



Skrining Isolat Bakteri Pelarut Kalium Melalui Uji Hipersensitivitas, Uji Hemolisis, Serta Pengujian Viabilitas

Restiana Maulinda*, Wafa' Nur Hanifah, Listihani

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana,
Jln. PB. Sudirman Denpasar Bali 80232, **Indonesia**

**Corresponding Author: restianamaulinda@unud.ac.id*

ABSTRACT

Screening of Potassium Solubilizing Bacteria Using Hypersensitivity, Hemolysis, and Viability Tests. This study aimed to evaluate the biosafety and viability of Potassium Solubilizing Bacteria (KSB) as potential biofertilizers through hypersensitivity testing on tobacco plants, hemolysis testing on Blood Agar media, and viability assessment using molasses and zeolite as carrier media stored at 27°C (room temperature) and 4°C (refrigerator). Hypersensitivity testing showed that the KSB isolate was non-pathogenic to plants, as indicated by negative reactions on tobacco leaves. Hemolysis testing indicated gamma-hemolysis, with no clear zones or color changes on Blood Agar, confirming that the isolate is non-pathogenic and safe for humans and animals. Viability was assessed using Total Plate Count (TPC) on molasses and zeolite as carrier media at 27 °C and 4 °C on days 14 and 28 after inoculation. The results showed that the KSB isolate in molasses stored at 27°C exhibited the highest population growth, reaching $5,6 \times 10^8$ CFU/ml on day 14 and $6,7 \times 10^9$ CFU/ml on day 28. In comparison, the KSB isolate in zeolite at the same temperature showed lower growth, $3,9 \times 10^8$ CFU/g on day 14 and $1,1 \times 10^9$ CFU/g on day 28. Both carriers stored at 4 °C showed slight declines in population, reaching $7,7 \times 10^5$ CFU/ml (molasses) and $3,9 \times 10^6$ CFU/g (zeolite) on day 28. These results indicate that molasses at room temperature (27 °C) is the most suitable carrier for maintaining viable KSB populations, supporting the development of safe and effective potassium-solubilizing biofertilizers that improve plant nutrient availability and ensure biosafety.

Keywords: hypersensitivity, hemolysis, viability, solubilizing potassium bacteria

PENDAHULUAN

Kalium merupakan unsur hara makro esensial yang berperan untuk mendukung proses perkembangan dan pertumbuhan tanaman secara optimal. Unsur kalium juga berfungsi dalam proses fisiologis, aktivitas enzim, serta sintesis protein. Proses fotosintesis tanaman bergantung pada ketersediaan kalium dalam tanaman, khususnya dalam pergerakan stomata karena dapat mendorong perubahan turgor sel penjaga stomata (Tränkner *et al.*, 2018).

Karmakar *et al.* (2024) menyatakan bahwa kalium berfungsi dalam regulasi fotosintesis, serta transpor nutrisi dan fotosintat. Pemberian kalium yang optimal dapat meningkatkan hasil dan kualitas panen pada berbagai tanaman dengan cara menjaga homeostasis ion, mengatur respon terhadap stres, dan meningkatkan produksi secara keseluruhan (Bhardwaj *et al.*, 2023). Namun demikian, ketersediaan kalium terlarut di dalam tanah umumnya rendah karena sebagian besar unsur kalium terikat pada

mineral tanah. Mineral tanah yang mengandung sumber kalium adalah ortoklas, mikroklin, muskovit, biotit, silvit, karnalit, dan leusit (Manning, 2010). Selain itu, ketersediaan kalium di dalam tanah dapat berkurang akibat serapan oleh tanaman, proses pencucian, dan erosi tanah (Subhash *et al.*, 2022). Intensifikasi sistem pertanian melalui panen berulang tanpa diimbangi masukan kalium menyebabkan kalium dalam tanah berkurang (Rani *et al.*, 2023). Selain itu, kandungan kalium dalam tanah yang didominasi dalam bentuk mineral seperti mika/silikat menyebabkan kalium tidak mudah tersedia bagi tanaman meskipun total kalium tinggi (Madaras dan Koubová, 2015).

Kondisi tanah dengan kandungan kalium yang rendah mendorong perlunya aplikasi pupuk kalium anorganik untuk memperoleh hasil tanaman yang optimal. Meskipun demikian, penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan dan berulang dalam jangka panjang berpotensi menimbulkan berbagai masalah lingkungan, seperti perubahan sifat fisik dan kimia tanah, meningkatkan salinitas, dan degradasi lahan. Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan pengelolaan hara kalium yang lebih berkelanjutan. Salah satunya adalah memanfaatkan mikroorganisme tanah yang secara alami terdapat di daerah perakaran (rizosfer). Bakteri Pelarut Kalium (BPK) termasuk kelompok mikroba tanah yang mampu melepaskan kalium yang terikat pada mineral tanah menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Mereka memproduksi ligan-ligan organik, seperti asam sitrat, asam oksalat, dan asam glukonat, membantu pelepasan kalium melalui mekanisme seperti khelasi dan asamolisis (Etesami *et al.*, 2017). Mineral kalium yang tidak terlarut, seperti biotit dan feldspar, dapat diubah menjadi terlarut melalui proses biokimia dengan memproduksi dan mengeluarkan berbagai ligan organik (Rani dan Sengar, 2020). Ligan organik berperan menurunkan pH tanah dan

mengkelat kation yang berikatan dengan kalium, sehingga ketersediaan dan penyerapan kalium oleh tanaman meningkat, yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan, hasil, dan peningkatan biomassa tanaman secara keseluruhan (Yasin *et al.*, 2016).

Meskipun BPK telah terbukti berperan dalam meningkatkan ketersediaan kalium, informasi mengenai keamanan hayati dan viabilitas isolat selama penyimpanan sebelum diaplikasikan sebagai pupuk hayati masih terbatas. Evaluasi *biosafety* diperlukan untuk memastikan bahwa isolat BPK aman bagi tanaman, manusia, maupun hewan, serta tidak menimbulkan risiko patogen atau toksik. Pengujian keamanan yang umum digunakan dalam proses seleksi adalah uji hipersensitivitas pada tanaman tembakau untuk mendeteksi potensi patogenitas dan uji hemolisis pada media *Blood Agar* untuk melihat kemampuan bakteri melisis sel darah merah. Hasil penelitian oleh Amaria *et al.* (2023) menunjukkan 71,57% isolat bakteri menunjukkan reaksi hemolisis positif (α dan β) pada media *Blood Agar*, sehingga hanya 27 isolat yang dilakukan tes hipersensitif. Hasil akhir terdapat 22 isolat yang tidak menyebabkan nekrosis pada daun tembakau. Hanya isolat non-patogen yang dapat direkomendasikan untuk tahap pengembangan lebih lanjut sebagai agen hayati.

Selain itu, viabilitas bakteri selama penyimpanan merupakan aspek penting untuk menentukan kualitas dan efektivitas pupuk hayati. Pudjiwati dan Hamid (2020) menyatakan bahwa mutu pupuk hayati dipengaruhi kemampuan isolat bakteri untuk mempertahankan viabilitas dan aktivitasnya yang tetap terjaga selama penyimpanan, serta jenis bahan pembawa yang digunakan. Karakteristik bahan pembawa yang dapat digunakan adalah tidak bersifat toksik, mudah dikerjakan dan disterilkan, memperhatikan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan tersedia dalam jumlah yang banyak, serta murah

(Wartono *et al.*, 2012; Pudjiwati dan Hamid, 2020).

Bahan pembawa seperti molase dan zeolit memiliki karakteristik yang berbeda dalam mempertahankan kelangsungan hidup bakteri. Evaluasi dinamika populasi selama masa penyimpanan pada berbagai kondisi suhu perlu dilakukan untuk memastikan isolat tetap stabil. Selain itu, pengujian ini bertujuan agar populasi mikroba tetap memenuhi batas minimum yang dipersyaratkan. Persyaratan tersebut berkaitan dengan formulasi komersial dalam rangka pendaftaran pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah sesuai dengan Peraturan Menteri Pertanian RI Nomor 1 Tahun 2019 (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk menilai aspek keamanan dan viabilitas isolat Bakteri Pelarut Kalium (BPK) melalui serangkaian uji hipersensitivitas, hemolisis, serta pengujian viabilitas pada dua bahan pembawa, yakni molase dan zeolit, selama penyimpanan dilakukan pada kondisi suhu ruang (27 °C) dan suhu dingin *refrigerator* (4 °C). Penelitian ini diharapkan dapat mendukung skrining isolat BPK yang aman dan efektif sebagai pupuk hayati, sesuai dengan prinsip pengembangan mikroba non-patogen pada sistem budidaya tanaman.

BAHAN DAN METODE

Kegiatan penelitian dilakukan di laboratorium Bioteknologi Tanah dan Lingkungan yang berlokasi di Fakultas Pertanian, IPB University. Peralatan yang digunakan adalah *syringe* 1 ml, cawan petri, *erlenmeyer*, autoklaf, neraca analitik, gelas ukur, spatula, *water bath*, tabung reaksi, *shaker*, dan jarum *ose*. Bahan penelitian terdiri atas satu isolat Bakteri Pelarut Kalium (BPK), media *Nutrient Broth* (NB) dan *Nutrient Agar* (NA), tanaman tembakau (*Nicotiana tabacum*), *Blood Agar* yang mengandung 5% darah domba, akuades steril, molase, dan zeolit.

Peremajaan isolat BPK dilakukan pada media NA menggunakan metode *streak* kuadran, lalu diinkubasi pada suhu 27 °C selama ± 24 jam. Koloni tunggal yang tumbuh selanjutnya diinokulasikan ke dalam media NB dan diinkubasi menggunakan *shaker* pada suhu 27 °C selama 48 jam. Kepadatan inokulum distandarisasi dengan metode Total Plate Count (TPC) hingga mencapai populasi sekitar 10^7 CFU/ml, yang digunakan sebagai inokulum awal pada seluruh pengujian.

Uji hipersensitivitas dilakukan untuk mengevaluasi potensi patogenitas isolat BPK terhadap tanaman tembakau. Kultur BPK dengan kepadatan $\pm 10^7$ CFU/ml, diinokulasikan secara interseluler pada bagian permukaan bawah daun tembakau menggunakan *syringe* tanpa jarum hingga kondisi jenuh. Sebagai kontrol negatif, daun diinokulasikan dengan akuades steril pada area yang berbeda. Tanaman diinkubasi pada suhu ruang (± 27 °C), dan pengamatan gejala nekrosis dilakukan secara berkala selama 72 jam setelah inokulasi. Isolat yang tidak menimbulkan gejala nekrosis hingga akhir masa pengamatan dikategorikan tidak bersifat patogen terhadap tanaman dan digunakan pada tahap pengujian selanjutnya.

Uji hemolisis dilakukan sebagai skrining awal potensi patogenitas isolat terhadap manusia dan hewan. Isolat BPK digoreskan di atas permukaan *Blood Agar* yang mengandung 5% darah domba, kemudian diinkubasi pada suhu 27 °C selama ± 24 jam. Pengamatan dilakukan terhadap perubahan zona di sekitar koloni, yang diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yakni beta-hemolisis (lisis sempurna ditandai adanya zona bening di sekeliling koloni), alfa-hemolisis (lisis sebagian ditandai koloni berwarna hijau), dan gamma-hemolisis (tidak menyebabkan lisis) (Buxton, 2005). Uji ini digunakan sebagai indikator awal keamanan hayati isolat.

Pengujian viabilitas isolat dilakukan menggunakan dua jenis bahan pembawa, yaitu molase (cair) dan zeolit (padat). Kedua bahan pembawa disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C dan tekanan 1 atm selama 20 menit. Isolat BPK dengan kepadatan awal $\pm 10^7$ CFU/ml diinokulasikan ke masing-masing bahan pembawa. Formulasi disimpan pada dua kondisi, yaitu 27 °C (suhu ruang) dan 4°C (suhu dingin dalam *refrigerator*), masing-masing diamati pada hari ke-14 dan ke-28 setelah inokulasi isolat BPK. Setiap perlakuan merupakan kombinasi bahan pembawa dan suhu penyimpanan, dengan tiga ulangan.

Perhitungan populasi dilakukan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) pada media *NA*. Sebanyak 1 ml formulasi molase atau 1 g formulasi zeolit disuspensikan ke dalam 9 ml larutan NaCl steril 0,85%, kemudian dilakukan pengenceran berseri hingga 10^{-9} . Sebanyak 0,1 ml dari pengenceran 10^{-6} hingga 10^{-9} ditanam pada media *NA* menggunakan teknik *spread plate* dan diinkubasi pada suhu 27 °C selama ± 24 jam sebelum dilakukan penghitungan koloni. Populasi bakteri dinyatakan dengan CFU/ml untuk bahan pembawa cair dan CFU/g untuk bahan pembawa padat.

Data viabilitas dianalisis secara deskriptif berdasarkan perubahan populasi bakteri selama masa penyimpanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian hipersensitivitas dan hemolisis

Uji hipersensitivitas pada daun tembakau digunakan untuk mendeteksi potensi patogenitas isolat bakteri sebelum dimanfaatkan sebagai agen hayati. Pada pengujian ini, isolat Bakteri Pelarut Kalium (BPK) yang diinokulasi pada dua titik lokasi penyuntikan tidak menimbulkan reaksi hipersensitif, sehingga menunjukkan respon negatif pada daun tembakau. Kondisi serupa ditunjukkan oleh kontrol, yang tidak memperlihatkan perubahan warna maupun

kerusakan jaringan daun. Ketiadaan gejala nekrosis pada area penyuntikan inokulum BPK mengonfirmasi bahwa isolat BPK tidak memicu respon hipersensitif pada tanaman tembakau (Gambar 1). Suroto *et al.* (2023) melaporkan bahwa beberapa bakteri yang diuji pada daun tembakau juga tidak menyebabkan perubahan warna atau kerusakan jaringan, sehingga menghasilkan respon hipersensitivitas negatif. Penelitian Herdiyantoro *et al.* (2022) menunjukkan bahwa beberapa isolat BPK, seperti BPK-DHJ1-4125(2), BPK-DHJ3-3150(17), dan BPK-DHJ2-5250(16), tidak menimbulkan gejala nekrosis. Respon negatif ini menjadi dasar bahwa ketiga isolat tersebut dikategorikan sebagai bakteri non-patogen. Isolat ini dinilai aman untuk digunakan dalam formulasi pupuk hayati.

Uji hemolisis dilakukan sebagai skrining awal untuk mengevaluasi potensi patogenitas isolat Bakteri Pelarut Kalium (BPK) terhadap manusia maupun hewan, sebelum diaplikasikan pada sistem budidaya tanaman. Isolat BPK ditumbuhkan pada media Blood Agar yang mengandung 5% darah domba dan diinkubasi pada suhu 27 °C selama ± 24 jam. Berdasarkan hasil pengamatan isolat BPK (Gambar 2), tidak ditemukan lisis eritrosit, ditandai dengan tidak terbentuknya zona bening maupun perubahan warna di sekitar koloni bakteri setelah masa inkubasi. Hal ini menunjukkan tidak adanya aktivitas hemolitik. Tidak adanya perubahan zona hijau atau coklat (ciri *alpha*-hemolisis) maupun zona bening (ciri *beta*-hemolisis) menunjukkan bahwa isolat BPK diklasifikasikan sebagai bakteri dengan tipe *gamma*-hemolisis, yaitu tidak memiliki kemampuan melisis eritrosit (Buxton, 2005). Hasil ini menunjukkan bahwa isolat BPK tidak memperlihatkan indikasi awal patogenitas berdasarkan uji hemolisis. Meskipun uji hemolisis merupakan metode skrining awal yang umum digunakan untuk mengevaluasi potensi patogenitas bakteri

terhadap manusia dan hewan, hasil uji ini belum sepenuhnya merepresentasikan seluruh mekanisme yang berperan dalam potensi bahaya mikroba. Oleh karena itu, evaluasi keamanan hayati secara lebih komprehensif dan bertahap sebelum aplikasi mikroba pada

sistem budidaya tanaman merupakan aspek krusial dalam penilaian risiko mikroorganisme berbasis pertanian (Vassileva *et al.*, 2022).



Gambar 1. Uji hipersensitivitas Bakteri Pelarut Kalium (BPK) pada daun tembakau, a. Kontrol; b. BPK lokasi penyuntikan 1; dan c. BPK lokasi penyuntikan 2



Gambar 2. Uji hemolisis isolat Bakteri Pelarut Kalium (BPK) pada *Blood Agar*

Uji Viabilitas Bakteri Pelarut Kalium (BPK)

Isolat BPK yang telah lolos hasil uji hipersensitivitas dan hemolisis, selanjutnya dilakukan uji viabilitas dengan menginokulasi isolat BPK ke dalam bahan pembawa berupa molase dan zeolit. Berdasarkan Tabel 1, perlakuan molase dan zeolit berperan sebagai

bahan pembawa yang efektif untuk menjaga viabilitas Bakteri Pelarut Kalium (BPK) selama penyimpanan, meskipun efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh suhu penyimpanan.

Penyimpanan pada suhu ruang (27 °C) menunjukkan peningkatan populasi Bakteri Pelarut Kalium (BPK) pada kedua bahan

pembawa. Pada perlakuan molase sebagai bahan pembawa cair, populasi BPK meningkat dari $6,3 \times 10^6$ CFU/ml menjadi $5,6 \times 10^8$ CFU/ml pada hari ke-14 dan mencapai $6,7 \times 10^9$ CFU/ml pada hari ke-28. Peningkatan populasi BPK hingga mencapai kepadatan sel yang tinggi (10^9 CFU/ml) mengindikasikan bahwa molase sebagai bahan pembawa mampu menyediakan sumber karbon. Hal ini mendukung ketersediaan nutrisi mikroba selama masa penyimpanan. Selain itu, karbon digunakan oleh bakteri untuk mendukung proses pembentukan struktur sel baru, mempertahankan kelangsungan hidup dan berbagai aktivitas metabolisme (Azeem *et al.*, 2021; Devianto *et al.*, 2020; Hendriana *et al.*, 2020). Temuan ini diperkuat oleh penelitian Syarifain *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa perlakuan penambahan 2% molase pada bahan pembawa mampu meningkatkan populasi mikroorganisme seperti Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dan Rizobakteri Penambat Nitrogen (BPN), dibandingkan perlakuan tanpa molase, serta mempertahankan viabilitasnya hingga 12 minggu setelah formulasi dibuat.

Pada perlakuan bahan pembawa zeolit yang bersifat padat, populasi awal BPK sebesar $8,7 \times 10^6$ CFU/g meningkat menjadi $3,9 \times 10^8$ CFU/g pada hari ke-14 dan mencapai $1,1 \times 10^9$ CFU/g pada hari ke-28. Hasil ini menunjukkan bahwa zeolit mampu mempertahankan viabilitas dan mendukung peningkatan populasi sel BPK, meskipun tingkat peningkatannya lebih rendah

dibandingkan molase. Hasil penelitian Putri *et al.* (2010) menunjukkan bahwa penggunaan bahan pembawa zeolit lebih unggul dibandingkan arang aktif dalam hal menjaga viabilitas inokulum, seperti Fungi Pelarut Fosfat (FPF), *Azotobacter*, dan *Azospirillum* selama 70 hari penyimpanan. Selain itu, Khalisha *et al.* (2022) menyatakan bahwa bahan pembawa zeolit mampu mempertahankan populasi mikroba pada rata-rata 10^8 CFU/g hingga empat bulan penyimpanan.

Efektivitas zeolit berkaitan dengan kemampuannya meningkatkan kapasitas tukar kation, sehingga mendukung ketersediaan nutrisi, serta memicu aktivitas metabolisme mikroba. Selain itu, struktur zeolit yang berpori dan memiliki luas permukaan besar berfungsi efektif sebagai media imobilisasi dan adsorben, sehingga mampu menyimpan kation yang dibutuhkan mikroorganisme, serta mendukung aktivitasnya (Doni *et al.*, 2020; Mellyanawaty *et al.*, 2017).

Meskipun demikian, peningkatan populasi BPK pada bahan pembawa zeolit cenderung lebih rendah dibandingkan molase. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sifat zeolit yang berperan untuk mempertahankan populasi bakteri, meskipun biasanya menurun seiring waktu. Sedangkan molase kaya nutrisi dan berfungsi sebagai sumber karbon yang mudah diakses, sehingga terbukti mendukung viabilitas bakteri bermanfaat (Raju *et al.*, 2025).

Tabel 1. Viabilitas Bakteri Pelarut Kalium (BPK) pada molase dan zeolit selama penyimpanan suhu 27 °C dan 4 °C

Bahan Pembawa	Kondisi Penyimpanan/Suhu	Populasi Awal	Waktu Penyimpanan Hari ke-	
			14	28
Molase*	27 °C	$6,3 \times 10^6$	$5,6 \times 10^8$	$6,7 \times 10^9$
	4 °C	$6,3 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	$7,7 \times 10^5$
Zeolit**	27 °C	$8,7 \times 10^6$	$3,9 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9$
	4 °C	$8,7 \times 10^6$	$9,6 \times 10^7$	$3,9 \times 10^6$

Keterangan: Populasi dinyatakan dalam *CFU/ml untuk molase dan ** CFU/g untuk zeolit

Pada penyimpanan suhu refrigerator (4 °C), respon viabilitas BPK menunjukkan pola yang berbeda antar bahan pembawa. Pada perlakuan molase, populasi BPK mengalami penurunan dari $6,3 \times 10^6$ CFU/ml menjadi $2,8 \times 10^6$ CFU/ml pada hari ke-14 dan terus menurun hingga $7,7 \times 10^5$ CFU/ml pada hari ke-28. Kondisi ini menunjukkan bahwa suhu rendah memperlambat aktivitas metabolisme BPK, serta menghambat pertumbuhan bakteri ketika berada dalam media cair seperti molase. Sebaliknya, pada bahan pembawa zeolit populasi BPK meningkat dari $8,7 \times 10^6$ CFU/g menjadi $9,6 \times 10^7$ CFU/g pada hari ke-14, kemudian menurun menjadi $3,9 \times 10^6$ CFU/g pada hari ke-28. Peningkatan sementara ini diduga berkaitan dengan kemampuan bertahan hidup awal isolat sebelum terjadi penurunan populasi pada periode penyimpanan berikutnya.

Secara keseluruhan, penyimpanan pada suhu ruang (27 °C) merupakan kondisi yang lebih mendukung bagi aktivitas metabolisme dan peningkatan populasi sel BPK pada kedua jenis bahan pembawa. Perbedaan respon viabilitas antara molase dan zeolit menunjukkan bahwa karakter fisik dan ketersediaan nutrisi bahan pembawa berperan terhadap keberlangsungan hidup dan dinamika populasi bakteri selama penyimpanan. Selain itu, suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang memengaruhi pola pertumbuhan mikroba, karena setiap mikroorganisme memiliki kisaran dan titik suhu optimum yang berbeda untuk dapat menunjang pertumbuhannya.

Hasil uji hipersensitivitas dan hemolisis secara konsisten menunjukkan bahwa isolat BPK tidak memperlihatkan indikasi awal patogenitas, sehingga layak dilanjutkan pada tahap evaluasi viabilitas dan formulasi pupuk hayati pelarut kalium.

SIMPULAN

Isolat Bakteri Pelarut Kalium (BPK) menunjukkan indikasi non-patogen terhadap

tanaman, yang terlihat dari uji hipersensitivitas tembakau yang menunjukkan respon negatif. Uji hemolisis menunjukkan hasil gamma-hemolisis (γ -hemolisis) tanpa munculnya zona bening maupun perubahan warna pada media *Blood Agar*, sehingga isolat BPK diindikasikan non-patogen bagi manusia dan hewan. Pengujian viabilitas menunjukkan bahwa isolat BPK dapat mempertahankan populasi pada kedua bahan pembawa, yaitu molase dan zeolit, dengan variasi respon terhadap kondisi penyimpanan pada suhu ruang (27 °C) maupun suhu dingin refrigerator (4 °C). Hasil ini menunjukkan bahwa isolat BPK yang aman dan stabil memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai formulasi pupuk hayati pelarut kalium.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaria, W., Sinaga, M. S., Mutaqin, K. H., Supriadi, & Widodo. (2023). Hemolysis and hypersensitives test ease culture collection management of antagonistic bacteria. *J. Trop. Plant Pest Dis*, 23(2), 24–30.
- Azeem, M., Hassan, T. U., Tahir, M. I., Ali, A., Jeyasundar, P. G. S. A., Hussain, Q., Bashir, S., Mehmood, S., & Zhang, Z. (2021). Tea leaves biochar as a carrier of *Bacillus cereus* improves the soil function and crop productivity. *Appl. Soil Ecol.*, 157, 103732.
- Bhardwaj, S., Huda, S., Jayasena, V., Ahmed, T., & Chen, Z. H. (2023). Potassium transport and use efficiency for sustainable fertigation in protected cropping. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 2(3), 346–356.
- Buxton, R. (2005). Blood agar plates and hemolysis protocols. Washington: American Society for Microbiology Pr.
- Devianto, L. A., Latunussa, C. E. L., Helmy, Q., & Kardena, E. (2020). Biosurfactants production using glucose and molasses as carbon by *Azotobacter vinelandii* and soil washing application in hydrocarbon-contaminated soil. *IOP Conf. Series:*

- Earth and Environmental Science*, 475, 1–6.
- Doni, S., Gispert, M., Perruzzi, E., Macci, C., Mattii, G. B., Manzi, D., Masini, M. C., & Grazia, M. (2020). Impact of natural zeolite on chemical and biochemical properties of vineyard soils. *Soil Use Manag*, 37(4), 832–842.
- Etesami, H., Emami, S., & Alikhani, H. A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects - a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 897–911. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005>.
- Hendriana, A., Wiyoto, & Lesmanawati, W. (2020). Penambahan konsentrasi molase berbeda untuk perbaikan kualitas air dan produksi udang vaname (*Litopeneus vannamei*) (BOONE 1931). *Jurnal Sains Terapan*, 10(1), 60–68.
- Herdiyantoro, D., Setiawati, M.R., & Simarmata, T. (2022). Reaksi hipersensitif daun tembakau oleh isolat bakteri pelarut kalium pada praformulasi pupuk hayati. *Soilrens*, 20(2), 72–77.
- Karmakar, K., Patil, S. S., & Kundu, B. (2024). From soil to oil: The crucial roles of potassium and sulphur in enhancing oilseed crop quality. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(8), 335–346.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2019 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Khalisha, A., Widyastuti, R., & Chaniago, I., A. (2022). Use of phosphorus- and potassium-solubilizing multifunctional microbes to support maize growth and yield. *Sains Tanah-Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 19(1), 91–98.
- Madaras, M., & Koubová, M. (2015). Potassium availability and soil extraction tests in agricultural soils with low exchangeable potassium content. *Plant Soil Environment*, 61(5), 234–239.
- Manning, D.A.C. (2010). Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 281–294.
- Mellyanawaty, M., Purnomo, C. W., & Budhijanto, W. (2017). Pengaruh penambahan zeolit alam termodifikasi sebagai media imobilisasi bakteri terhadap dekomposisi material organik secara anaerob. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(1), 36–42.
- Pudjiwati, E. H., & Hamid, N. B. (2020). Viabilitas dan aktivitas bakteri pelarut fosfat indigenus pada beberapa bahan pembawa cair. *Jurnal Boreneo Saintek*, 3(2), 85-92.
- Putri, S. M., Anas, I., Hazra, F., Citraresmini, A. (2010). Viabilitas inokulan dalam bahan pembawa gambut, kompos, arang batok dan zeolit yang disteril dengan iradiasi sinar gamma Co-60 dan mesin berkas elektron. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 12(1), 23–30.
- Raju, K., Thirupathi, S. M., Khader, S. A. R. M. A., Pugalenth, S., Kumar, S. K., Vel, B. S., Sivamalar, S. S. M., & Marichamy, S. (2025). Assessment of organic and inorganic carrier material based biofertilizers: A review. *Curr Agri Res*, 13(2), 453–456.
- Rani, K., Datta, A., Jat, H. S., Choudhary, M., Sharma, P. C., & Jat, M. L. (2023). Assessing the availability of potassium and its quantity-intensity relations under long term conservation agriculture based cereal systems in North-West India. *Soil and Tillage Research*, 228, 105644.
- Rani, V., & Sengar, R. S. (2020). Use of potassium bio-fertilizers technology for sustainable agriculture in dry areas. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(6), 1944–1946.
- Subhash, S., Singh, S., & Prajapati, S. (2022). Potassium and its forms in soil. *The Agriculture Magazine*, 1, 10–13.
- Suroto, A., Mugiastuti, E., Tarjoko, Oktviani, E., & Bahrudin, M. (2023). Uji hipersensitivitas bakteri terbawa serangga pada lahan penanaman cabai di Kabupaten Banyumas. *Gontor Agrotech Science Journal*, 9(1), 67–81.

- Syarifain, R.I., Rashaun, M.R., Anggrainy, E.D., & Simarmata, R. (2022). Formulasi pembawa rizobakteri penambat nitrogen dan pelarut fosfat, serta aplikasinya di pembibitan kelapa sawit yang diberi komposisi dan dosis amelioran yang berbeda. *Jurnal Kultivasi*, 21(2), 190–201.
- Tränkner, M., Tavakol, E., & Jákli, B. (2018). Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*, 163, 414–431.
- Vassileva, M., Mocali, S., Canfora, L., Malusà, E., Moral, L. F. G. D., Martos, V., Flor-Peregrin, E., & Vassilev, N. (2022). Safety level of microorganism-bearing products applied in soil-plant systems. *Front. Plant Sci*, 13, 862875.
- Wartono, Suryadi, Y., & Susilowati, D. N. (2012). Keefektifan formulasi bakteri *Burkholderia cepacia* isolat E76 terhadap *Rhizoctonia solani* Kühn pada pertumbuhan tanaman padi di laboratorium. *Jurnal Agrotropika*, 17(2), 39–42.
- Yasin, M., Munir, I., & Faisal, M. (2016). Can *Bacillus* spp. enhance K⁺ uptake in crop species. In *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture*. Springer, New Delhi.