

ISOLASI, ENUMERASI, DAN KARAKTERISASI BAKTERI PELARUT FOSFAT (BPF) INDIGENUS TANAH DESA KEBUNAN SUMENEP SEBAGAI AGEN PUPUK HAYATI ORGANIK

Hefdiyah^{1*}, Mahrus Ali¹, Vita Kurnia Utami²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Sains dan Teknologi Annuqayah, Jl. Bukit Lancaran, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur, 69463

²Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Annuqayah, Jl. Bukit Lancaran, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur, 69463

*Corresponding author, e-mail: hefdiyah@gmail.com

ABSTRACT

Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB) are known that have important role to improve plant phosphate uptake as biofertilizer. These Microorganism hold potential to promote organic agriculture as eco friendly and efficiency. This study aims to isolate, enumerate and characterize indigenous PSB from Kebunan Village soil as the organic biofertilizer agent. Isolation and enumeration were carried out using the spread plate method on PCA media for enumeration of the total bacteria and Pikovskaya media (PKV) and NBRIP for BPF selection and enumeration. characterization includes observing the morphological colonies and cells. These experimental studies found that the soil pH was 6.5, the temperature range was 28-35 °C, the total P content was from 0.59 to 1.09 and the dissolved phosphate content sequentially from the smallest is 0.53 (KB2), 29.41 (KB1), 60.45 (KB3). The total abundance of bacteria at 3 different locations showed variations between 1.97×10^6 to 287×10^6 . The highest abundance of BPF reached 5.45×10^6 cfu/g was in the watershed which had the lowest available P content. Total 7 isolates of BPF were successfully isolated and characterized with different colony characters and cell shapes. The selected BPF isolates were dominated by Gram-positive bacilli.

Keywords: Biofertilizer, Characterization, Enumeration, Phosphorus, Phosphate Solubilizing Bacteria

PENDAHULUAN

Peningkatan kesadaran masyarakat tentang pola hidup sehat (Darwanto, 2016) dan bahaya yang ditimbulkan akibat penggunaan bahan kimia sintetis dalam produk pertanian (Purwantini & Sunarsih, 2020), mendorong peningkatan permintaan produk-produk berlabel organik (Darwanto, 2016). Produk organik dihasilkan dari sistem pertanian organik, yaitu sistem pertanian yang secara garis besar meningkatkan kualitas agroekosistem yang berkaitan dengan siklus dan aktivitas biologi tanah serta keragaman hayati (Parwata, 2019). Konsep dasar pertanian organik harus menggunakan bahan organik, artinya tidak melibatkan penggunaan bahan sintetik sebagaimana dijelaskan dalam Peraturan Menteri Pertanian Nomor 64/Permentan/Ot.140/5/2013 tentang Sistem Pertanian Organik, Pasal 1 Ayat 1 dengan ketentuan budidaya sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI).

Ketentuan penggunaan bahan penyubur yang diperbolehkan pada sistem pangan organik berdasarkan SNI 6729:2013 antara pupuk hijau, kotoran ternak, dan kompos, ganggang hijau, dan pupuk hayati (*biofertilizer*) yang semuanya berasal dari budidaya secara organik dan tidak berasal dari organisme atau produk hasil rekayasa genetika (GMO) (BSN, 2016). Dalam upaya pengembangan sistem pertanian organik,

perlu dilakukan eksplorasi terhadap sumber daya hayati yang potensial sebagai agen pupuk hayati.

Biofertilizer mengandung mikroorganisme fungsional sebagai penyedia nutrisi bagi tanaman yang terdiri dari organisme tunggal atau kumpulan dari beberapa organisme (Rohyani, 2014; Astuti et al., 2016). Potensi mikroorganisme ini antara lain memacu pertumbuhan tanaman, menghambat pertumbuhan penyakit tanaman (Rohyani, 2014), menambat nitrogen, mendegradasi selulosa dan melarutkan fosfat (Astuti et al., 2016).

Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) berperan penting dalam penyediaan unsur P bagi tanaman karena mampu mengubah P-terikat menjadi bentuk P-tersedia (Pande et al., 2017). Sebagian besar unsur fosfor (P) berada dalam bentuk terikat sehingga tidak mampu mendukung pertumbuhan tanaman (Kumar et al., 2018). Unsur hara P berperan penting dalam menghasilkan energi serta sebagai komponen penyusun protein dan asam nukleat bagi pertumbuhan tanaman (Kumar et al., 2018). Tanah di Pulau Madura termasuk kabupaten Sumenep memiliki kandungan P tersedia cenderung rendah dibandingkan dengan P-terikat. Selain itu, kandungan tanah di Pulau Madura memiliki kandungan C organik, N total, dan K yang rendah (Supriyadi, 2007). Kondisi ini menjadi salah satu perhatian untuk pengembangan pengelolaan tanah di Pulau Madura. Pemupukan fosfat yang biasa dilakukan dalam sistem pertanian dapat dikatakan tidak efisien karena fosfat terikat yang terdapat pada pupuk tidak bisa diserap langsung oleh tanaman. Untuk meningkatkan efisiensi dalam penyediaan fosfor bagi tanaman, maka perlu dikembangkan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) karena P yang terikat pada tanah hanya dapat dilarutkan oleh mikroorganisme pelarut fosfat. Salah satu mikroorganisme pelarut fosfat adalah bakteri. Bakteri mampu melepaskan berbagai jenis asam organik di dalam tanah yang membuat unsur P larut dan tersedia bagi tanaman (Billah et al., 2019).

Berdasarkan hasil eksplorasi yang dilakukan oleh Sub Direktorat Eksplorasi Mineral Industri dan Batuan, berlangsung dari tahun 1994 sampai dengan tahun 1999, meliputi Kabupaten Sampang, Pamekasan dan Kabupaten Sumenep, Tanah di Pulau Madura khususnya Desa Kebunan, Sumenep memiliki endapan fosfat yang tinggi yaitu mencapai 44,23 %. Endapan fosfat di Pulau Madura merupakan jenis fosfat guano yang mengandung mineral kolofan, dahlit dan hidroksi apatit (Yusuf, 2000). Endapan fosfat guano memiliki kelarutan rendah sehingga BPF dapat dimanfaatkan untuk mengubah fosfat tersebut menjadi bentuk tersedia tanpa perlu penambahan fosfat dari luar.

Kajian mengenai BPF indigenus tanah fosfat guano permukaan di Pulau Madura khususnya Kabupaten Sumenep hampir tidak ada, oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengeksplorasi potensi melalui isolasi, enumerasi dan karakterisasi terhadap BPF indigenus tanah fosfat guano permukaan di Desa Kebunan, Kabupaten Sumenep. Bakteri potensial yang didapat diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai agen pupuk hayati dalam upaya pengembangan pertanian organik di Indonesia sejalan dengan upaya Kementerian Pertanian melalui Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian untuk mendorong penggunaan pupuk organik yang diperkaya dengan mikroba/pupuk organik hayati.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini merupakan gabungan antara penelitian deskriptif kualitatif dan kuantitatif yang dilaksanakan pada bulan Juli–November 2022 di Laboratorium

Biologi Institut Sains dan Teknologi Annuqayah. Objek penelitian berupa bakteri tanah, khususnya BPF yang berasal dari Desa Kebunan, Sumenep, Madura.

Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah diambil dari Desa Kebunan, Kabupaten Sumenep. Sampel diambil dari 3 titik lokasi dengan metode *purposif sampling*. Sampel tanah diambil di titik yang dianggap merepresentasikan tiga vegetasi paling mungkin berbeda di Desa Kebunan, yaitu titik yang berada di sebelah kiri sungai (KB1), titik di daerah aliran sungai (KB2) dan titik yang berada di sebelah kanan sungai (KB3) sebagaimana tampak pada Gambar 1. Sampel tanah diambil di daerah rizosfer pada kedalaman ± 20 cm secara aseptis.



Gambar 1. Titik Pengambilan Sampel Tanah di Desa Kebunan, Sumenep. Titik kordinat pengambilan sampel tanah di 3 lokasi di Desa Kebunan, yaitu $-6^{\circ} 59' 25.5474''$, $113^{\circ} 51' 52.2072''$ (KB1), $-6^{\circ} 59' 7.1844''$, $113^{\circ} 51' 38.6712''$ (KB2), dan $-6^{\circ} 59' 33.9858''$, $113^{\circ} 52' 17.5434''$ (KB3)

Pengukuran Sifat Fisik Kimia Tanah

Sifat fisik kimia yang diukur dalam penelitian ini meliputi suhu, pH, warna, kandungan P total dan P tersedia. Suhu dan pH tanah diukur menggunakan *digital soil analyzer* Penetapan kadar P total dan P tersedia dilakukan di Laboratorium Tanah dan Sumberdaya Lahan, Prodi Agroteknologi, Universitas Trunojoyo Madura.

Isolasi dan Enumerasi Populasi Bakteri

Sebanyak 1 g tanah diambil dan dimasukkan ke dalam 9 ml aquades steril dan dihomogenkan dengan *vortex*. Sampel tersebut selanjutnya diencerkan secara bertingkat hingga pengenceran 10^{-5} . Hasil pengenceran 10^{-3} samapi 10^{-5} diambil sebanyak 100 μ l dan diinokulasikan ke dalam cawan petri yang berisi media *Plate Count Agar (PCA)* dengan metode *spread* secara duplo. Kultur selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang selama ± 24 jam. Jumlah koloni yang berada pada rentang 30-300 (O'Toole, 2016) dimasukkan ke dalam rumus *Colony Forming per Unit (CFU)*.

$$\text{Jumlah bakteri/g} = \text{jumlah koloni} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

Seleksi, Enumerasi dan Pemurnian BPF

Seleksi BPF dilakukan dengan menggunakan dua jenis media, yaitu agar Pikovskaya glukosa 10 g, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 2, 5 g, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,5 g, NaCl, 0,2 g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,1 g; KCl, 0,2 g, ekstrak yeast 0,5 g; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0,002 g, dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,002 g dan agar *National Botanical Research Institute's phosphate (NBRIP)* 10 g glukosa, 5 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 5 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,25 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,2 g KCl dan 0,1 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ masing-masing jenis media dilarutkan dalam 1 liter H_2O (Nautiyal, 1999). Hasil pengenceran bertingkat tahapan sebelumnya, diambil 100 μl dari pengenceran 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} diinokulasikan ke dalam media selektif dengan metode *spread* dan diinkubasi pada suhu 28 – 30 °C selama 2-5 hari (Paul dan Sinha, 2016; Pande et al., 2017). Perhitungan koloni BPF hanya dilakukan pada media NBRIP karena pada media Pikovskaya sering dijumpai koloni jamur yang mengganggu pengamatan. Koloni bakteri yang membentuk zona bening (*halozone*) dari cawan petri yang mengandung total bakteri 30-300, dihitung jumlahnya dan isolat-isolat terpilih dimurnikan. Isolat terpilih dipindahkan ke dalam cawan petri yang berisi media *Nutrient Agar (NA)* dengan metode gores 16 dan diinkubasi pada suhu ruang antara 27-30 °C selama ± 24 jam.

Karakterisasi Morfologi Isolat BPF Potensial

Karakterisasi isolat BPF terdiri dari pengamatan karakter morfologi koloni meliputi bentuk, tepi, elevasi, penampakan, optik, warna, dan tekstur serta pengamatan bentuk sel melalui pewarnaan. Pengujian dilakukan berdasarkan protokol *American Society for Microbiology* (2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelimpahan Bakteri dan BPF

Masing-masing sampel tanah dari 3 titik pengambilan sampel menunjukkan karakter fisik kimia yang berbeda kecuali pada nilai derajat keasaman (pH) (Tabel 1, Gambar 2). Sifat fisik kimia tanah dapat mempengaruhi kelimpahan bakteri yang terdapat di dalamnya. Sifat fisik kimia tersebut antara lain pH (Zheng et al., 2019), suhu (Suriani et al., 2013), kadar P dan Kandungan C-organik (Suparnorampus et al., 2020). Struktur tanah berpengaruh secara langsung terhadap kelimpahan bakteri namun, struktur tanah berpengaruh terhadap aerasi.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Parameter Fisik Kimia Sampel Tanah di Desa Kebunan Sumenep

Parameter Fisik Tanah	Titik Pengambilan Sampel		
	KB1	KB2	KB3
pH	6,5	6,5	6,5
Suhu	28°C	28°C	35°C
P Total (%)	0,59	0,18	1,09
P Olsen (mg Kg ⁻¹)	29,41	0,53	60,45
Struktur	Granuler	Butir Tunggal	Granuler



Gambar 2. Karakter Fisik (Warna dan Tesktur) Tanah di Masing-Masing Titik Pengambilan Sampel di Desa Kebunan, Sumenep.

Perbedaan sifat fisik kimia tanah dari ketiga sampel tanah dari Desa Kebunan, menyebabkan perbedaan kelimpahan total bakteri. Hasil perhitungan kelimpahan bakteri menunjukkan bahwa rata-rata kelimpahan total bakteri tanah di Desa Kebunan tertinggi terdapat di titik KB3 yaitu 287×10^6 cfu/g sedangkan yang terendah terdapat di titik KB2 yaitu $1,97 \times 10^6$ cfu/g. Pada Titik KB1 rata-rata kelimpahan bakteri sebesar $3,40 \times 10^6$ sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2. Dari penelitian dapat dikatakan bahwa kelimpahan bakteri berbanding lurus dengan kadar P total dan P tersedia karena pada sampel tanah KB3. Selain kelimpahan bakterinya tertinggi, kadar P total dan P tersedia pada KB3 juga memiliki nilai tinggi yaitu masing-masing 1.09% dan 60,45 ppm. Sedangkan pada sampel tanah KB2, kelimpahan bakteri terendah juga memiliki kadar P total dan P tersedia terendah yaitu masing-masing 0.18% dan 0.53 ppm (Tabel 1 dan 2).

Hasil pengukuran kadar P tersedia dalam tanah di Desa Kebunan, Sumenep menunjukkan hasil yang berbeda jika dibandingkan penelitian Yusuf (2000) yang menyebutkan bahwa endapan fosfat di Madura merupakan jenis endapan fosfat guano, terdiri dari mineral kolofan, dahlit dan hidroksi apatit. Kisaran kandungan P_2O_5 terendah terdapat di Desa Ellak Daya Kecamatan Lenteng yaitu sebesar 6,20% sedangkan yang tertinggi di daerah Desa Kabunan, Kecamatan Sumenep yaitu mencapai 44,23%. Perbedaan ini terjadi karena tidak ada informasi pasti mengenai titik lokasi pengambilan yang dilakukan pada penelitian sebelumnya sehingga kemungkinan terjadi perbedaan titik pengambilan sampel.

Tabel 2. Kelimpahan Bakteri Hasil Isolasi dari Sampel Tanah di Desa Kebunan, Sumenep

Parameter	Medium Uji	Populasi Bakteri Pelarut Fosfat (CFU/g)		
		KB1	KB2	KB3
Kelimpahan Bakteri	PCA	$3,40 \times 10^6$	$1,97 \times 10^6$	287×10^6
Kelimpahan BPF	NBRIP	$0,43 \times 10^6$	$5,45 \times 10^6$	$0,43 \times 10^6$

Keterangan: NBRIP = National Botanical Research Institute's Phosphate; PCA = Plate Count Agar

Berdasarkan hasil perhitungan kelimpahan BPF diketahui bahwa kelimpahan BPF berkebalikan dengan kelimpahan total bakteri. Kelimpahan BPF berbanding terbalik dengan kadar P total dan P tersedia karena pada sampel tanah yang memiliki kandungan P total dan P tersedia terendah justru memiliki rata-rata kelimpahan BPF yang tertinggi yaitu sebesar $5,45 \times 10^6$ cfu/g. Hasil ini selaras dengan penelitian Suparnorampius et al. (2020) yang menyebutkan bahwa tanah yang memiliki kadar P tersedia tinggi memiliki kandung BPF rendah. Pada dua titik pengambilan sampel lainnya, KKB1 dan KB3, memiliki rata-rata kelimpahan BPF yang sama yaitu, $0,43 \times 10^6$ cfu/g padahal kandungan kadar P total dan P tersedia berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor yang mempengaruhi kelimpahan bakteri tidak hanya kadar P. Beberapa faktor lain yang dilaporkan berpengaruh antara lain suhu (suriani et al., 2013) pH (Zheng et al., 2019), eksudat tanaman, kadar C-organik, (Suparnorampius et al., 2020). Suparnorampius et al. (2020) juga menyebutkan bahwa kelimpahan BPF yang tinggi mengindikasikan bahwa lingkungan tersebut lebih mendekati kondisi optimum untuk pertumbuhan BPF tersebut.

Suhu tanah mempengaruhi pertumbuhan bakteri karena berhubungan dengan aktivitas enzim (Darwanto et al., 2016). Setiap jenis bakteri memiliki suhu optimum yang berbeda-beda (Madigan et al., 2012). Pertumbuhan bakteri akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu mendekati suhu optimum akan tetapi menurun seiring peningkatan suhu menjauhi titik optimum (Madigan et al., 2012). Masing-masing tanah pada penelitian ini memiliki suhu yang berbeda yaitu 35 °C pada titik KB3 dan suhu yang sama 28 °C pada titik KB1 serta KB2. Suhu optimum pertumbuhan BPF sangat bervariasi didasarkan pada beberapa penelitian sebelumnya mulai dari 10°C hingga 50°C. Situmorang et al (2013) melaporkan bahwa suhu optimum pertumbuhan BPF adalah 25-30°C. Menurut Yadaf et al., (2013) suhu optimum pertumbuhan BPF adalah 50°C sedangkan menurut Behera et al., (2017) suhu optimum pertumbuhan BPF adalah 45°C. Pertumbuhan bakteri berbanding lurus dengan kelimpahan bakteri. Apabila pertumbuhan meningkat maka kelimpahan akan tinggi dan sebaliknya.

Kelimpahan bakteri dapat dipengaruhi oleh derajat keasaman dimana penurunan pH berdampak pada penurunan kelimpahan bakteri. Setiap jenis bakteri memiliki rentang pH optimum yang berbeda-beda (Zheng et al, 2019). pH tanah pada ketiga lokasi tersebut sama, yaitu pH 6.5. Rentang pH optimum untuk pertumbuhan (BPF) adalah kisaran 5,6 -7 (Suparnorampus et al., 2020).

Karakterisasi Morfologi Isolat BPF Potensial

Isolat BPF terpilih dari masing-masing media seleksi dipurifikasi dan dikarakterisasi secara morfologi. Jumlah total isolat terpilih sebanyak 9 isolat yang berasal dari 3 titik lokasi pengambilan sampel (Tabel 3). Sejumlah 2 isolat tidak dikarakterisasi karena menunjukkan morfologi koloni yang tidak konsisten selama purifikasi sekalipun telah menunjukkan keseragaman bentuk sel dan jenis Gram (KB113) sedangkan satu sisanya diduga yeast sehingga tidak dikarakterisasi. Sembilan isolate terpilih dan sumbernya ditunjukkan pada Tabel 3.

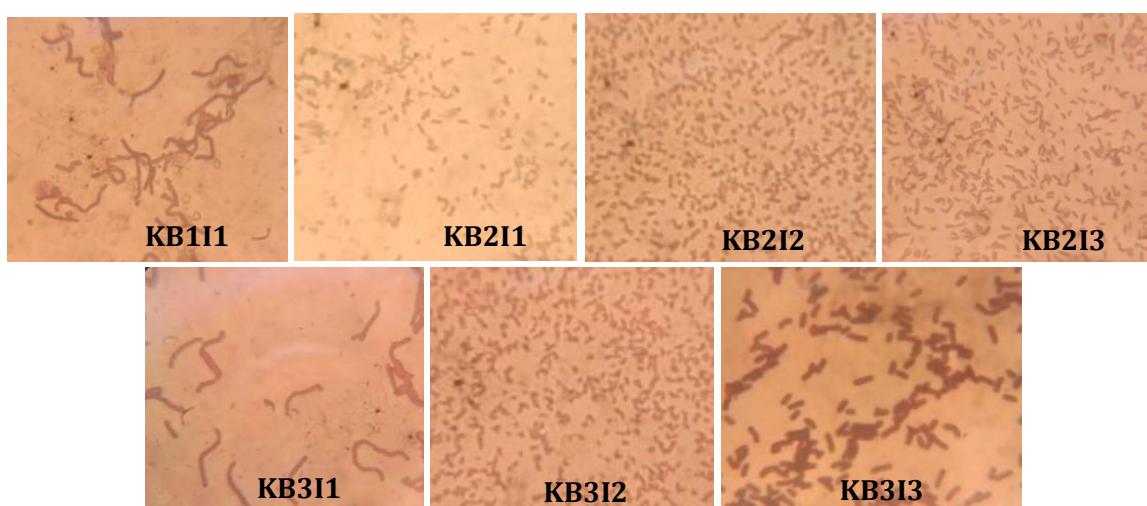
Isolat BPF yang terpilih kemudian dimurnikan dengan metode *streak plate* Koloni tunggal hasil pemurnian dikonfirmasi keseragaman bentuk sel dan jenis Gramnya melalui pewarnaan Gram. Hasil positif pewarnaan Gram akan menunjukkan warna ungu sedangkan hasil negatif akan ditunjukkan dengan warna orange-jingga (Gambar 3). Pengamatan hasil pewarnaan sangat subjektif dan sangat memungkinkan terjadi *false positive* sehingga penentuan jenis Gram dikonfirmasi dengan metode KOH 10% (Harley dan Prescott, 2002). Koloni dan sel isolat BPF terpilih didominasi oleh bakteri Gram positif berbentuk sel batang. Sebagian kecil isolat BPF terpilih termasuk Gram negatif berbentuk kokus sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Terdapat total 7 isolat bakteri yang berhasil dikarakterisasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ke-7 isolat memiliki setidaknya satu karakter yang membedakan dengan yang lainnya. Isolat terpilih memiliki 2 bentuk yang berbeda, yaitu circular dan punctiform. Elevasi bervariasi mulai dari raised, convex hingga pulvinate sedangkan tepi isolate semuanya rata. Tampilan isolat cukup bervariasi, Sebagian besar mengkilap dengan 4 variasi warna berbeda, yaitu krem, krem kebiruan, krem keputihan dan kuning. Karakter koloni bakteri berbeda dapat mengindikasikan jenis bakteri yang sama. Sebagaimana dijelaskan dalam Madigan et al., (2012) bahwa konsep spesies bakteri memiliki ruang lingkup yang sangat spesifik berdasarkan jenis pendekatan yang digunakan.

Tabel 3. Isolat Bakteri Pelarut Fosfat Terpilih

Kode Isolat	Sumber Isolat		Karakter Sel	
	Jenis Media	Titik Sampling	Bentuk	Gram (KOH 10%)
KB1I1	NBRIP	KB1	Streptobasil	Positif
KB1I2	PKV	KB1	TD	TD
KB1I3	PKV	KB1	Basil	Positif
KB2I1	NBRIP	KB2	Diplokokus	Negatif
KB2I2	NBRIP	KB2	Dipkokus	Negatif
KB2I3	NBRIP	KB2	Basil	Positif
KB3I1	NBRIP	KB3	Streptobasil	Positif
KB3I2	NBRIP	KB3	Koma	Positif
KB3I3	PKV	KB3	Basil	Positif

Keterangan TD: Tidak Diidentifikasi



Gambar 3. Hasil Pewarnaan Gram pada Isoat Bakteri KB1I1, KB2I1, KB2I2, KB2I3, KB3I1, KB3I2 dan KB3I3.

Beberapa jenis bakteri Gram positif basil dan Gram negatif kokus telah dilaporkan memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat. Genus *Azotobacter* adalah contoh bakteri Gram Negatif kokus yang telah dilaporkan mampu melarutkan fosfat (Marista *et al.*, 2013). Penelitian lain menyebutkan bahwa genus *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Chromobacterium* mempunyai kemampuan melarutkan P terikat dengan menggunakan Pikovskaya agar sebagai media uji (Pande, 2017). *Bacillus sp* adalah contoh bakteri Gram positif basil. Genus *Corynebacterium* merupakan salah satu bakteri Gram positif yang memiliki potensi sebagai pelarut fosfat yang diisolasi dari Pulau Poteran, Sumenap (Hefdiyah & Shovitri, 2014).

Pemanfaatan mikroorganisme indigenus sebagai *biofertilizer* merupakan salah satu alternatif pemanfaatan bakteri yang dapat dikembangkan dalam mengatasi permasalahan tanah yang kurang optimal. Biofertilizer indigenus juga diharapkan dapat meningkatkan kesuburan tanah untuk memenuhi persyaratan sebagai lahan pertanian yang bersifat ramah lingkungan sehingga tidak merusak ekosistem (Pangaribuan, 2018). Bakteri indigenus akan lebih mudah diterapkan di tempat asalnya sehingga meningkatkan efisiensi aplikasi tanpa harus melalui aklimatisasi yang terkadang membutuhkan waktu lama. Pemanfaatan organisme indigenus yang dapat mengacu pada makna lokal dalam sistem pertanian organik sejalan dengan anjuran pemerintah melalui Badan Standarisasi Nasional. Penerapan sistem

pertanian organik ini tidak hanya mampu meningkatkan kesehatan agroekosistem yang mencakup aspek keanekaragaman hayati, siklus biologi, dan aktivitas biologi tanah (Badan Standarisasi Nasional, 2016), namun juga meningkatkan kesehatan masyarakat karena terhindar dari dampak negatif penggunaan bahan kimia (Purwantini & Sunarsih, 2020).

Tabel 4. Karakter morfologi koloni Bakteri Pelarut Fosfat Terpilih

Kode Isolat	Bentuk	Elevasi	Tepi	Tampilan Optik	Pigmen	Tekstur
KB111	<i>Circular</i>	<i>Raised</i>	Rata	<i>Dull-Opaque</i>	Krem	Kasar
KB211	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	Rata	<i>Shiny-Opaque</i>	Krem	Halus
KB212	<i>Punctiform</i>	<i>Pulvinate</i>	Rata	<i>Shiny-Opaque</i>	Krem	Halus
KB213	<i>Punctiform</i>	<i>Raised</i>	Rata	<i>Shiny-Translucent</i>	krem kebiruan	Halus
KB311	<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	Rata	<i>Shiny-Opaque</i>	krem	Halus
KB312	<i>Punctiform</i>	<i>Pulvinate</i>	Rata	<i>Shiny-Translucent</i>	kuning	Halus
KB313	<i>Circular</i>	<i>Raised</i>	Rata	<i>Shiny-Opaque</i>	Kremkeputihan	Kasar

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kelimpahan bakteri pelarut fosfat yang terdapat di tanah Desa Kebunan, Sumenep berbeda pada masing-masing titik pengambilan sampel. Kelimpahan BPF tertinggi mencapai $5,45 \times 10^6$ berada di daerah aliran sungai yang memiliki kandungan P tersedia paling rendah. BPF yang berhasil diisolasi dan dikarakterisasi sebanyak 7 isolat dengan karakter koloni dan bentuk sel yang berbeda-beda, yaitu KB111, KB211, KB212, KB213, KB311, KB312 dan KB313. Isolat BPF yang diperoleh didominasi oleh jenis bakteri Gram positif basil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi yang telah memberikan bantuan dana sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Selanjutnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) IST Annuqayah yang telah memfasilitasi berbagai kegiatan terkait program hibah kompetitif nasional. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu merampungkan penelitian ini, khususnya Ida Hasanah, mahasiswa Prodi Biologi IST Annuqayah.

REFERENSI

- American Society for Microbiology. (2016). *Colony Morphology Protocol*. <https://asm.org/ASM/media/Protocol-Images/Colony-Morphology-Protocol.pdf>
- Astuti, D.A., Sudarsono., Sulaeman, A., & Syukur, M. (2016). *Pengembangan Pertanian Organik di Indonesia*. Pemikiran Guru Besar IPB. Bogor: PT Penerbit IPB Press.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Sistem Pertanian Organik*. <https://nasih.staff.ugm.ac.id/wp-content/uploads/SNI-6729-2016-sistem-pertanian-organik.pdf>
- Behera, B.C., Yadav, H., Singh, S.K., Mishra, R.R., Sethi, B.K., Dutta, S.K., & Thatoi. (2017). Phosphate solubilization and acid phosphatase activity of *Serratia* sp. isolated from mangrove soil of Mahanadi river delta, Odisha, India. *J Genet Eng Biotechnol*, 15(1), 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.01.003>

- Billah, M., Khan, M., Bano, A., Hassan, T.U., Munir, A., & Gurmani, A.R. (2019). Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture. *Geomicrobiology Journal*, 36(10), 904-916. <https://doi.org/10.1080/01490451.2019.1654043>
- Darwanto, I. P. (2016) Peran Kelompok Tani Sayuran Organik terhadap Pengembangan Ekonomi Lokal. *Jurnal Bisnis dan Ekonomi (JBE)*, 23(2), 105 – 123. <https://repofeb.undip.ac.id/id/eprint/6084>
- Harley & Prescott. (2012). *Laboratory Exercises in Microbiology*. Fifth Edition. New York: McGraw-Hill Companies.
- Hefdiyah, & Shovitri, M. (2014). Potensi Isolat Bakteri Edwardsiella dan Corynebacterium dari Pulau Poteran Sumenep sebagai Pelarut Fosfat, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 3(2), 2301-9271. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v3i2.6910>
- Kumar, S., Reddy, G. C., Phogat, M., & Korav, S. (2018). Role of bio-fertilizers towards sustainable agricultural development. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 1915-1921. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue6/PartAH/7-6-370-168.pdf>
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Stahl, A.D., & Clark, D.P. (2012). *Brock Biology of Microorganisms* 13th ed, San Francisco : Pearson.
- Marista E., Khotimah S., & 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), 93-101. <https://doi.org/10.26418/protobiont.v2i2.2749>
- Nautiyal, C.S. (1999). An efficient microbiological growth media for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiol. Lett.*, 170(1999), 265–270. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x>
- O'Toole, G. A. (2016). Classic Spotlight: Plate Counting You Can Count On. *J Bacteriol*, 198(23), 3127. <https://doi.org/10.1128/JB.00711-16>
- Pande A., Pandey P., Mehra S., Singh M & Kaushik S. (2017). Phenotypic and Genotypic Characterization of an Phosohate Solubilizing Bacteria and Their Efficiency on The Growth of Maize. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15(2), 379-391. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.06.005>
- Pangaribuan, N. (2018). Eksplorasi Mikroorganisme Indigenus Inseptisols. *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi*, 19(2), 80-88. <https://doi.org/10.33830/jmst.v19i2.109.2018>
- Parwata, M.O. (2019). Pertanian Organik Menuju Bali Pulau Organik (Bali Organik Island) . Dinas pertanian dan ketahanan pangan provinsi bali diakses pada 29 November 2022 melalui <https://distanpangan.baliprov.go.id/pertanian-organik-menuju-bali-pulau-organik-bali-organik-island/>
- Paul, D. & Sinha, S. N. 2017. Isolation and characterization of phospate solubilizing bacterium *Pseudomonas aeruginosa* KUPSB12 with antibacterial potential from river Gangga, India. *Annals of Agrarian Science*, 15(1), 130-136. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.10.001>
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 64/Permentan/Ot.140/5/2013 tentang *Sistem Pertanian Organik*, Pasal 1 Ayat 1. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 770. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Download/152945/Permentan%20Nomor%2064%20Tahun%202013.pdf>

- Purwantini, T.B., & Sunarsih. (2019). Pertanian Organik: Konsep, Kinerja, Prospek, dan Kendala. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 37(2), 127-142. <http://dx.doi.org/10.21082/fae.v37n2.2019.127-142>
- Rohyani, Zul, D & Fibrianti, B.L. (2014). Bakteri Indigenus yang Potensial Sebagai Agen Biofertilizer Asal Tanah Gambut di Kawasan Zamrud dan Taman Nasional Tesso Nilo, Riau. *JOM FMIPA*, 1(2) 417-429. <https://media.neliti.com/media/publications/185718-ID-isolasi-bakteri-indigenus-yang-potensial.pdf>
- Situmorang, E.C., Andriessa, P., Sinthya, H.C., Nurita, T.M., & Tony, L. (2013). *Indigenous Phosphate Solubilizing Bacteria from Peat Soil for an Eco-friendly Biofertilizer in Oil Palm Plantation*. Renewable Energy and Energy Conversion Conference and Exhibition (The 2nd Indo EBTKE-CONEX 2013). 10.18502/ken.v1i1.324
- Suparnorampius, S., Patadungan, Y., & Rois. (2020). Eksplorasi Bakteri Pelarut Fosfat Pada Berbagai Tanaman Industri dan Hortikultura di Dataran Tinggi Napu. E-J. *Agroekbis*, 8(1), 25-31. <http://jurnal.faperta.untad.ac.id/index.php/agrotekbis/article/view/212>
- Supriyadi, S. (2007). Kesuburan Tanah di Lahan Kering Madura. *Embryo*, 4(2), 124-131. <https://pertanian.trunojoyo.ac.id/wp-content/uploads/2012/03/4-Slamet-S-Kesuburan-Tanah.pdf>
- Suriani, S., Soemarmo, & 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. <https://jpal.ub.ac.id/index.php/jpal/article/view/126>
- Yadaf, R.K., Gothwal, V.K., Nigam, S. Sinha, & Roy, P. Ghosh. (2013). Optimization of culture conditions for phosphate solubilization by a thermo-tolerant phosphate-solubilizing bacterium *Brevibacillus* sp. BISR-HY65 isolated from phosphate mines. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2(3), 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2013.04.005>
- Yusuf, A.F. Endapan Fosfat Di Daerah Madura. Sub Dit. Eksplorasi Mineral Industri dan Batuan. Kolokium Hasil Kegiatan Lapangan DSM (2000). http://psdg.bgl.esdm.go.id/index.php?view=article&catid=52%3Acontent-menu-utama&id=332%3Aendapan-fosfat-di-daerah-madura&tmpl=component&print=1&page=&option=com_content&Itemid=3
- Zheng, B.X., Zhang, D.P., Wang, Y., Hao, X.L., Wadaan, MAM., Hozzein, W.N., Peñuelas, J., Zhu, Y.G., & Yang, X.R. (2019). Responses to Soil pH Gradients of Inorganic Phosphate Solubilizing Bacteria Community. *Scientific Reports*, 9(1), 1-8. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-37003-w>