahmahsari@gmail.com)

**Abstrak:** Aktinomisetes merupakan bakteri gram positif dengan kandungan GC (*Guanine-Cyto sine*) tinggi yang memiliki potensi sebagai agen biohayati salah satunya yakni membebaskan fosfat terikat dalam tanah agar dapat diserap oleh tanaman. Fosfat yang terkandung dalam tanah yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan secara langsung hanya tersedia dalam jumlah terbatas dikarenakan sebagian besar lainnya terikat oleh senyawa lain. Pada penelitian ini 15 isolat aktinomisetes yang berasal dari tanah rizosfer hutan pinus Malino Sulawesi Selatan diuji kemampuannya dalam melarutkan fosfat. Metode yang digunakan untuk menguji aktifitas pelarut fosfat yakni dengan menumbuhkan isolat pada media pikovskaya. Enam dari 15 isolat menunjukkan adanya aktifitas pelarutan fosfat dengan indeks kelarutan fosfat (IKF) tertinggi yakni pada isolat RWM 5. Hal ini mengindikasikan bahwa aktinomisetes memiliki kemampuan sebagai agen pengendali hayati yang mensekresikan enzim untuk melepaskan fosfat terikat menjadi fosfat yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

**Kata kunci:** *Aktinomisetes, Fosfatase, Malino, Pinus, Sulawesi selatan, Tanah Rizosfer*

## Phosphate Solvent Activity of Actinomycete Isolates from Rhizosphere Soil of Malino Pine Forest, South Sulawesi

**Abstract:** Actinomycetes is a gram-positive bacterium with high GC (*Guanine-Cyto sine*) content that has potential as a biohygienic agent, one of which is to free bound phosphate in the soil so that it can be absorbed by plants. Phosphate contained in soil that can be utilized by plants directly is only available in limited quantities because most of the others are bound by other compounds. In this study, 15 actinomycetes isolates from the rhizosphere soil of Malino pine forest in South Sulawesi were tested for their ability to dissolve phosphate. The method used to test the phosphate solubilizing activity was by growing the isolates on pikovskaya media. Six of the 15 isolates showed phosphate solubilization activity with the highest phosphate solubility index (IKF), namely isolate RWM 5. This indicates that actinomycetes have the ability as biological control agents that secrete enzymes to release bound phosphate into phosphate that can be utilized by plants.

**Key words:** *Actinomycetes, Malino, Pinus, Phosphatase, , Rhizosphere Soil, South Sulawesi*

### PENDAHULUAN

Aktinomisetes berdasarkan klasifikasinya termasuk dalam kerajaan Bacteria di kelas

Schizomycetes, subkelas Actinobacteridae, ordo Actinomycetales yang dikelompokkan lagi menjadi 13 subordo yang terdiri dari 48



# JBB: Jurnal Biologi Babasal

Journal homepage: <https://lonsuit.unismuhluwuk.ac.id/index.php/JBB>



famili dengan 219 genus (Zhi et al., 2009). Penyusun dinding sel aktinomisetes adalah polimer gula, gula amino dan beberapa asam amino seperti halnya bakteri gram positif. Sensitifitas terhadap beberapa antibiotik menempatkan aktinomisetes termasuk dalam golongan bakteri gram positif (Rahlwes et al., 2019). Aktinomisetes mempunyai perbedaan yang istimewa dibandingkan dengan kelompok bakteri lain yaitu mengalami pembelahan morfologis yang kompleks dan menghasilkan produk senyawa bioaktif (Anandan et al., 2016). Aktinomisetes dicirikan dengan kandungan GC tinggi (*High Guanine-Cytosine Gram Positive*). Secara umum kandungan GC aktinomisetes berkisar 51% sampai lebih dari 70%, walaupun ada beberapa jenis memiliki kandungan GC yang kurang dari 50%. Dari semua jenis mikroba, aktinomisetes merupakan penghasil senyawa aktif terbanyak dibandingkan dengan bakteri lain ataupun kapang, baik itu senyawa aktif sebagai antimikroba, antikanker, antivirus, maupun antikolesterol. Total jenis senyawa aktif yang dihasilkan oleh kelompok bakteri dari aktifitas metabolismenya adalah sebanyak 3.800 atau 17% dari total senyawa aktif yang telah ditemukan. Sementara itu aktinomisetes menghasilkan lebih dari 10.000 senyawa aktif, 7.600 diantaranya dihasilkan oleh *Streptomyces* dan 2.500 dihasilkan oleh aktinomisetes langka (Ventura et al., 2007).

Aktinomisetes memiliki rentang distribusi populasi yang sangat tinggi dan merupakan kelompok mikroba terbesar yang dijumpai dalam tanah utamanya pada daerah rizosfer. Salah satu peran dari mikroba tanah adalah dapat melarutkan fosfat inorganik. Fosfat merupakan unsur hara makro esensial yang dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang besar. Fosfat yang digunakan sebagai nutrisi untuk

tumbuhan adalah fosfat dalam bentuk bebas, sedangkan fosfat yang terikat dengan senyawa lain tidak mampu dimanfaatkan oleh tumbuhan secara langsung. Kekurangan fosfat ini akan mengurangi jumlah produksi buah dan biji pada tanaman secara signifikan. Fosfat yang terkandung dalam tanah pada setiap gramnya berkisar antara 400-21.200 mg, akan tetapi kurang dari 1mg/kg saja yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dikarenakan sejumlah besar lainnya terikat oleh senyawa lain (Widawati et al., 2008). Belum banyak penelitian yang melaporkan bahwa aktinomisetes dapat meningkatkan dan memfasilitasi biotransformasi molekul fosfat yang tidak tersedia menjadi bahan kimia yang dapat digunakan tanaman. Diketahui bahwa aktinomisetes memiliki peran besar dalam memproduksi senyawa antibiotik dan beberapa jenis aktinomisetes telah digunakan sebagai agen biokontrol (Torres-Rodriguez et al., 2022). Berdasarkan informasi yang ada tersebut, maka sangat dimungkinkan aktinomisetes dapat menjadi salah satu dari mikroba pendukung usaha pertanian berbasis hayati.

Keragaman jenis aktinomisetes dilaporkan sangat bergantung pada faktor fisika, kimia dan biologi lingkungan tempat tumbuhnya. Tanah yang mengandung banyak air tidak mendukung pertumbuhan aktinomisetes, sedangkan daerah tanah yang kering atau setengah kering dapat mempertahankan jumlah populasi yang cukup besar, karena aktinomisetes memiliki ketahanan spora yang baik terhadap kekeringan (Farda et al., 2022). Tanah pada daerah hutan pinus merupakan salah satu daerah yang memungkinkan untuk ditemukannya aktinomisetes dalam jumlah melimpah, hal ini dikarenakan pinus merupakan pohon dengan nilai evapotranspirasi yang tinggi jika dibandingkan dengan jenis pohon lain,



yakni sekitar 64,5% dari total curah hujan, sehingga dapat mengurangi jumlah air yang terkandung dalam tanah (Tajuddin & Suryanto, 2022).

Daerah Hutan Pinus Malino di Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan, merupakan target lingkungan ekologi yang sangat menarik dalam eksplorasi aktinomisetes. Selain karena iklimnya yang tropis dan curah hujan yang signifikan sepanjang tahun, informasi mengenai kekayaan hayati di kota Malino Sulawesi Selatan masih sangat terbatas. 15 isolat aktinomisetes berhasil di isolasi dari tanah rizosfer hutan pinus malino Sulawesi Selatan pada penelitian sebelumnya (Sukmawaty et al., 2020). Penelitian ini bertujuan untuk melihat potensi aktinomisetes yang diisolasi dari tanah rizosfer hutan pinus malino Sulawesi Selatan sebagai agen penyedia nutrisi dalam tanah melalui kemampuannya dalam meremediasi fosfat terikat.

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar. Media yang digunakan adalah pikovskaya dengan

komposisi 10 g/L glukosa, 5 g/L  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ , 0,5 g/L  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 0,2 g/L KCl, 0,1 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,01 g/L  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 0,5 g/L yeast ekstrak dan 0,01 g/L  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  pada pH 7,0. Media uji dimasukkan dalam cawan petri, setelah padat biakan murni ditumbuhkan pada media uji. 15 isolat aktinomisetes diuji dan setiap isolat diulang sebanyak 2 kali. Inkubasi dilaksanakan selama 5 hari. Aktinomisetes pelarut fosfat yang membentuk *halozone* paling cepat dengan diameter paling besar secara kualitatif di sekitar koloni menunjukkan besar kecilnya potensi aktinomisetes pelarut fosfat dalam melarutkan unsur P dari bentuk yang tidak terlarut. Dihitung potensi mikroba dalam melarutkan P dengan menggunakan nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) yaitu nisbah antara diameter total (diameter koloni+diameter zona bening) terhadap diameter koloni (Elias et al., 2016).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

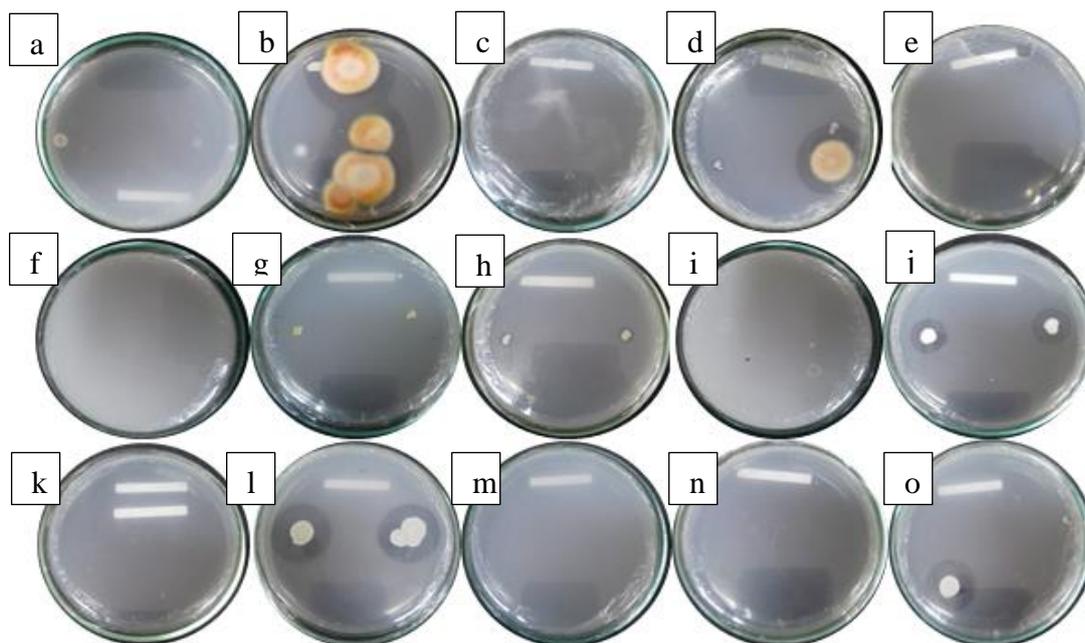
### HASIL

Sebanyak 6 isolat aktinomisetes terindikasi dapat melarutkan fosfat dengan membentuk zona bening pada permukaan media pikovskaya. Hasil uji pelarut fosfat dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

**Tabel 1** Indeks Pelarut Fosfat Isolat Aktinomisetes

No	Kode Isolat	Diameter Koloni (mm)	Diameter Zona Bening (mm)	Indeks Kelarutan Fosfat (IKF)
1	PTG 4	-	-	-
2	MLN 1	25	18	1,72
3	MLN 2	-	-	-
4	GNT 1	5	2	1,4
5	GNT 2	-	-	-
6	GNT 3	-	-	-
7	GNT 5	-	-	-
8	LMG 1	4	2	1,5
9	LMG 2	-	-	-
10	LMG 4	8	10	2,25

11	LMG 5	-	-	-
12	RWM 1	9	20	3,2
13	RWM 4.1	-	-	-
14	RWM 4.2	-	-	-
15	RWM 5	6	18	4



**Gambar 1.** Hasil Uji Kemampuan Pelarut Fosfat Isolat Aktinomisetes (a) PTG 1, (b) MLN 1, (c) MLN 2, (d) GNT 1, (e) GNT 2, (f) GNT 3, (g) GNT 5, (h) LMG 1, (i) LMG 2, (j) LMG 4, (k) LMG 5, (l) RWM 1, (m) RWM 4.1, (n) RWM 4.2, (o) RWM 5

## PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan 6 dari 15 isolat aktinomisetes asal tanah rizosfer hutan pinus dapat melarutkan fosfat. Terbukti dengan terbentuknya zona bening pada media pikovskaya. Zona bening tersebut mengindikasikan adanya aktifitas pelarutan fosfat yang dilakukan oleh aktinomisetes. Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) didapatkan dari perbandingan antara diameter total (diameter koloni + diameter zona bening) terhadap diameter koloni (Elias et al., 2016). Dari 6 isolat yang ada, isolat RWM 5 merupakan isolat yang paling potensial dalam melarutkan fosfat dengan nilai IKF terbesar yakni 4, sementara itu isolat

dengan kode GNT 1 memiliki nilai IKF terendah yakni 1,4.

Terbentuknya zona bening yang dihasilkan mengindikasikan bahwa 6 isolat aktinomisetes yang ditemukan dapat melarutkan fosfat anorganik berupa trikalsium fosfat ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)$ ) yang terdapat dalam media pikovskaya. Putri dkk. (Putri et al., 2018) menyatakan bahwa terbentuknya zona bening di sekitar koloni dapat disebabkan oleh aktifitas enzim fosfatase atau karena produksi asam organik atau polisakarida yang dihasilkan oleh aktinomistes.

Dalam penelitian ini nilai diameter koloni dan zona bening yang diambil sebagai data yang tercantum adalah pada



## JBB: Jurnal Biologi Babasal

Journal homepage: <https://lonsuit.unismuhluwuk.ac.id/index.php/JBB>



hari kelima setelah inkubasi dikarenakan salah satu isolat yang tumbuh mencapai ukuran yang terlalu besar sehingga diameter zona bening yang mencapai tepian cawan petri sulit untuk diukur. Pada pengamatan yang dilakukan estimasi kualitatif pelarutan fosfat oleh aktinomisetes pada media pikovskaya yang mengandung trikalsim fosfat menunjukkan pengembangan zona pelarutan yang jelas di sekitar koloni dan mencapai maksimum pada hari ke 14 dengan tidak adanya lagi penambahan diameter zona pelarutan sampai hari ke 21. Menurut Sakure dan Kshemkalyani (Sakure & Kshemkalyani, 2019) kemampuan untuk melepaskan fosfat dari trikalsium fosfat telah dibuktikan setelah 73 jam waktu inkubasi, ketika aktinomisetes pelarut fosfat muncul dengan zona bening di sekitar koloni dengan periode inkubasi optimum untuk pelarutan fosfat maksimum ditemukan sampai 15 hari inkubasi.

Adapun 9 isolat aktinomisetes lainnya tidak menunjukkan adanya kemampuan dalam melarutkan  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$  yang terkandung dalam media pikovskaya, hal ini dikarenakan kemampuan tiap mikroorganisme pelarut fosfat tumbuh dalam melarutkan fosfat yang berbeda-beda. Premono dkk. (Premono et al., 1991) melaporkan bahwa bakteri *Pseudomonas putida*, *Citrobacter intermedium* dan *Serratia mesenteroides* mampu meningkatkan P yang larut dalam medium  $\text{AlPO}_4$  dari batuan fosfat sebanyak 6-19 kali lipat, yaitu sekitar 0,57-22,0 ppm, tetapi tidak mampu melarutkan  $\text{FePO}_4$ . Menurut Raharjo dkk. (Raharjo, 2007) tanah asam dengan  $\text{pH} < 5,5$  didominasi oleh kation  $\text{Fe}^3$  dan  $\text{Al}^{3+}$  yang mengikat anion  $\text{H}_2\text{PO}_4$  dan mengendapkannya sebagai hidroksi  $\text{FePO}_4$  dan  $\text{AlPO}_4$ . Sedangkan pada  $\text{pH} > 6,0$  sistem tanah didominasi oleh kation  $\text{Ca}_2+$  dan  $\text{Mg}_2+$  yang juga mampu mengikat

$\text{H}_2\text{PO}_4$  dari tanah maupun pupuk fosfat sehingga menjadi dalam bentuk tidak tersedia. Hal ini menunjukkan bahwa aktinomisetes yang dapat melarutkan  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$  belum tentu dapat melarutkan  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  dan sebaliknya, disebabkan karena kemampuannya yang berbeda-beda dalam melarutkan fosfat yang terikat dengan senyawa tertentu.

Adanya kemampuan yang berbeda-beda dari 6 isolat aktinomisetes dalam melarutkan fosfat dapat disebabkan oleh daya adaptasi yang berbeda-beda terhadap lingkungan tempat tumbuhnya. Hal ini dijelaskan Widawati dan Suliasih (Widawati & Suliasih, n.d.) bahwa aktifitas bakteri dalam melarutkan fosfat terikat sangat dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban, pH, suplai makanan dan kondisi lingkungan selama pertumbuhannya. Widyati (Widyati, 2007) juga menjelaskan bahwa kemampuan bakteri dalam menghasilkan asam-asam organik pelarut fosfat sangat tergantung dari proses metabolisme bakteri itu sendiri. Proses metabolisme yang terjadi pada bakteri dipengaruhi oleh aktifitas enzim. Hal ini menunjukkan bahwa beberapa isolat aktinomisetes yang kemampuannya cukup rendah dalam melarutkan fosfat, diduga disebabkan karena belum optimal dalam mensekresikan enzim sehingga asam-asam organik yang dapat meningkatkan ketersediaan unsur P menjadi kurang tersedia.

Pelarutan P terjadi karena adanya reaksi enzimatik yang dihasilkan oleh aktinomisetes, seperti fosfatase, fitase, firofosfatase, dan metafosfatase. Masing-masing enzim tersebut memiliki reaksi yang menghasilkan fosfat yang tersedia (ortofosfat). Pelarutan fosfat dapat juga disebabkan oleh sejumlah asam-asam organik *nonvolatile* yang dihasilkan oleh mikroba. Asam-asam ini diperoleh dari



## JBB: Jurnal Biologi Babasal

Journal homepage: <https://lonsuit.unismuhluwuk.ac.id/index.php/JBB>



metabolisme glukosa sebagai sumber karbon. Asam organik tersebut antara lain asam sitrat, asam glutamat, asam suksinat, asam laktat, asam oksalat, asam glioksalat, asam malat, asam fumarat, asam tartrat dan asam  $\alpha$ -ketobutirat (Nurkanto, 2007). Selanjutnya asam-asam organik tersebut akan bereaksi dengan bahan pengikat fosfat seperti  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  yang kemudian akan membentuk khelat organik yang stabil sehingga mampu membebaskan ion fosfat terikat yang dapat diserap oleh tanaman (Sonia & Setiawati, 2022). Jog dkk. (Jog et al., 2014) melaporkan bahwa *Streptomyces* mhcr0816 menghasilkan asam malat (50-55 mmol/L) yang dapat melarutkan sebanyak 1916 mg fosfat anorganik yang melibatkan kerja enzim.

Proses pelarutan fosfat oleh aktifitas mikroorganisme berkaitan dengan pelepasan ion  $H^+$  dari sitoplasma ke luar sel. Hal ini dikarenakan adanya bantuan serapan dari kation khususnya  $NH_4^+$  dan melalui ATPase yang kemudian memindahkan ion  $H^+$ . Pelarutan sumber fosfat terjadi secara langsung di permukaan sel dan dihasilkan fosfat terlarut dalam bentuk  $H_2PO_4^-$  atau  $HPO_4^{2-}$  (Nurkanto, 2007).

Keberadaan aktinomisetes yang dapat melarutkan fosfat telah dikaji peneliti sebelumnya. Sebanyak 52 isolat (57,14% dari total isolat) yang diisolasi dari tanah Bukit Bangkirai Kalimantan Timur ditemukan mampu melarutkan fosfat terikat dengan rata-rata rasio zona bening 1,48 dan 45 isolat diantaranya diindikasikan sebagai *Streptomyces* (Nurkanto, 2007). Sementara itu Putri dkk. (Putri et al., 2018) juga berhasil mengisolasi aktinomisetes yang berasal dari sedimen air tawar Mamasa Sulawesi Barat, dari 30 isolat 36,6% berpotensi sebagai pelarut fosfat yang 8 isolat diantaranya merupakan *Streptomyces*. Di tanah hutan wilayah

Bahabubnagar India, 10 isolat aktinomisetes juga berhasil di isolasi, 4 diantaranya memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat, isolat yang menghasilkan zona bening paling lebar kemudian diidentifikasi sebagai anggota dari genus *Streptomyces* (Balakrishna et al., 2012).

Diperlukan kajian lebih mendalam mengenai kemampuan secara kualitatif aktifitas pelarutan fosfat  $Ca_3PO_4$  oleh 6 isolat aktinomisetes yang didapatkan dalam penelitian ini, utamanya pada isolat yang menghasilkan IKF dengan nilai tertinggi. Sehingga isolat ini kemudian dapat dimanfaatkan secara langsung dalam bidang pertanian. Pemanfaatan mikroorganisme pelarut fosfat sebagai pupuk hayati dilakukan sebab pemberian pupuk fosfat dalam bentuk pupuk kimiawi ke dalam tanah tidak berpengaruh besar terhadap kualitas pertanian. Hal ini menurut Respati dikarenakan fosfat yang diberikan akan mengalami pengikatan (immobilisasi) secara cepat sehingga hanya 15-20% fosfat yang dapat diserap oleh tanaman secara langsung dan sisanya terjebak menjadi residu dalam tanah (Respati et al., 2017).

Penggunaan mikroorganisme pelarut fosfat sebagai pupuk hayati dapat dilakukan dengan cara menginokulasi secara langsung pada tanaman benih atau diberikan ke biji (Paul, 2007). Inokulasi dilakukan biasanya pada saat tanam bersamaan dengan pemupukan P. Pada tanah-tanah yang kandungan P tinggi akibat akumulasi atau residu pemberian pupuk P yang menumpuk, maka mikroorganisme ini dapat digunakan sebagai penambang fosfat dari tanah-tanah tersebut. Pemberian mikroorganisme pelarut fosfat, diharapkan dapat memperbaiki kualitas pertanian dengan meningkatkan kelarutan P dari pupuk P yang diberikan maupun P yang



berasal dari residu pemupukan sebelumnya di dalam tanah.

## PENUTUP

15 Isolat aktinomisetes yang diisolasi dari tanah rizosfer hutan pinus Malino, Sulawesi Selatan di uji pelarutan fosfat. Sebanyak 40% isolat dapat melarutkan fosfat terikat dengan nilai indeks kelarutan fosfat paling tinggi di media pikovskaya yakni 4 pada isolat RMW 5. Hal ini mengindikasikan bahwa isolat aktinomisetes memungkinkan mensekresikan enzim yang dapat mengubah fosfat anorganik menjadi fosfat yang tersedia untuk tanaman. Pelarutan fosfat dapat juga disebabkan oleh sejumlah asam-asam organik *nonvolatile* yang dihasilkan oleh mikroba.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Sarjana Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin yang telah memberikan dukungan dan fasilitas dalam proses belajar mengajar dan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

Anandan, R., Dharumadurai, D., & Manogaran, G. P. (2016). An introduction to actinobacteria. In *Actinobacteria-basics and biotechnological applications*. IntechOpen.

Balakrishna, G., Shiva Shanker, A., & Pindi, P. K. (2012). Isolation of phosphate solubilizing actinomycetes from forest soils of Mahabubnagar district. *IOSR Journal of Pharmacy*, 2(2), 271–275.

Elias, F., Woyessa, D., & Muleta, D. (2016). Phosphate solubilization potential of rhizosphere fungi isolated

from plants in Jimma Zone, Southwest Ethiopia. *International Journal of Microbiology*, 2016(1), 5472601.

- Farda, B., Djebaili, R., Vaccarelli, I., Del Gallo, M., & Pellegrini, M. (2022). Actinomycetes from caves: an overview of their diversity, biotechnological properties, and insights for their use in soil environments. *Microorganisms*, 10(2), 453.
- Jog, R., Pandya, M., Nareshkumar, G., & Rajkumar, S. (2014). Mechanism of phosphate solubilization and antifungal activity of *Streptomyces* spp. isolated from wheat roots and rhizosphere and their application in improving plant growth. *Microbiology*, 160(4), 778–788.
- Nurkanto, A. (2007). Identifikasi Aktinomisetes tanah hutan pasca kebakaran Bukit Bangkirai Kalimantan Timur dan potensinya sebagai pendegradasi selulosa dan pelarut fosfat. *Biodiversitas*, 8(4), 314–319.
- Paul, E. A. (2007). Soil microbiology, ecology, and biochemistry in perspective. In *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (pp. 3–24). Elsevier.
- Premono, E. M., Widyastuti, R., & Anas, I. (1991). Pengaruh bakteri pelarut fosfat terhadap senyawa P sukar larut, ketersediaan P tanah dan pertumbuhan jagung pada tanah masam. *Makalah PIT Permi*, 2–3.
- Putri, A. L., Lisdiyanti, P., & Kusmiati, M. (2018). Identifikasi Aktinomisetes Sedimen Air Tawar Mamasa, Sulawesi Barat Dan Aktifitasnya Sebagai Antibakteri Dan Pelarut Fosfat. *Jurnal Bioteknologi Dan Biosains Indonesia*, 5(2), 139–148.
- Raharjo, B. (2007). Pelarutan fosfat



## JBB: Jurnal Biologi Babasal

Journal homepage: <https://lonsuit.unismuhluwuk.ac.id/index.php/JBB>



- anorganik oleh kultur campur jamur pelarut fosfat secara in vitro. *Jurnal Sains Dan Matematika*, 15(2), 45–54.
- Rahlwes, K. C., Sparks, I. L., & Morita, Y. S. (2019). Cell walls and membranes of Actinobacteria. *Bacterial Cell Walls and Membranes*, 417–469.
- Respati, N. Y., Yulianti, E., & Rakhmawati, A. (2017). Kemampuan pelarutan Fosfat oleh bakteri termofilik pada variasi suhu dan pH. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Biologi. Jurusan Pendidikan Biologi*.
- Sakure, S., & Kshemkalyani, S. . (2019). Screening Of Actinomycetes For Phosphate Solubilization And Their Effect On Plant Growth. *International Journal of Recent Scientific Research*, 10, 30693–30695. <https://doi.org/10.24327/IJRSR>
- Sonia, A. V., & Setiawati, T. C. (2022). Aktifitas bakteri pelarut fosfat terhadap peningkatan ketersediaan fosfat pada tanah masam. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 15(1), 44–53. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v15i1.13449>
- Sukmawaty, E., Sari, S. R., & Masri, M. (2020). Characterization of Soil Actinomycetes From Malino Pine Forest Rhizosphere of South Sulawesi. *Elkawnie*, 6(2), 315. <https://doi.org/10.22373/ekw.v6i2.5383>
- Tajuddin, T., & Suryanto, D. A. (2022). Sebaran Potensi Hutan Pinus Dan Perannya Terhadap Perbaikan Kondisi Hutan Di Provinsi Sulawesi Selatan. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 17(1), 1–12.
- Torres-Rodriguez, J. A., Reyes-Pérez, J. J., Quiñones-Aguilar, E. E., & Hernandez-Montiel, L. G. (2022). Actinomycete potential as biocontrol agent of phytopathogenic fungi: mechanisms, source, and applications. *Plants*, 11(23), 3201.
- Ventura, M., Canchaya, C., Tauch, A., Chandra, G., Fitzgerald, G. F., Chater, K. F., & van Sinderen, D. (2007). Genomics of Actinobacteria: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 71(3), 495–548.
- WIDAWATI, S., NURKANTO, A., & SUDIANA, I. M. (2008). Phosphate solubilizing activities of Actinomycetes isolated from Waigeo, Raja Ampat islands, West Papua. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 9(2), 87–90. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d090202>
- Widawati, S., & Sulasih. (n.d.). Suliasih. 2006. 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.
- Widyati, E. (2007). Formulation of microbes inoculum: AMF, PSB and Rhizobium isolated of ex-coal mining site for Acacia crassicarpa Cunn. Ex-benth seedlings. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 8(3).
- Zhi, X.-Y., Li, W.-J., & Stackebrandt, E. (2009). An update of the structure and 16S rRNA gene sequence-based definition of higher ranks of the class Actinobacteria, with the proposal of two new suborders and four new families and emended descriptions of the existing higher taxa. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(3), 589–608.