

Identifikasi Bakteri Pelarut Kalium Indigenus Asal Perkebunan Nanas (Identification of Potassium Solubilizing Bacteria Derived from Pineapple Plantations)

Kusuma Handayani^{1*}, Mirawanty Amin²

(Diterima April 2023/Disetujui November 2023)

ABSTRAK

Penggunaan pupuk anorganik dengan dosis relatif tinggi untuk meningkatkan hasil dalam budi daya nanas (*Ananas comosus*) skala perkebunan dapat menimbulkan masalah baru, seperti meracuni tanaman, mencemari lingkungan, dan meningkatkan biaya produksi. Pemanfaatan mikrob rizosfer seperti bakteri pelarut kalium (BPK) diharapkan dapat menurunkan dosis aplikasi pupuk K anorganik karena dapat melarutkan kalium yang terfiksasi Al dan Fe tanah sehingga tersedia bagi tanaman. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dan mencirikan BPK potensial yang terdapat pada area perkebunan nanas. BPK dievaluasi berdasarkan Indeks Kelarutan Kalium (IKK), dan bakteri dicirikan potensinya sebagai isolat BPK. BPK diisolasi dari blok pertanaman dengan tingkat produksi rendah dan tinggi pada fase vegetatif (V) dan generatif (G) dengan 5 ulangan. Sebanyak 20 isolat yang berasal dari populasi BPK pada pertanaman nanas telah berhasil diisolasi pada penelitian ini. Indeks kelarutan K terendah ialah 0,6, diperoleh pada isolat RV1, dan yang tertinggi, yaitu 1,2, pada isolat RG1. Di antara isolat tersebut, RG1 bersifat Gram positif dan tumbuh maksimum pada pH 5, suhu 30 °C. Berdasarkan analisis filogenetik, isolat pelarut kalium tersebut memiliki tingkat kemiripan yang sama dengan bakteri *Bacillus subtilis*.

Kata kunci: *Bacillus subtilis*, indeks kelarutan K, suhu, pH, K-tersedia

ABSTRACT

The use of relatively high doses of inorganic fertilizers to increase yields in plantation-scale pineapple (*Ananas comosus*) cultivation can lead to new problems, such as being toxic to plants, polluting the environment, and increasing production costs. The utilization of rhizosphere microbes, such as potassium solubilizing bacteria (KSB) is expected can reduce the dose of inorganic K fertilizer application because it can dissolve potassium-fixed Al and Fe soil so that it is available to plants. This study aims to assess and characterize the potential of BPK in pineapple plantation areas. KSB evaluation was carried out based on the Potassium Solubility Index (IKK), besides that, it also carried out the characterization of bacteria that have the potential as CPC isolates. CPC was isolated from planting blocks with low and high production levels in the vegetative (V) and generative (G) phases with 5 replications. As many as 20 isolates from the CPC population on pineapple plantations were successfully isolated in this study. The lowest K solubility index of 0.6 was obtained in isolate RV1 and the highest, namely 1.2 in isolate RG1. Among these isolates, RG1 is Gram-positive and grows optimally at pH 5, temperature 30°C. Based on the results of the phylogenetic analysis, it is known that this potassium solubilizing isolate has the same level of similarity with the bacterium *Bacillus subtilis*.

Keywords: available K, *Bacillus subtilis*, K solubility index, pH, temperature

PENDAHULUAN

Kegiatan budi daya nanas yang berlangsung selama bertahun-tahun di suatu lokasi pertanaman meng-akibatkan kualitas kesuburan tanah menjadi berkurang. Hal ini dapat disebabkan oleh penggunaan pupuk dan pestisida yang terus-menerus pada setiap siklus pertanaman nanas. Kondisi ini dapat berdampak negatif pada tanah dalam jangka panjang, seperti

struktur tanah menjadi keras dan menggumpal. Meskipun penggunaan pupuk dan pestisida merupakan hal yang biasa dilakukan di lahan perkebunan nanas, perbaikan kondisi struktur tanah perlu diupayakan. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah menurunnya kualitas kesehatan tanah adalah dengan memanfaatkan interaksi antara tanaman dan mikrob di dalam rizosfer (Dell'mour *et al.* 2010). Kalium merupakan salah satu unsur hara makro esensial ketiga setelah nitrogen dan fosfor yang dibutuhkan oleh tanaman, terutama untuk pertumbuhan dan perkembangan hayati. Sumber kalium yang utama bagi tanaman berasal dari dalam tanah. Kalium diserap oleh tanaman dalam bentuk ion K⁺. Kadar kalium di bumi cukup besar, yaitu sekitar 2,3%, yang sebagian besar terikat dalam mineral primer atau terfiksasi dalam mineral sekunder dan lempung (Selian 2008).

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Jl. Sumantri Brojonegoro Street No. 1, Bandar Lampung 35145

²Pusat Riset Tanaman Pangan, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong Science Center, Jl. Raya Jakarta-Bogor, Bogor16911

* Penulis Korespondensi:

Email: kusumahandayani@yahoo.com

Dilaporkan bahwa kalium dalam tanah yang tersedia bagi tanaman hanya 2–10%, sedangkan 90–98% dalam bentuk mineral (Basyuni 2009). Mineral pembawa kalium yang paling umum adalah K-Feldspar, Leusit, Biotit, Flogopit, Glaukonit, dan mineral lempung (Basyuni 2009).

Tanaman membutuhkan kalium dari larutan tanah sebagai ion K^+ yang biasanya memiliki konsentrasi dalam larutan sangat rendah. Proporsi terbesar K tanah adalah dalam bentuk batuan, mineral, dan deposit kalium lainnya yang merupakan sumber kalium dalam tanah (Sardans & Penuelas, 2021). Pada kondisi yang sesuai, kalium potensial tersebut dapat terlarut dan tersedia bagi tanaman. Mikrob berperan dalam siklus K melalui mekanisme produksi asam organik untuk proses mineralisasi K-organik dalam tanah. Populasi BPK cukup banyak terdapat pada rizosfer tanaman dan tanah. Prajapati & Modi (2012) menunjukkan bahwa sebanyak 5 BPK (bakteri pelarut kalium) diketahui mampu memproduksi asam-asam organik, seperti asam sitrat, asam oksalat, asam malat, asam suksinat, dan asam tartrat. Berdasarkan hasil uji kualitatif, indeks pelarutan BPK tersebut berkisar 1,04 hingga 1,66 yang sering dimanfaatkan untuk perbaikan kesehatan tanah yang telah rusak akibat penggunaan pupuk (Setiadi 2001). Selain itu, telah dilaporkan bahwa inokulasi BPK dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Ahmad *et al.* 2016; Xiao *et al.* 2017).

Reaksi hayati, fisik, dan kimia di tanah lebih banyak berlangsung di daerah rizosfer karena aktivitas di sini ditopang oleh nutrisi yang dikeluarkan oleh akar tanaman dalam bentuk eksudat larut, seperti karbohidrat, asam amino, asam organik berbobot molekul rendah, dan fotosintat lainnya (Dilfuza *et al.* 2011). Ekologi rizosfer adalah faktor penggerak dengan mengombinasikan faktor fisik dari matriks tanah, rizodeposit (eksudat akar), proton (H^+), gas, dan peranan akar dalam penyerapan air dan hara, yang terdistribusi baik secara spasial maupun temporal memungkinkan bagi daerah perakaran menjadi situs berinteraksinya mikrob tanah, akar tanaman dan komponen tanah (Richter *et al.* 2010). Tujuan penelitian ini ialah mengevaluasi jenis BPK yang terdapat pada rizosfer nanas, mengisolasi BPK yang memiliki indeks kelarutan yang tinggi, dan mencirikan BPK yang diisolasi dari rizosfer nanas.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari–Juli 2020 pada perkebunan nanas PT Great Giant Pineapple Lampung Tengah, Provinsi Lampung, menggunakan metode deskriptif, dan mengambil sampel rizosfer tanah dari empat lokasi blok yang berbeda. Sampel dianalisis di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Lampung.

Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dibedakan atas tingkat produksi nanas, yaitu produksi rendah (< 60ton/ha) dan tinggi (> 60 ton/ha) serta fase pertumbuhan tanaman yang berbeda, yaitu vegetatif (umur 7–9 bulan) dan generatif (umur 13–5 bulan). Sampel dibagi menjadi empat kategori, yaitu RV (produksi rendah vegetatif), TV (produksi tinggi vegetatif), RG (produksi rendah generatif), dan TG (produksi tinggi generatif). Sampel tanah yang berasal dari 8 lokasi percobaan diambil secara acak dengan 5 ulangan. Sampel tanah diambil dengan cara menggali tanah di sekitar perakaran nanas pada kedalaman 0–15 cm, Sampel diambil secara acak pada empat lokasi dengan lima ulangan pada setiap blok sehingga terkumpul 20 sampel.

Sampel tanah diambil dari daerah sekitar perakaran nanas sebanyak lebih kurang 100 g pada kedalaman 0–15 cm di daerah sistem perakaran tanaman. Selanjutnya, sampel tanah dimasukkan ke dalam kantong plastik yang telah diberi label dan dianalisis dari segi biologi dan kimia. Titik lokasi asal sampel ialah lokasi 21 (4°47' S, 105°18' E), lokasi 26 (4°48' S, 105°15' E), lokasi 73 (4°49' S, 105°11' E), dan lokasi 83 (4°47' S, 105°12' E).

Tanah juga dianalisis untuk mengukur K dengan metode HCl 25%. Ditimbang 2 g tanah, dimasukkan ke dalam botol kocok, dan ditambahkan 10 mL HCl 25% lalu dikocok dengan mesin pengocok selama 5 jam. Setelah dikocok, sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan dibiarkan semalam. Larutan dipipet sebanyak 0,5 mL dan ditambahkan 0,95 mL akuades dan dikocok (Balai Penelitian Tanah 2005).

Uji Kualitatif dan Kuantitatif Bakteri

Pengujian secara kualitatif dilakukan dengan cara menumbuhkan mikrob pada media *Aleksandrov* agar dengan Feldspar sebagai sumber kalium. Sampel diuji secara kuantitatif dengan cara menginokulasi mikrob pada media Aleksandrov cair. Variabel pengamatan untuk uji kualitatif berupa diameter pertumbuhan bakteri dan diameter zona bening yang dibentuk oleh mikrob. Dalam uji kualitatif, kualitas bakteri dapat dilihat dari nilai indeks kelarutan (IK). Semakin tinggi nilai IK, semakin mampu bakteri tersebut dalam melarutkan kalium. Nilai Ik dihitung berdasarkan rumus berikut (Sharon *et al.* 2016):

$$IK = \frac{\text{Diameter zona bening}}{\text{Diameter koloni}}$$

Pencirian BPK

BPK dicirikan berdasarkan morfologi koloni dan sel dari isolat-isolat BPK yang menunjukkan pertumbuhan cepat dengan IK tinggi. Sel bakteri diwarnai dan dikelompokkan berdasarkan bakteri Gram positif dan Gram negatif (Pelezar 2008).

Pengaruh pH pada Pertumbuhan Bakteri (Kualitatif)

Sampel bakteri kandidat diambil dari tanah yang bersifat Ultisol dengan pH tanah 4,5–5,5 (Alibasyah

2016). Kegiatan ini adalah untuk mengetahui pH optimum yang dibutuhkan oleh bakteri target untuk pertumbuhannya. Sampel yang sudah diperoleh digoreskan pada media NA (*nutrient agar*) dengan tiga level pH, yaitu pH 5, 6, dan 7. Selanjutnya biakan bakteri diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang (25°C). Setelah inkubasi selesai, ukuran koloni bakteri yang tumbuh pada media diamati.

Pengaruh Suhu pada Pertumbuhan Bakteri (Kualitatif)

Sampel bakteri yang sudah diperoleh digoreskan pada media NA padat kemudian diinkubasi pada suhu 30°C dan 40°C. Setelah diinkubasi, ukuran koloni bakteri yang tumbuh pada media diamati.

Analisis Filogenetik

DNA genomik dari biakan cair *Bacillus* sp. Isolat RG 1 dengan media *Nutrient Broth* diisolasi berdasarkan metode isolasi DNA genom Gram positif *Bacteria Wizard Genomic DNA Purification Kit Promega*. Amplifikasi gen 16S rRNA menggunakan PCR dengan primer *forward* 63F ((5'-CAGGCCTAACACATGCAAGTC-3') dan *reverse* 1387R (5'-GGGCGGWGTGTACAAGGC-3'). Volume reagen PCR yang digunakan adalah 25 µL yang meliputi 10 µL DNA templat (15 ng/µL), 10,5 µL MyTaq HS Red Mix, 0,25 µL *forward* primer, dan 0,25 µL *reverse* primer. PCR dilakukan dengan program sebagai berikut: pradenaturasi pada suhu 95°C selama 5 menit, dilanjutkan dengan 30 siklus denaturasi pada suhu 95°C selama 30 detik, *elongasi* pada 72°C selama 45 menit, kemudian *elongasi* akhir pada 72°C. Hasil amplifikasi dilihat melalui elektroforesis dengan QIAxcel Advanced System, kemudian diurutkan menggunakan metode Sanger. Hasil pengaturan dianalisis untuk menemukan kemiripan urutan dengan yang ditemukan dalam basis data bank gen menggunakan program pencarian Blast untuk nukleotida (BLASTN) dari *National Center for Biotechnology Information* (Altschul *et al.* 1990). Filogenetik dianalisis menggunakan perangkat lunak MEGA 11. Semua urutan diselaraskan menggunakan

penyelarasan urutan ganda ClustalW, pohon filogenetik dibangun dengan menggunakan metode Kemungkinan Maksimum dan Model Haegawa-Kishino-Yano.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketersediaan K yang diamati pada rizosfer nanas yang berasal dari lima lokasi sampel disajikan pada Tabel 1. Kadar K-tersedia ditemukan hampir di semua lokasi pengambilan sampel, yakni dengan kategori K-tersedia sangat rendah dan rendah. Sebaliknya, ketersediaan K pada rizosfer nanas yang berasal dari dua lokasi (RV3 dan TV2) menunjukkan kadar K-tersedia dengan kategori sedang.

BPK dari Rizosfer Tanaman Nanas

Berdasarkan hasil isolasi populasi Bakteri Pelarut Kalium (BPK) pada 4 lokasi, jumlah pada kisaran 10³ CFU g.⁻¹, dengan jumlah BPK yang berasal dari lokasi TG ditemukan dalam jumlah yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan lokasi yang lain, sedangkan yang berasal dari lokasi RV ditemukan dalam jumlah yang tersedikit (Gambar 2).

Gambar 1 menunjukkan bahwa populasi BPK tertinggi terdapat pada lokasi TG, yaitu lokasi yang memiliki sejarah perkebunan nanas dengan tingkat produksi tinggi dan dalam masa generatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri yang terdapat dalam tanah dapat mengubah K tanah menjadi bentuk yang tersedia secara efektif bagi tanaman (Meena *et al.* 2014; Sindhu *et al.* 2014; Sukmadewi *et al.* 2021). Selain itu, lokasi TV merupakan lokasi tertinggi kedua yang memiliki populasi BPK tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan populasi BPK yang tinggi pada lokasi tersebut ber-implikasi pada produksi nanas yang tinggi. Berdasarkan kajian sebelumnya, dilaporkan bahwa pada saat pertumbuhan tanaman, K dibutuhkan dalam meningkatkan turgor tanaman sehingga tanaman akan menjadi tahan cekaman lingkungan serta berdampak baik pada pertumbuhan tanaman (Gebreslassie 2016).

Tabel 1 K-tersedia pada lokasi pengambilan sampel tanah

Lokasi	K-tersedia (ppm)	Lokasi	K-tersedia (ppm)
RV1	6,55(R)	RG1	3,80(SR)
RV2	6,98(R)	RG2	6,83(R)
RV3	8,82(S)	RG3	5,13(R)
RV4	2,40(SR)	RG4	4,83(R)
RV5	4,45(R)	RG5	5,34(R)
Rerata	5,84	Rerata	5,19
TV1	5,16(R)	TG1	5,76(R)
TV2	5,04(R)	TG2	5,32(R)
TV3	5,61(R)	TG3	4,12(R)
TV4	5,15(R)	TG4	3,15(SR)
TV5	4,35(R)	TG5	3,77(SR)
Rerata	5,06	Rerata	4,42

Keterangan: SR = Sangat rendah, R = Rendah, dan S = Sedang. Sumber: Harkat berdasarkan Sulaeman *et al.* (2012).

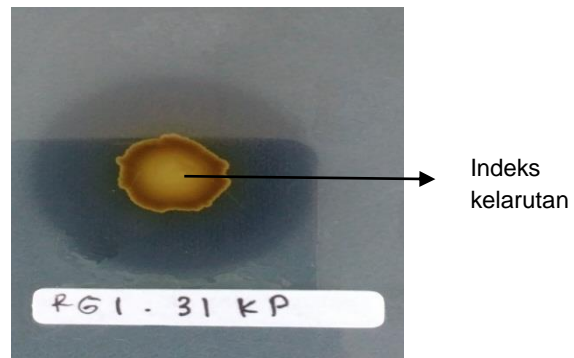
IK isolat BPK yang dianalisis pada penelitian ini (Tabel 2) berkisar mulai dari 0,6 (isolat TRV1) sampai 1,2 (isolat RG1). Gambar 2 memperlihatkan pola pertumbuhan koloni BPK (isolat RG 1) yang dikelilingi oleh zona pelarutan fosfat dalam penentuan IK-nya. Selanjutnya, hasil karakterisasi BPK secara morfologi dan biokimia disajikan pada Tabel 3.

Isolat BPK tertinggi didapatkan pada lokasi TG, berbeda dengan hasil IKK tertinggi pada RG 1, yaitu 1,2. Hal tersebut sejalan dengan temuan sebelumnya, bahwa tidak ada korelasi antara IK dan BPK bakteri pelarut kalium karena aktivitas bakteri pelarut kalium, yang mikroorganismenya melepaskan K sangat tergantung pada sifat senyawa mineral (Setiawati & Mutmainnah 2016).

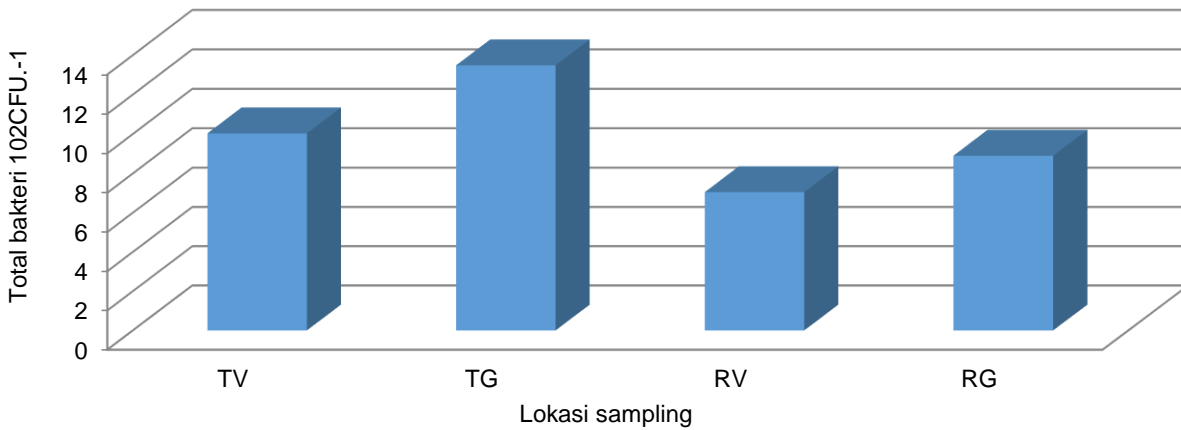
Hasil pencirian bakteri berdasarkan uji pH, suhu, dan pewarnaan Gram dapat dilihat pada Tabel 3. Terlihat bahwa bakteri dapat tumbuh dengan baik pada pH 5 dan suhu 30°C. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Sindhu & Parmar (2013) bahwa pelarutan K maksimum adalah pada suhu 25°C dan maksimum pada suhu 30°C. Hal yang sama juga diungkapkan oleh Saha *et al.* (2016) bahwa suhu memengaruhi pertumbuhan bakteri, dan suhu 30°C merupakan kondisi maksimum untuk pertumbuhan semua galur BPK. Selain itu, semakin meningkat pH media, semakin menurun pertumbuhan bakteri dan kelarutan kalium (Verma *et al.* 2016; Wang *et al.* 2020). Kalium

dalam tanah dapat larut dan diserap oleh tanaman melalui BPK yang mengeluarkan asam organik dan menurunkan pH, sehingga berbagai bentuk K dalam tanah akan larut dan dapat diserap oleh tanaman (Bagyalakshmi *et al.* 2017; Khani *et al.* 2019).

Pada Tabel 3 juga dapat dilihat bahwa isolat BPK dapat tumbuh dengan sempurna pada kondisi pH 5 dan dalam kondisi lingkungan yang produktivitasnya tinggi maupun yang rendah. Hal tersebut karena isolat BPK seperti *Bacillus* umumnya ditemukan di tanah dan dapat tumbuh dalam keadaan lingkungan apa pun, sehingga mampu bersaing dengan organisme lainnya karena kemampuannya membentuk spora yang



Gambar 2 Pertumbuhan koloni bakteri pelarut K dikelilingi zona pelarutan fosfat pada media *Alexandrof*.



Gambar 1 Total bakteri pada lokasi sampling.

Tabel 2 Indeks kelarutan kalium dari isolat BPK asal lima lokasi perkebunan nanas

Isolat	Indeks kelarutan kalium	Isolat	Indeks kelarutan kalium
TV1	0,70	RV1	0,60
TV2	0,85	RV2	0,80
TV3	0,65	RV3	0,75
TV4	0,75	RV4	0,75
TV5	0,65	RV5	0,65
Rerata	0,72	Rerata	0,71
TG1	0,90	RG1	1,20
TG2	0,85	RG2	0,90
TG3	0,75	RG3	0,80
TG4	0,70	RG4	0,75
TG5	0,80	RG5	0,85
Rerata	0,80	Rerata	0,90

Tabel 3 Ciri bakteri berdasarkan uji pH, suhu, dan pengecatan Gram

Nama isolat	pH			Suhu (°C)		Pengecatan Gram
	5	6	7	30	40	
TV1	+++	+	+	+++	+	(-)
TV2	+++	++	-	+++	+	(-)
TV3	+++	+	+	+++	+	(+)
TV4	+++	++	+	+++	+	(-)
TV5	+++	++	-	+++	+	(-)
TG1	+++	++	+	+++	+	(+)
TG2	+++	+	+	+++	+	(-)
TG3	+++	+	-	+++	++	(+)
TG4	+++	++	+	+++	+	(-)
TG5	+++	++	+	+++	++	(-)
RV1	+++	++	-	+++	++	(-)
RV2	+++	++	-	+++	+	(+)
RV3	+++	++	-	+++	+	(-)
RV4	+++	++	+	+++	++	(+)
RV5	+++	++	+	+++	+	(+)
RG1	+++	++	+	+++	++	(+)
RG2	+++	++	+	+++	++	(+)
RG3	+++	+	+	+++	+	(-)
RG4	+++	++	+	+++	+	(+)
RG5	+++	++	+	+++	+	(-)

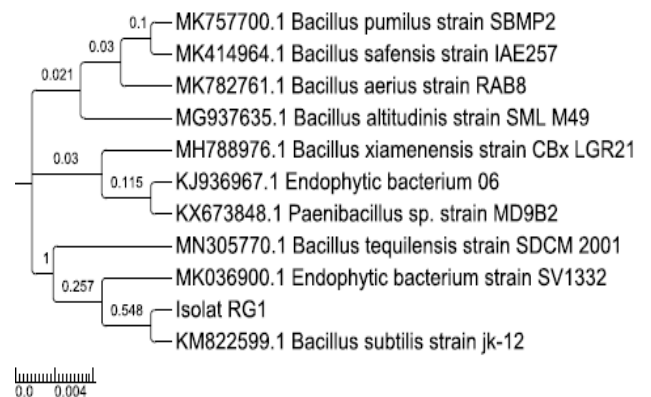
Keterangan: + = Tumbuh sedikit, ++ = Tumbuh lebih banyak, memfermentasi sebagian, dan +++ = Tumbuh subur, memfermentasi sempurna.

sangat tahan dan menghasilkan metabolit yang memiliki efek antagonis pada mikroorganism lain (Kuta 2008: Amin *et al.* 2015). Jika dilihat dari pohon filogenetik, isolat yang dimiliki mirip dengan *B. subtilis* (Gambar 3). Pohon filogenetik menggambarkan tingkat kemiripan isolat bakteri yang dimiliki.

Sebagian besar isolate BPK hingga saat ini termasuk dalam filum *Firmicutes* yang terdiri atas bakteri Gram positif, batang bersporulasi, dan termasuk dalam kelas *Bacillus* (Zeng *et al.* 2012). Hal tersebut juga sejalan dengan temuan Diep & Hieu (2013) bahwa sebagian BPK didominasi oleh *Bacillus*. Hasil penelitian Raji & Thangavelu (2021) menunjukkan bahwa isolat BPK dengan produksi asam organik tertinggi ialah *B. licheniformis* > *B. Cenocepacia* > *B. Subtilis* > *B. cereus*. *B. subtilis* menghasilkan kadar tertinggi asam asetat 7077,90 mg/L dan asam oksalat 2137,69 mg/L. Berhubung tingginya asam asetat dan oksalat pada *B. subtilis*, bakteri tumbuh dengan baik pada media atau tanah dengan kondisi pH 5. Isolat ini menghasilkan asam oksalat, benzoat, dan malat dalam jumlah yang signifikan dalam media kultur. Hal tersebut menunjukkan bahwa isolat bakteri yang berbeda menghasilkan jumlah dan kombinasi asam organik yang berbeda untuk melarutkan satu sumber K (Raji & Thangavelu 2021).

KESIMPULAN

BPK memiliki total populasi yang berbeda pada setiap lokasi perkebunan nanas. Ditemukan 20 isolat BPK yang potensial. Indeks Kelarutan Kalium terendah dijumpai pada isolat RV1, yaitu 0,6, dan tertinggi pada isolat RG 1, yaitu 1,2. Hasil isolat BPK bersifat Gram



Gambar 3 Pohon filogenetik RG1.

positif dan berbentuk batang, pH optimum untuk pertumbuhan rata-rata pada pH 5 dan suhu optimum pada 30°C. Setelah dianalisis, 16 s rRNA isolat RG1 merupakan *B. subtilis*.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad M, Nadeem SM, Navee M, Zahir ZA. 2016. Potassium-solubilizing bacteria and their application in agriculture, in: Meena VS, Maurya BR, Verma JP, Meena RS. (Eds.), Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. New Delhi (IN): Springer. 293–313. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_21

Alibasyah, MR. 2016. Perubahan Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Ultisol akibat Pemberian Pupuk Kompos dan Kapur Dolomit pada Lahan Berteras. *Jurnal Floratek*. 11(1): 75–87.

- Amin M, Rakhisi Z, Ahmady AZ. 2015. Isolation and Identification of *Bacillus* Species From Soil and Evaluation of Their Antibacterial Properties. *Avicenna Journal of Clinical Microbiology and Infection* 2(1): e23233. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_21
- Balai Penelitian Tanah. 2005. *Petunjuk Teknis: Analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk*. Bogor (ID) Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Bagyalakshmi B, Ponmurugan P, Balamurugan A. 2017. Potassium solubilization, plant growth promoting substances by potassium solubilizing bacteria (KSB) from southern Indian Tea plantation soil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 12(2017): 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.09.011>
- Basyuni Z. 2009. *Mineral dan Batuan Sumber Unsur Hara P Dan K*. Purbalingga (ID): Universitas Jendral Soedirman
- Diep CN, Hieu TN. 2013. Phosphate and potassium solubilizing bacteria from weathered materials of denatured rock mountain, Ha Tien, Kiên Giang province, Vietnam. *American Journal of Life Sciences* 1(3): 88–92. <https://doi.org/10.11648/j.ajls.20130103.12>
- Dell'mour M, Leonhard J, Eva O, Markus P, Gunda K, Stephan Hann. (2010). Hydrophilic interaction LC combined with electrospray MS for highly sensitive analysis of underivatized amino acids in rhizosphere research. *Journal of Separation Science*. 33: 911–922 <https://doi.org/10.1002/jssc.200900743>
- Dilfuza E, Giancarlo R, Stephan W, Rafiq I. 2011. Enzyme activities in the rhizosphere of plants. *Soil Enzimology* 22(1):149–166. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3_8
- Gebresslassie HB. 2016. Effect of Potassium Fertilizer on Crop Production. *Journal of Natural Sciences Research* 6(7): 81–86. <https://iiste.org/Journals/index.php/JNSR/article/view/30184>.
- Khani AG, Enayatizamir N, Masir MN. 2019. Impact of plant growth promoting rhizobacteria on different forms of soil potassium under wheat cultivation. *Letters in Applied Microbiology*. 68: 514–521. <https://doi.org/10.1111/lam.13132>
- Kuta FA. Antifungal effects of *Calotropis Procera* stem bank extract against *Trichoplyton gypseum* and *Epiderinoplyton Flocosum*. *African Journal of Biotechnology* 7(13): 2116–2118.
- Meena VS, Maurya BR, Verma JP. 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils? *Microbiological Research*. 169(5): 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.003>.
- Prajapati KB, Modi HA. 2012. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria from ceramic industry soil. *Journal of Microbiology*. 1(2–3): 8–14.
- Raji M, Thangavelu M. 2021. Isolation and screening of potassium solubilizing bacteria from saxicolous habitat and their impact on tomato growth in different soil types. *Archives of Microbiology*. 203(2021): 3147–3161. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02284-9>
- Richter D, Neung-HO. Ryan F, Jason J. 2007. *The rhizosphere: an ecological perspective: the rhizosphere and soil formation*. Elsevier: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012088775-0/50010-0>
- Rusli A. 2016. Perubahan beberapa sifat fisika dan kimia tanah ultisol akibat pemberian pupuk kompos dan kapur dolomite pada lahan berteras. *Jurnal Floratek*. 11(1): 75–87.
- Saha M, Maurya BR, Meena VS, Bahadur I, Kumar A. 2016. Identification and characterization of potassium solubilizing bacteria (KSB) from Indo-Gangetic Plains of India. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 7. 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.06.007>
- Sardans J, Penuelas J. 2021. Potassium control of plant functions: ecological and agricultural implications. *Plants* 10(2): 410. <https://doi.org/10.3390/plants10020419>
- Selian, R Aulia. 2008. *Analisa Kadar Unsur Hara Kalium (K) dari Tanah Perkebunan Kelapa Sawit Bengkalis Riau secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)*. Medan (ID): USU Press.
- Setiadi Y. 2001. Peranan Mikoriza Arbuskula dalam Rehabilitasi Lahan Kritis di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Mikoriza*. Asosiasi Mikoriza Indonesia Cabang Jawa Barat, Hal 1–12.
- Setiawati TC, Mihardja A. 2009. Identifikasi dan Kuantifikasi Metabolit Bakteri Pelarut Fosfat dan Pengaruhnya terhadap Aktivitas *Rhizoctonia solani* pada Tanaman Kedelai. *Journal of Tropical Soil* 13: 233–240. <https://doi.org/10.5400/jts.2008.v13i3.233-240>
- Setiawati TC, Mutmainnah L. 2016. Solubilization of potassium containing mineral by microorganism from sugarcane rhizosphere. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 9(2016): 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.134>
- Sindhu SS, Parmar P. 2013. Potassium Solubilization by Rhizosphere Bacteria: Influence of Nutritional and Environmental Conditions. *Journal of Microbiology Research* 3(1): 25–31.

- Sindhu SS, Parmar P, Phour M. 2014. Nutrient cycling: potassium solubilization by microorganisms and improvement of crop growth. In: *Geomicrobiology and Biogeochemistry*. Berlin (UK): Springer. pp 175–198. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41837-2_10
- Sukmadewi DKT, Anas I, Widyastuti R, Anwar S, Citraresmini A. 2021. The effectiveness of application of phosphorous and potassium solubilizing multifunctional microbes (*Aspergillus costaricensis* and *Staphylococcus pasteurii* mutants) on maize growth. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 8(2): 2681–2688. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2021.082.2681>.
- Sulaeman, Suparto, Eviati. 2012. *Petunjuk Teknis : Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Bogor (ID): Balai Penelitian Tanah.
- Sharon JA, Hathwaik LT, Glenn GM, Imam SH, Lee CC. 2016. Isolation of efficient phosphate solubilizing bacteria capable of enhancing tomato plant growth. *Journal of soil science and plant nutrition* 16(2): 5. <https://doi.org/10.4067/S071895162016005000043>
- Pelezar C. 2008. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta (ID): UI Press.
- Prajapati KB, Modi HA. 2012. Isolation and Characterization of Potassium Solubilizing Bacteria From Ceramic Industry Soil. *Cibtech Journal of Microbiology*. 1(2–3): 8–14.
- Wang J, Li R, Zhang H, Wei G, Li Z. 2020. Beneficial bacteria activate nutrients and promote wheat growth under conditions of reduced fertilizer application. *BMC Microbiology* 20(38): 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-1708-z>
- Verma A, Patidar Y, Vaishampayan A. 2016. Isolation and purification of potassium solubilizing bacteria from different regions of India and its effect on crop's yield. *Indian Journal of Microbiology Research* 3(4): 483–488.
- Xiao Y, Wang X, Chen W, Huang Q. 2017. Isolation and identification of three potassium-solubilizing bacteria from rape rhizospheric soil and their effects on ryegrass. *Geomicrobiology Journal*. 1–8. <https://doi.org/10.1080/01490451.2017.1286416>
- Zeng X, Liu X, Tang J, Hu S, Jiang P, Li W, Xu L (2012) Characterization and potassium-solubilizing ability of *Bacillus circulans*. Z1-3. *Advanced Science Letter* 10: 173–176. <https://doi.org/10.1166/asl.2012.3726>