

Isolasi, Karakterisasi, dan Uji Potensi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Jati dan Sengon di Pegunungan Kapur, Daerah Selatan Kabupaten Tulungagung

Isolation, Characterization, and The Potential Test of Phosphate Solubilizing Bacteria from Teak and Sengon Rhizosphere at Limestone Mountains, South Tulungagung Regency

Deviko Mardiansah*, Guntur Trimulyono

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Surabaya

*e-mail: deviko.17030244010@mhs.unesa.ac.id

Abstrak. Revitalisasi lahan akibat kegiatan pertambangan batu marmer di pegunungan kapur dapat dilakukan misalnya dengan menanam tanaman pionir. Tingginya kadar fosfat terikat di pegunungan kapur membuat tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik, sehingga diperlukan peran mikroorganisme seperti bakteri pelarut fosfat untuk melepaskan fosfat yang terikat. Penelitian dilakukan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi bakteri pelarut fosfat dari tanah rhizosfer tanaman jati dan sengon di pegunungan kapur daerah selatan Kabupaten Tulungagung Jawa Timur, serta menguji kemampuannya dalam melarutkan fosfat. Data penelitian yang diperoleh berupa data parameter lingkungan, karakter isolat, nilai indeks pelarutan fosfat, dan kadar fosfat terlarut. Nilai indeks pelarutan fosfat diukur dengan membandingkan total diameter koloni dan *halo zone* dengan diameter koloni pada media Pikovskaya agar, sedangkan kadar fosfat terlarut pada media Pikovskaya cair diukur menggunakan spektrofotometer. Karakterisasi isolat meliputi karakter morfologi koloni dan sel, fisiologi, dan biokimia. Hasil penelitian berupa isolat bakteri pelarut fosfat yang sepuluh di antaranya memiliki *halo zone* tertinggi dengan karakteristik koloni berbeda yang kemudian dikarakterisasi dan diuji kemampuannya dalam melarutkan fosfat terikat. Nilai indeks pelarutan fosfat tertinggi pada media Pikovskaya agar adalah isolat IRS5 sebesar $2,85 \pm 0,28$ (kategori sedang) dan kadar fosfat terlarut tertinggi pada media Pikovskaya cair adalah isolat IRS26 sebesar $145,84 \pm 2,73$ ppm. Isolat bakteri pelarut fosfat yang diperoleh memiliki potensi sebagai *biofertilizer* dalam revitalisasi lahan bekas pertambangan batu marmer, sehingga diperlukan pengujian lebih lanjut.

Kata kunci: bakteri pelarut fosfat; karakterisasi; rhizosfer

Abstract. Land of marble mining at limestone mountains can be revitalizing by planting the pioneer plant. The high concentration of insoluble phosphate in limestone mountains makes the plant does not grow well. It needs the role of microorganisms that can solubilize the phosphate, like phosphate solubilizing bacteria. The research aimed to isolate, characterize phosphate solubilizing bacteria and the potency to solubilize phosphate. The samples took from rhizosphere soil of teak and sengon plants limestone mountains, south Tulungagung Regency, East Java. The environment parameters, isolate characters, phosphate solubilizing index, and concentration of dissolved phosphate was collected data. The phosphate-solubilizing index was measured by comparing the diameter total of bacteria colony and *halo zone* with a diameter of bacteria colony on Pikovskaya agar medium, while dissolved phosphate measured with a spectrophotometer. The characteristics of isolate did by observing the morphology and isolate cell, physiology, and biochemistry character. This research obtains phosphate solubilizing bacteria, among ten isolation produced a high *halo zone* with different colony character, then characterized and tested their potency to dissolving insoluble phosphate. The higher phosphate solubilizing index is $2,85 \pm 0,28$ as middle category (IRS5 isolate), and the highest amount of soluble phosphate is $145,84 \pm 2,73$ ppm (IRS26 isolate). Those isolates have the potency to revitalize ex-marble mining as *biofertilizers*. Because of that, it needs advanced research.

Key words: characterizations; phosphate solubilizing bacteria; rhizosphere

PENDAHULUAN

Provinsi Jawa Timur mempunyai kabupaten yang terletak di bagian selatan di antaranya Kabupaten Tulungagung. Kabupaten Tulungagung mempunyai fisiografi lahan yang terbagi menjadi tiga bagian, di antaranya adalah bagian selatan yang merupakan deretan pegunungan kapur selatan dari Jawa Timur, dikenal sebagai daerah yang relatif tandus dan kaya akan potensi hutan dan bahan tambang (Bappeda Jatim, 2013). Berdasarkan data dari Dinas Komunikasi dan Informasi Kabupaten Tulungagung (2018) menyatakan bahwa total luas hutan produksi yang terdapat di Kabupaten Tulungagung tahun 2017 sebesar 29.156,5 hektar yang tersebar luas di 14 kecamatan. Hutan produksi yang terdapat di Kabupaten Tulungagung didominasi oleh tanaman jati. Total produksi kayu untuk bahan bangunan yang berasal dari tanaman jati tahun 2017 mencapai 607,95 m³ dengan luas tebangan sebesar 74,8 hektar (Dinas Komunikasi dan Informasi Kabupaten Tulungagung, 2018). Hutan produksi yang ditanam selain tanaman jati adalah tanaman sengon. Menurut Krisnawati *et al.* (2011) tanaman sengon memiliki pertumbuhan yang relatif cepat dan tidak memerlukan syarat tumbuh yang bagus, sehingga tanaman sengon banyak diminati oleh masyarakat.

Kabupaten Tulungagung juga memiliki potensi bahan tambang batu marmer yang sangat besar. Jumlah sumberdaya batu marmer terukur di Kecamatan Besuki mencapai 15.731.738 ton (Tushadi, 1990 dalam Kurniawati dan Titisari, 2019). Selain di Kecamatan Besuki, pertambangan batu marmer juga terdapat di beberapa kecamatan lain seperti Kecamatan Campurdarat dan Kecamatan Tanggunggungung. Masyarakat sekitar pertambangan, utamanya masyarakat Desa Besole Kecamatan Besuki terkena dampak positif dengan adanya pertambangan batu marmer khususnya di bidang ekonomi (Sakti *et al.*, 2019). Sutono *et al.* (2019) menyatakan bahwa adanya aktivitas pertambangan dapat menyebabkan dampak negatif seperti rusaknya lingkungan, utamanya menimbulkan perubahan ekosistem, hilangnya flora dan fauna, dan dapat juga menurunkan kesuburan tanah.

Proses penambangan dapat menyebabkan adanya perubahan sifat fisika-kimia tanah, sehingga terjadi penurunan pada tingkat kesuburan tanah (Sembiring, 2008; Hamid *et al.*, 2017). Serpihan batu marmer yang tercampur dengan tanah akibat proses pertambangan batu marmer dapat menyebabkan berkurangnya kesuburan tanah, sehingga tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik (Sulistari, 2017). Menurut Dariah *et al.* (2010) langkah yang dapat digunakan dalam merevitalisasi lahan bekas pertambangan di antaranya adalah dengan menanam tanaman pionir. Tanaman pionir merupakan tanaman yang mampu bertahan hidup pada berbagai jenis kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, seperti area bekas pertambangan dan kebakaran (Widyasari *et al.*, 2010). Beberapa contoh dari tanaman pionir adalah tanaman karet, akasia, sengon, johar, dan kayu angin (Dariah *et al.*, 2010; Syachroni *et al.*, 2018). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Wahab *et al.* (2019) secara geokimia, pada batuan marmer terdapat beberapa senyawa kimia penyusun batuan kapur di antaranya kalsium oksida (CaO), yang mana CaO memiliki potensi besar untuk berikatan dengan unsur fosfat (P) yang terdapat di tanah, sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman. Untuk mendukung tumbuh kembang suatu tanaman selain diperlukan unsur nitrogen (N) juga diperlukan unsur P (Ginting *et al.*, 2006). Oleh karena itu, diperlukan mikroorganisme pelarut fosfat, di antaranya adalah bakteri pelarut fosfat yang dapat melarutkan P sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

Terdapat beberapa penelitian terkait dengan bakteri pelarut fosfat di antaranya adalah Wang *et al.* (2017) melakukan isolasi bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman kubis cina (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis*). Pande *et al.* (2019) mengisolasi dan mengkarakterisasi serta mengidentifikasi bakteri pelarut fosfat, *Burkholderia cepacian*, dari rhizosfer tanaman jagung manis cv. Golden Bantam. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Abdelmoteleb dan Gonzalez-Mendoza (2020) berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi *Bacillus cereus* dan *Bacillus megaterium* sebagai bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman *Tamarix ramossima*. Namun, belum terdapat penelitian terkait dengan bakteri pelarut fosfat yang berasal dari rhizosfer tanaman jati (*Tectona grandis*) dan tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*) di pegunungan kapur, daerah selatan Kabupaten Tulungagung. Oleh sebab itu, penelitian tentang bakteri pelarut fosfat dan potensinya dalam melarutkan unsur P terikat diperlukan, sehingga dapat memberikan informasi isolat bakteri pelarut fosfat yang berpotensi sebagai *biofertilizer* dalam merevitalisasi lahan bekas pertambangan batu marmer yang tinggi akan kandungan kapur dan dapat dimanfaatkan di bidang pertanian di pegunungan kapur, daerah selatan Kabupaten Tulungagung.

BAHAN DAN METODE

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian observasional yang dilakukan bulan September-Desember 2020. Sampel tanah rhizosfer tanaman jati (*Tectona grandis*) dan tanaman sengon

(*Paraserianthes falcataria*) di pegunungan kapur daerah selatan Kabupaten Tulungagung diambil ketika memasuki musim penghujan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Laboratorium Fisiologi Jurusan Biologi Universitas Negeri Surabaya.

Bahan-bahan yang digunakan adalah sampel tanah rhizosfer tanaman jati dan sengon, akuades steril, media Pikovskaya agar, media Pikovskaya cair, *yolk medium* (YM), *nutrient agar* (NA), *nutrient broth* (NB), *phenol red broth base* (sumber gula D-glukosa, sukrosa, laktosa, maltosa dan manitol), *methyl red - Voges Proskauer broth* (MR-VP), *triple sugar ion agar* (TSIA), *Simon's citrate agar*, media O/F (*Hugh-Leifson*), *arginin broth*, *lysine ion agar* (LIA), *mortality-indole-ornithine agar* (MIO), *nutrient gelatin*, *starch agar*, *methylene blue*, *crystal violet*, iodin, etil-alkohol 95%, safranin, metil merah, larutan Barrit A dan B, hidrogen peroksida 3%, *mineral oil* atau parafin cair, asam sulfat 10 N, *sodium molybdate*, *hydrazinium sulfat*, kalium dihidrogen fosfat, *oksidase strip*, aquades, *deionized water*, dan alkohol 70%.

Pembuatan media agar Pikovskaya dilakukan dengan mencampurkan *tri-calcium phosphate* 5 g, *ammonium sulfate* 0,5 g, *sodium chloride* 0,2 g, *magnesium sulphate heptahydrate* 0,1 g, *kalium chloride* 0,2 g, *glucose* 10 g, *yeast extract* 0,5 g, *manganese sulfate heptahydrate* 0,002 g, *iron (II) sulfate heptahydrate* 0,002 g, dan agar 20 g ke dalam labu Erlenmeyer dan ditambahkan 1 liter akuades (Sundara dan Sinha, 1963), sedangkan untuk membuat media Pikovskaya cair tidak perlu ditambahkan agar pada media. Pembuatan *yolk medium agar* dilakukan dengan mencampurkan pepton 10 g, *sodium chloride* 5,0 g, *beef extract* 10 g, satu buah kuning telur, agar 18 g, dan aquades 1 liter. Semua bahan-bahan tersebut dicampur hingga rata kecuali kuning telur. Kuning telur ditambahkan ke dalam media setelah disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 45°C (Tao *et al.*, 2008). Baik media Pikovskaya maupun *yolk medium agar* pH diatur pada skala 7 dengan menambahkan HCl 1M atau NaOH 1M.

Sampel tanah rhizosfer diambil secara komposit, yang mana sampel tanah diambil di beberapa titik kemudian dihomogenkan dengan pola zig-zag (Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, 2007). Sampel tanah rhizosfer diambil memakai sekop steril di lima titik dengan kedalaman 0-15 cm. Sampel tanah rhizosfer dari kelima titik dikompositkan dan diambil \pm 50 g untuk dianalisis lebih lanjut dan disimpan dalam plastik steril pada suhu 4-5°C hingga saat akan digunakan (Arfarita *et al.*, 2017). Sampel tanah yang diperoleh dibawa ke laboratorium menggunakan *cool box*. Suhu, pH, dan kelembaban tanah rhizosfer pada masing-masing titik diukur dengan termometer dan *soil tester*.

Sampel tanah rhizosfer sebanyak 50 g dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer yang berisikan 450 ml akuades steril dan kemudian di-*shaker* selama 30 menit dengan kecepatan 200 rpm (Tao *et al.*, 2008). Langkah selanjutnya memasukkan 1 ml suspensi ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml larutan *sodium chloride* (0.85%) steril dan dilakukan pengenceran hingga pengenceran ke 10^{-8} . Hasil dari pengenceran kemudian diinokulasikan pada media Pikovskaya agar menggunakan teknik cawan sebar (*spread plate method*) dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 3 hari (Tao *et al.*, 2008).

Halo zone (zona bening) yang terdapat disekitar koloni merupakan penanda bahwa koloni bakteri tersebut merupakan bakteri pelarut fosfat. Sepuluh koloni bakteri yang menghasilkan *halo zone* terbesar dengan karakter koloni berbeda diambil untuk dianalisis lebih lanjut.

Karakterisasi isolat bakteri dilakukan terhadap karakter morfologi, fisiologi, dan biokimia. Karakteristik secara morfologi dilakukan dengan mengamati karakter morfologi koloni (karakter optik, karakter permukaan, bentuk, elevasi, tepian, dan warna koloni) dan sel isolat (bentuk sel), sedangkan karakteristik fisiologis dan biokimia dilakukan dengan beberapa pewarnaan dan pengujian secara biokimia, yaitu: uji fermentasi karbohidrat, pewarnaan Gram, uji TSI, uji MR-VP, uji penggunaan sitrat, uji katalase, uji O/F (*Hugh-Leifson test*), uji dekarboksilase asam amino (lisin, arginin, ornitin), uji oksidasi, uji gelatin, dan uji hidrolisis pati.

Biakan murni masing-masing isolat diambil sebanyak 5 μ l dan diinokulasikan pada media Pikovskaya agar dan *yolk medium agar* dengan lama inkubasi selama tujuh hari pada suhu 30°C (Panhwar *et al.*, 2012; Larasati *et al.*, 2018). Nilai indeks pelarutan fosfat dihitung dengan membagi jumlah diameter *halo zone* dan diameter koloni dengan diameter koloni (Sánchez-Cruz *et al.*, 2020). Nilai indeks pelarutan fosfat dikategorikan ke dalam empat kategori yaitu: kategori sangat rendah dengan nilai indeks dibawah 1,00; kategori rendah antara 1,00 sampai 2,00; kategori sedang antara 2,00 sampai 3,00; dan kategori tinggi diatas 3,00 (Silva Filho dan Vidor, 2000 dalam Matos *et al.*, 2016).

Pengujian fosfat secara kuantitatif dilakukan dengan menginokulasikan 1 ml biakan murni usia 24 jam ke dalam labu Erlenmeyer berisikan 50 ml media Pikovskaya cair (sumber P dari $(Ca_3(PO_4)_2)$). Inkubasi biakan dilakukan pada suhu ruang dan di-*shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 7 hari. Pengukuran fosfat terlarut menggunakan metode Aung *et al.* (2011) dengan

menambahkan larutan *sodium molybdate* dan *hydrazinium sulfat*. Jumlah fosfat terlarut dibaca menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 830 nm. Derajat keasaman media pada akhir masa inkubasi diukur menggunakan pH meter.

Data karakteristik bakteri baik morfologi atau pun fisiologi dan biokimia dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan beberapa hasil literatur terkait, sedangkan data uji fosfat dan pengukuran faktor lingkungan (suhu dan kelembaban tanah) dianalisis secara deskriptif kualitatif.

HASIL

Dari hasil isolasi kedua sampel tanah rhizosfer diperoleh 35 isolat yang dapat menghasilkan *halo zone* dengan jelas dari sampel tanah rhizosfer tanaman sengon, sedangkan pada sampel tanah rhizosfer tanaman jati diperoleh 7 isolat (**Tabel 1**). Kedua tempat pengambilan sampel tanah rhizosfer memiliki nilai suhu, pH, dan kelembaban yang berbeda (**Tabel 2**).

Tabel 1. Hasil Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat

Jenis Sampel	Jumlah Isolat	Nama Isolat
Tanaman Jati	7	IRJ1, IRJ2, IRJ3, IRJ4, IRJ5, IRJ6, IRJ7
Tanaman Sengon	35	IRS1, IRS2, IRS3, IRS4, IRS5, IRS6, IRS7, IRS8, IRS9, IRS10, IRS11, IRS12, IRS13, IRS14, IRS15, IRS16, IRS17, IRS18, IRS19, IRS20, IRS21, IRS22, IRS23, IRS24, IRS25, IRS26, IRS27, IRS28, IRS29, IRS30, IRS31, IRS33, IRS34, IRS35

Tabel 2. Hasil Pengukuran Rerata Suhu, pH, Kelembaban, dan Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Rhizosfer.

Jenis Sampel	Suhu (°C)	pH	Kelembaban	Lokasi
Tanah Jati	31 ± 0,51	4 ± 0,44	Skala 8	Desa Besole, Kec. Besuki
Tanah Sengon	30 ± 0,24	5,1 ± 0,54	Skala 7-8	Desa Ngentrong, Kec. Campurdarat

Berdasarkan hasil isolasi yang diperoleh (**Tabel 1**), dipilih sepuluh isolat bakteri pelarut fosfat yang menghasilkan *halo zone* terbesar dengan karakter koloni yang berbeda. Kesepuluh isolat bakteri pelarut fosfat terpilih kemudian dilakukan karakterisasi meliputi karakter morfologi koloni (**Tabel 3**), karakter morfologi sel isolat, karakter fisiologi dan karakter biokimia (**Tabel 4**).

Tabel 3. Karakter Morfologi Koloni Isolat Bakteri Pelarut Fosfat Terpilih.

No.	Kode Isolat	Karakter Optik	Karakter Permukaan	Bentuk	Elevasi	Tepian	Warna
1	IRJ1	<i>Translucent</i>	Halus-mengkilap	<i>Circular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	Krem-putih
2	IRJ2	<i>Translucent</i>	Halus-mengkilap	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	Krem
3	IRJ4	<i>Translucent</i>	Halus-mengkilap	<i>Rhizoid</i>	<i>Flat</i>	<i>Filamentous</i>	Krem-putih
4	IRS1	<i>Opaque</i>	Halus-mengkilap	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	Coklat-krem
5	IRS4	<i>Opaque</i>	Halus-mengkilap	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	Putih susu
6	IRS5	<i>Transparent</i>	Halus-mengkilap	<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>	Putih-transparan
7	IRS7	<i>Transparent</i>	Halus-mengkilap	<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>	Putih-transparan
8	IRS9	<i>Translucent</i>	Halus-mengkilap	<i>Irregular</i>	<i>Convex</i>	<i>Undulate</i>	Krem
9	IRS26	<i>Opaque</i>	Halus-mengkilap	<i>Irregular</i>	<i>Raised</i>	<i>Entire</i>	Krem
10	IRS33	<i>Translucent</i>	Halus-mengkilap	<i>Irregular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	Coklat-krem

Tabel 4. Karakter Morfologi Sel, Fisiologi, dan Biokimia Isolat Bakteri Pelarut Fosfat Terpilih.

Karakter	Kode Isolat									
	IRJ1	IRJ2	IRJ4	IRS1	IRS4	IRS5	IRS7	IRS9	IRS26	IRS33
Bentuk Sel	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>
Gram	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maltosa	A	+	+	+	-	-	-	+	-	-
	G	+	+	+	-	-	-	+	-	-
D-glukosa	A	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	G	+	+	+	-	-	-	-	-	-

Karakter	Kode Isolat										
	IRJ1	IRJ2	IRJ4	IRS1	IRS4	IRS5	IRS7	IRS9	IRS26	IRS33	
Sukrosa	A	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+
	G	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Laktosa	A	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+
	G	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manitol	A	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-
	G	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ S	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
TSI	A/A, G	A/A, G	A/A, G	K/K	K/K	K/K	K/K	K/K	K/K	K/K	K/K
O/F	F	F	F	O	NR	O	O	NR	NR	NR	O
Gelatin	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+
Oksidasi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MR	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
VP	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Indol	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+
Motilitas	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
Lisin	-; G	+; G	+; G	-	+	+	+	-	+	+	+
Ornitin	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Arginin	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-
Sitrat	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
Katalase	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
Pati	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-

Ket: (+): positif; (-): negatif; A: asam; F: fermentatif; G: gas; K: alkali; NR: *no reaction*; O: oksidatif.

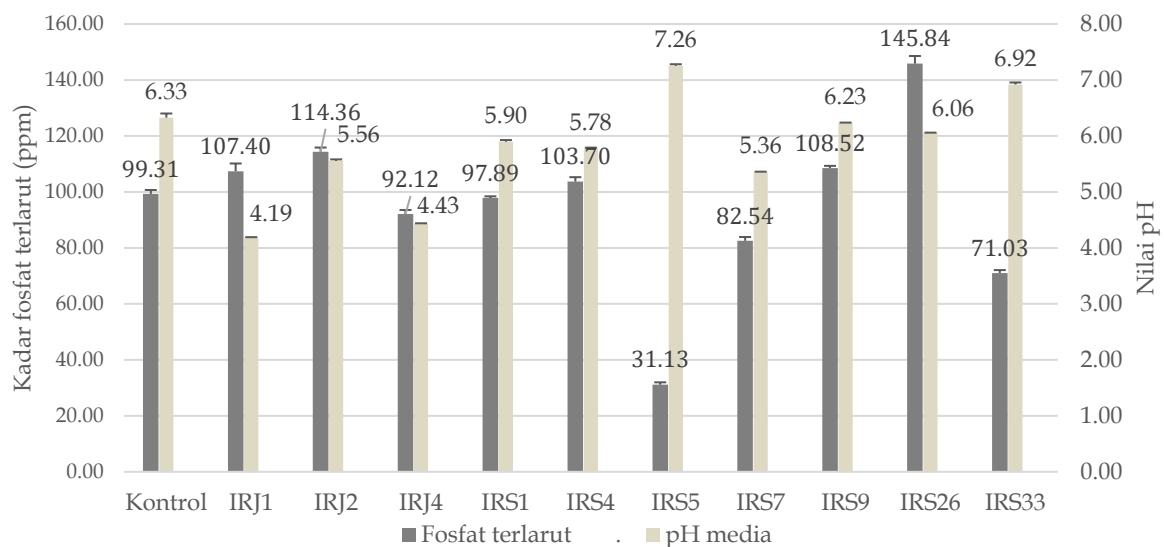
Kesepuluh isolat bakteri pelarut fosfat yang telah dikarakterisasi dilakukan pengujian pelarutan fosfat baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Hasil uji pelarutan fosfat secara kualitatif (**Tabel 5**) menunjukkan bahwa kesepuluh isolat bakteri pelarut fosfat dapat melarutkan fosfat anorganik ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) dengan nilai indeks pelarutan fosfat terendah sebesar $1,17 \pm 0,04$ dan tertinggi sebesar $2,83 \pm 0,28$, sedangkan hasil uji pelarutan fosfat organik (kuning telur) menunjukkan hasil yang negatif (tidak dijumpai adanya *halo zone* disekitar koloni). **Gambar 1** menunjukkan hasil pengujian fosfat secara kuantitatif dengan mengukur kadar fosfat terlarut pada media Pikovskaya cair. Kadar fosfat terlarut yang beragam dihasilkan dari kesepuluh isolat bakteri pelarut fosfat. Jumlah fosfat terlarut terbesar terdapat pada isolat IRS26 sebesar $145,84 \pm 2,73$ ppm. Dari hasil pengujian juga menunjukkan nilai yang bervariasi pada pH media (**Gambar 1**). Dari keseluruhan isolat menunjukkan bahwa pH media mengalami penurunan, dengan penurunan pH terbesar pada isolat IRJ1 dari pH 7,00 menjadi $4,19 \pm 0,01$. Akan tetapi, terjadi peningkatan pH media pada isolat IRS5 dari pH 7,00 menjadi $7,26 \pm 0,03$.

Tabel 5. Rerata Nilai Indeks Pelarutan Fosfat Anorganik dan Organik Isolat Bakteri Pelarut Fosfat Terpilih.

No.	Kode isolat	IPF anorganik ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	Kategori	IPF organik (kuning telur)	Kategori
1	IRJ1	$1,43 \pm 0,11$	R	-	-
2	IRJ2	$1,17 \pm 0,04$	R	-	-
3	IRJ4	$1,33 \pm 0,05$	R	-	-
4	IRS1	$1,92 \pm 0,07$	R	-	-
5	IRS4	$1,65 \pm 0,02$	R	-	-
6	IRS5	$2,83 \pm 0,28$	S	-	-
7	IRS7	$2,73 \pm 0,28$	S	-	-
8	IRS9	$1,67 \pm 0,23$	R	-	-
9	IRS26	$1,73 \pm 0,01$	R	-	-
10	IRS33	$1,76 \pm 0,09$	R	-	-

Keterangan: (-) = hasil negatif.

R = kategori rendah; S = kategori sedang (Silva Filho dan Vidor, 2000 dalam Matos *et al.*, 2016).



Gambar 1. Rerata kadar fosfat terlarut dan nilai pH media pada hari ke-7 inkubasi perlakuan bakteri pelarut fosfat terpilih.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pada **Tabel 1**, ditemukan isolat bakteri pelarut fosfat yang lebih banyak pada sampel tanah rhizosfer tanaman sengon dibandingkan sampel tanah rhizosfer tanaman jati. Penyebab perbedaan jumlah bakteri pelarut fosfat pada kedua sampel adalah adanya faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap jumlah dan jenis dari bakteri pelarut fosfat. Jika melihat hasil pengukuran faktor lingkungan (**Tabel 2**) dapat dikatakan perbedaan yang paling menonjol adalah pH tanah, yang mana pada pH tanah rhizosfer tanaman jati cenderung lebih asam jika dibandingkan dengan tanah rhizosfer tanaman sengon. Menurut Achmad (2011), pH pada tanah dapat bersifat asam disebabkan adanya asam karbonat, reaksi antara air hujan dengan gas karbondioksida di udara, yang nantinya dengan mudah dapat melarutkan kandungan kalsium dioksida dan magnesium karbonat/kalsit pada hutan bukit kapur. Derajat keasaman tanah dapat menentukan kelimpahan bakteri pelarut fosfat yang mana semakin rendah pH suatu tanah maka kelimpahan bakteri pelarut fosfat juga semakin rendah (Zheng *et al.*, 2019). Derajat keasaman optimum untuk pertumbuhan bakteri pelarut fosfat sendiri berkisar pada rentangan 5,6 -7 (Suparnorampus *et al.*, 2020), tetapi juga terdapat beberapa bakteri pelarut fosfat yang dapat hidup pada pH 4-8 dan 5-9 (Gainey, 2018). Populasi bakteri pelarut fosfat dapat dipengaruhi oleh kelembaban (Widawati dan Suliasih, 2006). Kelembaban dan suhu tanah dipengaruhi oleh adanya iklim, yang mana akan berdampak terhadap sifat fisiologis tanah sehingga populasi dan keanekaragaman mikroba di tanah akan beragam (Widyati, 2013). Suhu juga akan berdampak pada pertumbuhan dan perkembangan bakteri, utamanya kinerja enzimatis, sehingga berdampak terhadap populasi bakteri pelarut fosfat (Suriani *et al.*, 2013; Dewanti *et al.*, 2016).

Ada faktor lain yang dapat menjadi penyebab adanya perbedaan populasi dan kelimpahan bakteri pelarut fosfat selain dari tiga faktor yang disebutkan, yaitu eksudat dari tanaman, kadar C-organik, dan kadar P-tersedia di dalam tanah (Niswati *et al.*, 2008; Suparnorampus *et al.*, 2020). Kualitas eksudat suatu tanaman berbeda-beda tergantung dari jenis dan tipe perakaran, sedangkan komposisi asam amino dari suatu eksudat akan ditentukan dari jenis tanaman (Kato *et al.*, 1997). Menurut Suparnorampus *et al.* (2020) kadar C-organik dan P-tersedia di dalam tanah memiliki pengaruh yang saling bertolak belakang dengan jumlah populasi bakteri pelarut fosfat. Tingginya kadar P-tersedia di dalam tanah dapat menyebabkan rendahnya populasi bakteri pelarut fosfat. Berbeda dengan kadar P-tersedia, kadar C-organik yang tinggi pada tanah justru membuat jumlah populasi bakteri pelarut fosfat semakin tinggi.

Kadar C-organik memiliki peranan yang sangat penting bagi pertumbuhan bakteri, utamanya bakteri pelarut fosfat, karena digunakan sebagai sumber energi. Kadar C-organik paling banyak ditemukan di daerah rhizosfer, sehingga banyak ditemukan populasi bakteri di daerah rhizosfer (Widawati dan Suliasih, 2006). Peralihan musim, kemarau ke penghujan, menyebabkan adanya proses adaptasi bagi bakteri pelarut fosfat sehingga peralihan musim dapat menyebabkan adanya perbedaan jumlah bakteri pelarut fosfat (Diningtyas *et al.*, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Friska *et al.* (2015), tentang bakteri pelarut fosfat pada tanah gambut diperoleh lima genus, di antaranya ialah genus *Acinetobacter*. Karakter dari genus *Acinetobacter* sendiri meliputi bentuk sel yang *coccus* atau *coccobasil*, katalase negatif, uji O/F menunjukkan hasil fermentatif, dapat menggunakan sitrat sebagai sumber karbon, *non motil*, dapat menghidrolisis gelatin, dan tidak memproduksi indol (Friska *et al.*, 2015). Genus *Acinetobacter* mempunyai karakter kunci yaitu bakteri Gram negatif, bentuk sel batang (pada fase stasioner, panjang sel membulat), hasil uji oksidasi negatif dan hasil uji katalase positif (Holt *et al.*, 1994). Selain itu, terdapat penelitian lain yang menyatakan bahwa genus *Acinetobacter* juga mempunyai kemampuan dalam memfermentasi manitol dan D-glukosa (Li *et al.*, 2011). Berdasarkan karakter-karakter tersebut, isolat IRJ1, IRJ2 dan IRJ4 memiliki kesamaan karakter dari genus *Acinetobacter*.

Penelitian lain terkait dengan bakteri pelarut fosfat juga dilakukan oleh Marista *et al.* (2013), dan diperoleh delapan genus satu di antaranya adalah genus *Azotobacter*. Menurut Marista *et al.* (2013), genus *Azotobacter* mempunyai karakteristik seperti memiliki enzim katalase, *non motil*, hasil uji O/F menunjukkan oksidasi, uji sitrat positif, dan tidak dapat menghidrolisis gelatin. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa genus *Azotobacter* memiliki kemampuan dalam memfermentasi glukosa dan sukrosa, beberapa dapat menghidrolisis pati, uji ornitin negatif, uji VP negatif, dapat memproduksi indol, dan juga dapat menghasilkan gas H₂S (Akhter *et al.*, 2012; Naz *et al.*, 2012; Hala dan Ali, 2019). Karakter kunci dari genus *Azotobacter* adalah bakteri Gram negatif dengan bentuk sel *cocoid* atau *ovoid*, bersifat motil atau tidak, dan katalase positif (Holt *et al.*, 1994). Karakter-karakter yang telah dipaparkan memiliki kesamaan dengan karakter isolat IRS1, IRS4, IRS5, IRS7, IRS9, dan IRS33.

Genus *Acetobacter* tidak dapat melarutkan gelatin, uji katalase positif, *non motil*, Uji O/F berupa oksidasi, dapat menggunakan sitrat sebagai sumber karbon, beberapa dapat memfermentasi glukosa, maltosa dan sukrosa (Marista *et al.*, 2013). Selain itu, hasil uji dekarboksilase arginin dan ornitin negatif, dan hasil uji VP negatif (Longanathan *et al.*, 1999; Kowser *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2015). Karakter kunci dari genus *Acinetobacter* yaitu katalase positif, oksidasi negatif, bakteri Gram negatif, bentuk sel berupa batang (beberapa strain berbentuk lonjong, bulat, dan filamen), hidrolisis gelatin negatif, indol negatif, dan tidak menghasilkan gas H₂S (Holt *et al.*, 1994). Karakter yang terdapat pada isolat IRS26 memiliki kesamaan dengan karakter dari genus *Acetobacter* seperti yang telah dijabarkan pada uraian di atas.

Pada uji pelarutan fosfat secara kualitatif, *halo zone* yang terbentuk disekitar koloni bakteri menandakan bahwa adanya proses pelarutan fosfat. Mekanisme pelarutan fosfat umumnya terjadi karena adanya proses *acidification* atau pengasaman oleh mikroba pelarut fosfat dengan mensekresikan baik asam organik maupun anorganik yang dapat melepas ikatan khelat antara fosfat dengan pengkhat, seperti kalsium (Ca), sehingga menyebabkan penurunan nilai pH (Khan *et al.*, 2007; Khan *et al.*, 2009; Mohammadi, 2012; Sharma *et al.*, 2013; Alori *et al.*, 2017). Menurut Mohammadi (2012) asam organik yang disekresikan oleh mikroba pelarut fosfat lebih unggul dalam melarutkan fosfat dibandingkan dengan asam anorganik. Asam organik tersebut adalah asam oksalat (Kim *et al.*, 1997), asam sitrat, asam format (Pande *et al.*, 2017), asam 2-ketogluconic, asam glukonat (Chakdar *et al.*, 2018), dan lain-lain.

Uji pelarutan fosfat dengan sumber P pada kuning telur menunjukkan hasil negatif, tidak ditemukan adanya *halo zone* di sekitar koloni bakteri. Hal tersebut menandakan bahwa kesepuluh isolat bakteri pelarut fosfat terpilih tidak memiliki kemampuan memineralisasi fosfat pada media kuning telur. Proses mineralisasi sendiri melibatkan kerja enzimatik yang diekskresikan oleh mikroba pelarut fosfat (Sharma *et al.*, 2013). Enzim tersebut adalah enzim *phosphatase*. Selain enzim *phosphatase*, terdapat juga enzim *phytase* yang mana enzim *phytase* nantinya akan memineralisasi fosfat yang terdapat pada biji tanaman dan polen dalam bentuk *phytate* menjadi bentuk anorganik (Sharma *et al.*, 2013; Alori *et al.*, 2017). Dewanti *et al.* (2016), melalui penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa suhu berpengaruh terhadap produksi asam organik maupun enzim *phosphatase* yang dihasilkan. Produksi asam organik akan menurun bahkan tidak ada seiring dengan meningkatnya suhu, begitupula dengan enzim *phosphatase*. Penelitian Matos *et al.* (2016), menyatakan bahwa dari 27 isolat bakteri endofit dengan kemampuan melarutkan fosfat anorganik hanya terdapat 2 isolat yang mempunyai kemampuan dalam melarutkan fosfat organik dengan kategori sangat rendah pada media Pikovskaya agar dengan sumber P dari lesitin. Sumber P pada kuning telur berasal dari salah satu komponen penyusun kuning telur yaitu fosfolipid, yang mana pada komponen fosfolipid terdapat *phosphatidylcholine* (Xiao *et al.*, 2020). Menurut American Lecithin Company (2009) dan Alzheimer's Drug Discovery Foundation (2014), mengatakan bahwa *phosphatidylcholine* pada

fosfolipid merupakan penyusun utama lesitin dan dapat dijumpai pada telur, kacang-kacangan, biji kanola dan bunga matahari, dan bayam.

Beberapa penelitian dan literatur menyebutkan bahwa mekanisme pelarutan fosfat bukan hanya dilakukan dengan pengasaman, sekresi asam organik, melainkan terdapat berbagai mekanisme lain seperti ekstrusi proton dan eksopolisakarida (Yi *et al.*, 2008; Sharma *et al.*, 2013; Alori *et al.*, 2017). Hasil penelitian Chen *et al.* (2006) terkait asam organik yang diproduksi saat proses pelarutan fosfat terdapat tiga isolat yang tidak dijumpai adanya produksi asam organik, tetapi dapat melarutkan fosfat dalam jumlah yang rendah. Hasil penelitian Chen *et al.* (2006), membuktikan bahwa mekanisme pelarutan fosfat dengan pengasaman menggunakan asam organik bukan merupakan satu-satunya mekanisme yang terjadi pada pelarutan fosfat, khususnya pada bakteri. Korelasi antara kadar fosfat terlarut dengan turunnya pH pada media tidak selalu ada (Nautiyal *et al.*, 2000). Kenaikan pH media menurut Chakdar *et al.* (2018) akan sebanding dengan menurunnya kemampuan bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan fosfat.

Perlakuan kontrol pada uji fosfat secara kuantitatif ditemukan adanya fosfat terlarut sebesar $99,31 \pm 1,40$ ppm dan terjadi penurunan pada pH media sebesar 0,67. Menurut Raharjo *et al.* (2007), adanya fosfat terlarut pada media uji kontrol disebabkan adanya proses sterilisasi media menggunakan autoklaf, sehingga ikatan Ca-P putus. Molekul glukosa pada media juga akan menyebabkan turunnya nilai pH akibat adanya proses sterilisasi (Raharjo *et al.*, 2007). Jika hasil pengukuran kadar fosfat terlarut dari kesepuluh isolat dibandingkan dengan perlakuan kontrol, maka hanya isolat IRJ1, IRJ2, IRS4, IRS9, dan IRS26 yang memiliki hasil bersifat positif, sedangkan kelima isolat lainnya memiliki rata-rata kadar fosfat terlarut yang rendah, terutama isolat IRS5. Rendahnya kadar fosfat terlarut menurut Raharjo *et al.* (2007) dapat disebabkan karena adanya penggunaan P kembali oleh bakteri. Adanya penurunan aktivitas pelarutan fosfat juga ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan Chakdar *et al.* (2018), dimana kadar fosfat terlarut beberapa isolat pada hari keempat masa inkubasi mengalami penurunan diiringi dengan kenaikan pH media. Penelitian yang dilakukan oleh Arisna dan Asri (2019), juga menunjukkan bahwa adanya penurunan aktivitas pelarutan fosfat yang mana menurunnya aktivitas pelarutan fosfat diiringi dengan penurunan jumlah sel bakteri yang hidup. Berdasarkan kemampuan kesepuluh isolat bakteri terpilih dalam melarutkan fosfat, maka isolat tersebut memiliki potensi dalam merevitalisasi lahan bekas pertambangan batu marmer sebagai *biofertilizer* yang mana harus dilakukan uji lebih lanjut.

SIMPULAN

Penelitian yang dilakukan telah berhasil mengisolasi sebanyak 42 isolat bakteri yang mampu melarutkan fosfat yang 10 di antaranya mampu membentuk *halo zone* terbesar dengan karakter koloni berbeda. Indeks pelarutan fosfat pada media Pikovskaya agar tertinggi pada isolat IRS5 sebesar $2,83 \pm 0,28$ (kategori sedang) dan kadar fosfat terlarut pada media Pikovskaya cair tertinggi pada isolat IRS26 sebesar $145,84 \pm 2,73$ ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmoteleb A and Gonzalez-Mendoza D, 2020. Isolation and Identification of Phosphate Solubilizing *Bacillus* spp. from *Tamarix ramosissima* Rhizosphere and Their Effect on Growth of *Phaseolus vulgaris* Under Salinity Stress. *Geomicrobiology Journal*, 37(10): 901-908.
- Achmad A, 2011. *Rahasia Ekosistem Hutan Bukit Kapur*. Surabaya: Brilian Internasional.
- Akhter MS, Hossain AJ, Hossain SKA, and Datta RK, 2012. Isolation and Characterization of Salinity Tolerant *Azotobacter* sp. *Greener Journal of Biological Sciences*, 2(3): 43-51.
- Alori ET, Bernard RG, and Babalola OO, 2017. Microbial Phosphorus Solubilization and Its Potential for Use in Sustainable Agriculture. *Journal Frontiers in Microbiology* .8: 971.
- Alzheimer's Drug Discovery Foundation, 2014. Phosphatidylcholine and Lecithin. Web publication https://www.alzdiscovery.org/uploads/cognitive_vitality_media/Phosphatidylcholine-and-Lecithin-Cognitive-Vitality-For-Researchers.pdf. Diunduh tanggal 23 Januari 2021.
- American Lecithin Company, 2009. Lecithins and Phospholipids. Web publication http://www.americanlecithin.com/lecithin_2009.pdf. Diunduh tanggal 23 Januari 2021.
- Arfarita N, Lestari MW, Murwani I, and Higuchi T, 2017. Isolation of Indigenous Phosphate Solubilizing Bacteria from Green Bean Rhizospheres. *Journal of Degradation and Mining Lands Management*, 4(3): 845-851.
- Arisna W dan Asri MT, 2019. Potensi Isolat Bakteri Endofit Akar Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonium*) sebagai Bakteri Pelarut Fosfat. *Lentera Bio*, 1-8.
- Aung TN, Nourmohammadi S, Sunitha EM, and Myint M, 2011. Isolation of Endophytic Bacteria from Green Gram and Study on Their Plant Growth Promoting Activities. *IJABPT*, 2(3): 525-537.

- Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, 2007. *Metode Analisis Biologi Tanah*. Bogor: Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian
- Bappeda Jatim, 2013. *Kabupaten Tulungagung: Buku Bappeda 2*. Web publication <http://bappeda.jatimprov.go.id/bappeda/wp-content/uploads/potensi-kab-kota-2013/kab-tulungagung-2013>. Diunduh tanggal 28 Oktober 2019.
- Chakdar H, Dastager SG, Khire JM, Rane D, and Dharne MS, 2018. Characterization of Mineral Phosphate Solubilizing and Plant Growth Promoting Bacteria from Termite Soil of Arid Region. *3 Biotech*, 8(11): 1-11.
- Chen YP, Rekha PD, Arunshen AB, Lai WA, and Young CC, 2006. Phosphate Solubilizing Bacteria from Subtropical Soil and their Tricalcium Phosphate Solubilizing Abilities. *Appl. Soil Eco.*, 34: 33-41.
- Dariah A, Abdurachman A, and Subardja D, 2010. Reklamasi Lahan Eks-Penambangan untuk Perluasan Areal Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 4(1): 1-12
- Dewanti AW, Pratiwi E, and Nuraini Y, 2016. Viabilitas dan Aktivitas Enzim Fosfatase Serta Produksi Asam Organik Bakteri Pelarut Fosfat Pada beberapa Suhu Simpan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 3(1): 311-318.
- Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Tulungagung, 2018. *Data dan Statistik Umum Kabupaten Tulungagung Tahun 2018*. Web publication <https://tulungagung.go.id/wp-content/uploads/2019/01/Data-dan-Statistik-Umum-2018.pdf>. Diunduh pada tanggal 28 Februari 2020
- Diningtyas AS, Suarna IW, dan Lindawati SA, 2018. Evaluasi Total Bakteri dan Bakteri Pelarut Fosfat pada Rhizosfir Tanaman *Stylosanthes guianensis*, *Gliricidia sepium*, *Bracharia decumbens*, dan *Pennisetum purpureum* di Lahan Kering pada Musim Hujan. *Pasutra*, 8(1): 54-58.
- Friska W, Khotimah S, and Linda R, 2015. Karakteristik Bakteri Pelarut Fosfat pada Tingkat Kematangan Gambut di Kawasan Hutan Lindung Gunung Ambawang Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Probiot*, 4(1): 197-202.
- Gainey PL, 2018. Soil Reaction and The Growth of *Azotobacter*. *The Journal of Agricultural Research*, 14(7): 265-271.
- Ginting RCB, Saraswati R, and Husen E, 2006. *Mikroorganisme pelarut fosfat*. Bogor: Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Hala Y and Ali A, 2019. Isolation and Characterization of *Azotobacter* from Neems Rhizosphere. *Journal of Physics: Conference Series*, 1244: 012019.
- Hamid I, Priatna SJ, dan Hermawan A, 2017. Karakteristik Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Penelitian Sains*, 19(1): 23-31.
- Holt JG, Krig NR, Sneath P, Staley J, and Williams ST, 1994. *Bergeys Manual of Determinative Bacteriology 9th Edition*. Philadelphia USA: Lipincott Williams and Wilkins Company.
- Kato K, Arima Y, and Hirata H, 1997. Effect of Exudates Released from Seed and Seedling Root of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on Proliferation of *Rhizobium* sp (*Phaseolus*). *Soil Sci. Plant Nutr.* 43(2): 275-283.
- Khan AA, Jilani G, Akhtar MS, Naqvi SMS, and Rasheed M, 2009. Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their Role in Crop Production. *J. Agric. Biol. Sci.* 1(1): 48-58.
- Khan MS, Zaidi A, and Wani PA, 2007. Role of Phosphate-Solubilizing Microorganisms in Sustainable Agriculture - A Review. *Agron. Sustain. Dev.*, 22: 29-43.
- Kim KY, McDonald GA, and Jordan D, 1997. Solubilization of Hydroxapatite by *Enterobacter agglomerans* and Cloned *Escherichia coli* in Culture Medium. *Biol. Fert. Soil* 24:347-352.
- Kowser J, Aziz MG, and Uddin MB, 2015. Isolation and Characterization of *Acetobacter aceti* from Rotten Papaya. *J. Bangladesh Agril. Univ.*, 13(2): 299-306.
- Krisnawati H, Varis E, Kallio M, dan Markku K, 2011. *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas. Bogor: CIFOR.
- Kurniawati S, dan Titisari AD, 2019. Rekomendasi Pemanfaatan Marmer Berdasarkan Karakteristiknya. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 5(2): 251-266.
- Larasati ED, Rukmini MGI, Kusdiyantini E, dan Ginting RCB, 2018. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Gambut. *Bioma*, 20(1): 1-8.
- Lee KW, Shim JM, Kim GM, Shin JH, and Kim JH, 2015. Isolation and Characterization of *Acetobacter* Species from Traditionally Prepared Vinegar. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 43(3): 219-226.
- Li H, Duan Y, Ma G, Lei L, Zhang KQ, and Yang J, 2011. Isolation and Characterization of *Acinetobacter* sp. ND12 Capable of Degrading Nicotine. *African Journal of Microbiology Research*, 15(11): 1335-1341.
- Longanathan P, Sunita R, Parida AK, and Nair S, 1999. Isolation and Characterization of Two Genetically Distant Groups of *Acetobacter diazotrophicus* from a New Host Plant *Eleusine coracana* L. *Journal of Applied Microbiology*, 87(1): 167-172.
- Marista E, Khotimah S, dan Linda R, 2013. Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiaca* var. nipah) di Kota Singkawang. *Jurnal Protobiont*. 2(2).

- Matos ADM, Gomes ICP, Nietsche S, Xavier AA, Gomes WS, Neto JADS, and Pereira MCT, 2016. Phosphate Solubilization by Endophytic Bacteria Isolated from Banana Trees. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 89(4): 2945-2954.
- Mohammadi K, 2012. Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and Their Role in Crop Production. *Resources and Environment* 2(1): 80-85.
- Nautiyal CS, Bhadauria S, Kumar P, Lal H, Mondal R, and Verma D, 2000. Stress Induced Phosphate Solubilization in Bacteria Isolated from Alkaline Soils. *FEMS Microbiology Letters*, 182: 291-296.
- Naz I, Bano A, Rehman B, Perviaz S, Iqbal M, Sarwar A, and Yasmin F, 2012. Potential of *Azotobacter vinelandii* Khsr1 as Bioinoculant. *African Journal of Biotechnology*, 11(45): 10368-10372.
- Niswati A, Yusnaini S, dan Arif MAS. 2008. Populasi Mikroba Pelarut Fosfat dan P-Tersedia Pada Rizosfir Beberapa Umur dan Jarak dari Pusat Perakaran Jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Tanah Tropika* 13(2): 123-130.
- Pande A, Kaushik S, Pandey P, and Negi A, 2019. Isolation, Characterization, and Identification of Phosphate-Solubilizing *Burkholderia cepacia* from The Sweet Corn cv. Golden Bantam Rhizosphere Soil and Effect on Growth-Promoting Activities. *International Journal of Vegetable Science*, 26(6): 591-607.
- Pande A, Pandey P, Mehra S, Singh M, and Kaushik S, 2017. Phenotypic and Genotypic Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria and Their Efficiency on The Growth of Maize. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15: 379-391.
- Panhwar QA, Othman R, Rahman ZA, Meon S, and Ismail MR, 2012. Isolation and Characterization of Phosphate-Solubilizing Bacteria from Aerobic Rice. *African Journal of Biotechnology* 11(11): 2711-2719.
- Raharjo B, Supriyadi A, dan Agustina DK, 2007. Pelarutan Fosfat Anorganik Oleh Kultur Campur Jamur Pelarut Fosfat Secara in Vitro. *Jurnal Sains dan Matematika*, 15(2): 45-54.
- Sakti MB, Jamil AMM, dan Meviana I, 2019. Pengaruh Pertambangan Marmer terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Besole Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi*, 4(1): 17-25.
- Sánchez-Cruz NN, Meza-Contreras JC, Escalante FME, Marcías-Rodríguez ME, Salcedo-Perez E, and González-García Y, 2020. Phosphate Solubilization and Indole-Like Compounds Production by Bacteria Isolated From Forest Soil with Plant Growth Promoting Activity on Pine Seedlings. *Geomicrobiology Journal*, 37(10): 909-918.
- Sembiring S, 2008. Sifat Kimia dan Fisik Tanah pada Areal Bekas Tambang Bauksit di Pulau Bintan, Riau. *Info Hutan*, 5(2): 123-134.
- Sharma SB, Sayyed RZ, Trivedi MH, and Gobi TA, 2013. Phosphate Solubilizing Microbes: Sustainable Approach for Managing Phosphorus Deficiency in Agricultural Soils. *Springer Plus*, 2: 587.
- Sulistiari HT, 2017. Penambangan Batu Marmer di Desa Banjar, Kecamatan Panggul, Kabupaten Trenggalek (Tinjauan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 dan Fiqih Lingkungan) *Skripsi*. Dipublikasikan. Diakses melalui [http://13220148.pdf\(uin-malang.ac.id\)](http://13220148.pdf(uin-malang.ac.id)) pada 4 Februari 2021.
- Sundara R and Sinha M, 1963. Organisms Phosphate Solubilizers in Soil. *Indian J. Agr. Sci.* 33: 272-278.
- Suparnorampius S, Patadungan Y, dan Rois, 2020. Eksplorasi Bakteri Pelarut Fosfat Pada Berbagai Tanaman Industri dan Hortikultura di Dataran Tinggi Napu. *E-J. Agrotekbis*, 8(1): 25-31.
- Suriani S, Soemarmo, dan Suharjono, 2013. Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Laju Pertumbuhan Lima Isolat Bakteri Anggota Genus *Pseudomonas* yang Diisolasi dari Ekosistem Sungai Tercemar Deterjen di Sekitar Kampus Universitas Brawijaya. *J-PAL*, Vol. 3(2):58-62
- Sutono S, Haryati U, dan Agus F, 2019. Karakteristik Tanah dan Strategi Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang Timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 12(2).
- Syachroni SH, Rosianty Y, dan Samsuri GS, 2018. Daya Tumbuh Tanaman Pionir pada Area Bekas Tambang Timah di Kecamatan Bakam, Provinsi Bangka Belitung. *SYLVA*, Vol. 7(2): 78-97.
- Tao GC, Tian SJ, Cai MY, and Xie GH, 2008. Phosphate-solubilizing and Mineralizing Abilities of Bacteria Isolated from Soils. *Pedosphere* 18(4): 515-523.
- Wahab GM, Gouda M, and Ibrahim G, 2019. Study of Physical and Mechanical Properties for Some of Eastern Desert Dimension Marble and Granite Utilized in Building Decoration. *Ain Shams Engineering Journal* 10: 907-915.
- Wang Z, Xu G, Ma P, Lin Y, Yang X, and Cao C, 2017. Isolation and Characterization of a Phosphorus-Solubilizing Bacterium from Rhizosphere Soils and Its Colonization of Chinese Cabbage (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis*). *Frontiers in Microbiology* 8: 1270.
- Widawati S dan 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.
- Widyasari NAE, Saharjo BH, Solichin, dan Istomo, 2010. Pendugaan Biomassa dan Potensi Karbon Terikat di atas Permukaan Tanah pada Hutan Rawa Gambut Bekas Terbakar di Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1): 41-49.

- Widyati E, 2013. Pentingnya Keragaman Fungsional Organisme Tanah Terhadap Produktivitas Lahan. *Tekno Hutan Tanaman*, 6(1): 29-37.
- Xiao N, Zhao Y, Yao Y, Wu N, Xu M, Du H, and Tu Y, 2020. Biological Activities of Egg Yolk Lipids: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68: 1948-1957.
- Yi Y, Huang W, and Ge Y, 2008. Exopolysaccharidae: A Novel Important Factor in The Microbial Dissolution of Tricalcium Phosphate. *World Microbiol Biotechnol*, 24: 1059-1065.
- Zheng BX, Zhang DP, Wang Y, Hao XL, Wadaan MAM, Hozzein WN, Peñuelas J, Zhu YG, and Yang XR, 2019. Responses to Soil pH Gradients of Inorganic Phosphate Solubilizing Bacteria Community. *Scientific Reports*, 9(1): 1-8.

Published: 31 Mei 2021

Authors:

Deviko Mardiyansah, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jalan Ketintang, Gedung C3 Lt.2 Surabaya 60231, Indonesia, 60231, Indonesia, e-mail: deviko.17030244010@mhs.unesa.ac.id
Guntur Trimulyono, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jalan Ketintang, Gedung C3 Lt.2 Surabaya 60231, Indonesia, 60231, Indonesia, e-mail: gunturtrimulyono@unesa.ac.id

How to cite this article:

Mardiyansah 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