

Herdiyantoro, D. · T. Simarmata · M.R. Setiawati · N. Nurlaeny · B. Joy · M. Arifin · J.S. Hamdani · I. Handayani

Pemilihan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut kalium untuk meningkatkan serapan kalium dan pertumbuhan tanaman jagung pada tanah Inceptisols

Sari. Salah satu strategi yang diterapkan pada pupuk hayati untuk menunjukkan efek positif pada tanaman yang diinokulasi adalah pemilihan teknik aplikasi dan dosis yang tepat, baik pada tanah, benih, atau kombinasi keduanya. Tujuan dari percobaan ini adalah mendapatkan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K yang memberikan hasil terbaik terhadap penyerapan K dan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada Inceptisols Jatinangor. Percobaan dilaksanakan pada November 2018–Januari 2019 di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok dengan 9 perlakuan dan 3 kali ulangan. Perlakuan terdiri dari tanpa perlakuan (kontrol), aplikasi pada benih 400 g.ha⁻¹ dan 800 g.ha⁻¹, aplikasi pada tanah 2 kg.ha⁻¹ dan 4 kg.ha⁻¹, dan kombinasi antara kedua teknik aplikasi dan dosis tersebut. Hasil percobaan menunjukkan aplikasi pupuk hayati pelarut K dengan dosis 4 kg.ha⁻¹ dapat meningkatkan populasi BPK total 52,86% dibandingkan kontrol dan berkorelasi positif terhadap konsentrasi K₂O ($r=0,64^{**}$), serapan K ($r=0,59^{**}$), dan diameter batang tanaman jagung ($r=0,46^*$) yang dibudidayakan di tanah Inceptisols Jatinangor.

Kata kunci: Aplikasi pada benih · Aplikasi pada tanah · Bakteri pelarut kalium · Dosis · Jagung

Selection of application technique and dose of potassium solubilizing biofertilizer to increase potassium uptake and growth of maize on Inceptisols

Abstract. One of the strategies applied to biofertilizers to show a positive effect on the inoculated plants is the selection of the appropriate application technique and dose in soil, seeds, or a combination of both. The purpose of this experiment was to obtain the application technique and dose of potassium (K) solubilizing biofertilizer that gave the best results on K uptake and growth of maize (*Zea mays* L.) on Inceptisols of Jatinangor. The experiment was performed in November 2018–January 2019 in the greenhouse of the Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran. The experiment used a single factor randomized block design with 9 treatments and 3 replications. The treatments consisted of control, seed treatment at doses of 400 g.ha⁻¹ and 800 g.ha⁻¹, soil treatment at doses of 2 kg.ha⁻¹ and 4 kg.ha⁻¹, and a combination of the two techniques application and doses. The results showed that the application of K solubilizing biofertilizer at a dose of 4 kg.ha⁻¹ could increase the total PSB population by 52.86% compared to control and it was positively correlated with concentration of K₂O ($r=0.64^{**}$), K uptake ($r=0.59^{**}$), and maize stem diameter ($r=0.46^*$) grown on Inceptisols of Jatinangor.

Keywords: Seed treatment · Soil treatment · Potassium solubilizing bacteria · Dose · Maize

Diterima : 20 September 2021, Disetujui : 9 April 2022, Dipublikasikan : 15 April 2022

DOI: [10.24198/kultivasi.v21i1.35781](https://doi.org/10.24198/kultivasi.v21i1.35781)

Herdiyantoro, D.¹ · T. Simarmata¹ · M.R. Setiawati¹ · N. Nurlaeny¹ · B. Joy¹ · M. Arifin¹ · J.S. Hamdani² · I. Handayani³

¹Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang Km. 21, Jatinangor, Sumedang 45363

²Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang Km. 21, Jatinangor, Sumedang 45363

³Department of Agronomy, Murray State University, 102 Curris Center, Murray, Kentucky 42071, United States

Korespondensi: d.herdiyantoro@unpad.ac.id

Pendahuluan

Kalium (K) merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhannya. Penyerapan K oleh tanaman jagung berkorelasi positif dengan hasil tanaman yang dihasilkan (Maruapey, 2012; Subandi, 2013). Hasil analisis tanah awal Inceptisols Jatiningor menunjukkan salah satu faktor pembatas pertumbuhan tanaman adalah ketersediaan K yang rendah. Penyebab rendahnya ketersediaan K secara alami dalam tanah karena sebagian besar K merupakan penyusun struktur mineral silikat primer atau mineral silikat sekunder (Foth, 1990; Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, 1991). Mineral tersebut berpotensi dalam meningkatkan ketersediaan K ketika mineral tersebut lapuk atau larut (Mas'ud, 1992).

Mikrob pelarut K dapat melarutkan sumber K indigen yang berada dalam tanah secara alami atau sumber K eksogen yang diberikan dalam bentuk amelioran K berbasis mineral yang mengandung K (Abou-El-Seoud and Abdel-Megeed, 2012). Mikrob pelarut K yang hidup berinteraksi dengan tanaman di rizosfer menghasilkan asam-asam organik untuk mengeksplorasi sumber K tidak larut dalam struktur mineral silikat sehingga menjadi terlarut untuk memenuhi kebutuhan K sehingga dapat diserap oleh tanaman (Meena *et al.*, 2014; Bennett *et al.*, 2001; Ullman *et al.*, 1996).

Signifikansi aplikasi pupuk hayati terhadap hasil tanaman masih rendah saat ini (Veen *et al.*, 1997). Strategi untuk meningkatkan keberhasilan aplikasi pupuk hayati agar memberikan efek positif pada tanaman yang diinokulasi adalah dengan memberikan perhatian khusus dalam formulasi pupuk hayati, yaitu berbasis isolat mikrob terpilih hasil seleksi dan berviabilitas tinggi dalam bahan pembawa serta penetapan teknik aplikasi dan dosis yang tepat berdasarkan hasil pengujian. Dua puluh lima isolat bakteri pelarut kalium (BPK) telah diisolasi dari rizosfer tanaman jagung pada Inceptisols Jatiningor (Herdiyantoro *et al.*, 2018a). Hasil seleksi mendapatkan tiga isolat BPK terpilih yang mempunyai aktivitas tinggi dalam melarutkan K-felspar (Herdiyantoro *et al.*, 2018b). Ketiga isolat BPK terpilih menghasilkan asam organik dan fitohormon, terutama asam kumarat dan giberelin. Formula pupuk hayati pelarut K tersusun atas isolat BPK terpilih dalam bahan pembawa padat berbasis mineral K-felspar

berviabilitas tinggi pada masa simpan empat minggu (Herdiyantoro *et al.*, 2021).

Pupuk hayati dapat diaplikasikan pada tanah (*soil treatment*), pada benih (*seed treatment*), atau kombinasi keduanya (Kendra, 1999). Pemilihan teknik aplikasi tergantung bagaimana cara kerja pupuk hayati dalam memfasilitasi ketersediaan unsur hara atau menghasilkan fitohormon untuk membantu pertumbuhan tanaman. Pemilihan teknik aplikasi pupuk hayati pelarut K pada tanah bertujuan untuk mengoptimalkan efek pelarutan unsur hara oleh mikrob pelarut K sehingga dapat diserap tanaman dengan cara memperpendek jarak antara K tersedia dalam larutan tanah dengan akar. Dekatnya jarak antara K tersedia dengan akar akan mempercepat sampainya K melalui difusi di permukaan akar (Mengel, 2007). Pupuk hayati juga dapat berperan sebagai rizobakteri pemacu tumbuh tanaman melalui produksi fitohormon (Boiero *et al.*, 2007; Figueiredo *et al.*, 2011). Aplikasi pupuk hayati pelarut K pada benih diharapkan mampu membekali benih dengan fitohormon yang dihasilkan mikrob pelarut K secara eksogen untuk memacu pertumbuhan tanaman.

Dosis pupuk hayati berkaitan dengan kepadatan inokulan yang harus memenuhi persyaratan teknis minimal dalam Kepmentan No. 261/KPTS/SR. 310/M/4/2019. Inokulan pupuk hayati juga harus dapat berkompetisi dengan mikrob indigen dan bertahan dari predator dalam tanah ketika diaplikasikan di lapangan (Veen *et al.*, 1997; Bashan, 1998; Nelson, 2004). Hal tersebut dapat disiasati dengan mengaplikasikan pupuk hayati dengan jumlah inokulan melebihi jumlah mikrob indigen dan predator dalam tanah (Tate, 2000) atau mengaplikasikan inokulan dalam bahan pembawa sebagai habitat mikro yang memberikan perlindungan bagi inokulan dari pengaruh kompetisi dan predasi ketika diaplikasikan di lapangan (Veen *et al.*, 1997).

Akil dan Syafruddin (2015) menguji pengaruh berbagai pupuk hayati unggulan nasional dengan teknik aplikasi dan dosis yang berbeda terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung. Aplikasi pupuk hayati Bio-Padjar pada benih jagung dengan dosis 10 g.kg⁻¹ dan aplikasi pada tanah dengan dosis 0,5-1,0 kg.ha⁻¹ menunjukkan konsentrasi N (2,71%) dan P (0,46%), hasil bobot biji (10,06 ton.ha⁻¹), dan efektivitas agronomis relatif (121,2%) paling tinggi dibandingkan perlakuan pupuk hayati lainnya.

Pemilihan teknik dan dosis aplikasi pupuk hayati pelarut K yang tepat merupakan hal penting untuk menjamin efektivitas kerja pupuk hayati dalam melarutkan K hingga sampai di permukaan akar dan diserap tanaman, serta menjamin viabilitas inokulan dalam pupuk hayati dari pengaruh kompetisi dan predasi ketika diaplikasikan di lapangan. Oleh karena itu, perlu dilakukan percobaan untuk menguji teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K sehingga diperoleh informasi adanya salah satu teknik aplikasi dan dosis yang memberikan hasil terbaik terhadap penyerapan K dan pertumbuhan tanaman jagung pada Inceptisols Jatiningor.

Bahan dan Metode

Percobaan dilaksanakan pada bulan November 2018-Januari 2019 di rumah kaca Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Jatiningor. Bahan-bahan yang digunakan adalah: (i) Pupuk hayati pelarut K dengan formula: 1% BPK kultur campuran + 15% K-felspar + 30% kompos jerami padi + 45% biochar sekam padi + 9% media cair Aleksandrov dengan masa simpan 4 minggu (kepadatan $1,2 \times 10^6$ cfu.g⁻¹); (ii) Contoh tanah Inceptisols dari lahan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran (K-dd rendah [0,14 cmol.kg⁻¹], K₂O HCl 25% tinggi [54,39 mg.100 g⁻¹], pH agak masam [6,49], C-organik rendah [1,81%], kapasitas tukar kation sedang [20,81 cmol.kg⁻¹], tekstur liat, populasi BPK total $2,04 \times 10^5$ cfu.g⁻¹, populasi bakteri total $3,00 \times 10^8$ cfu.g⁻¹, dan populasi fungi total $1,60 \times 10^4$ cfu.g⁻¹; (iii) Benih jagung hibrida kultivar Pertiwi 3; (iv) Pupuk, yaitu: Urea, SP-36, kompos jerami padi (C-organik 17,03%, N 1,39%, C/N 12,25, K₂O 1,21%, kadar air 8,58%, pH 7,71, kapasitas tukar kation 99,90 cmol.kg⁻¹, dan kehalusan 9,97% yang lolos ayakan 4 mesh), dan amelioran K dengan formula: 60% K-felspar + 20% kompos jerami padi + 20% biochar sekam padi dosis 810 kg.ha⁻¹; dan (v) Media agar Aleksandrov (K-felspar sebagai sumber K). Alat-alat yang digunakan adalah: (i) Peralatan untuk penentuan serapan K; (ii) Peralatan untuk menentukan populasi BPK total; dan (iii) Peralatan untuk mengukur pertumbuhan tanaman jagung.

Percobaan dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok. Terdapat 9 perlakuan yang diujikan dengan 3 ulangan (Tabel 1).

Tabel 1. Perlakuan Teknik Aplikasi dan Dosis Pupuk Hayati Pelarut K

No.	Kode	Perlakuan
1.	A	Kontrol
2.	B	Aplikasi pada Benih 400 g.ha ⁻¹
3.	C	Aplikasi pada Benih 800 g.ha ⁻¹
4.	D	Aplikasi pada Tanah 2 kg.ha ⁻¹
5.	E	Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha ⁻¹
6.	F	Aplikasi pada Benih 400 g.ha ⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 2 kg.ha ⁻¹
7.	G	Aplikasi pada Benih 400 g.ha ⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha ⁻¹
8.	H	Aplikasi pada Benih 800 g.ha ⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 2 kg.ha ⁻¹
9.	I	Aplikasi pada Benih 800 g.ha ⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha ⁻¹

Respons perlakuan diukur pada masa vegetatif akhir tanaman jagung, yaitu:

1. Konsentrasi K₂O dan serapan K (metode pengabuan basah dengan HNO₃ dan HClO₄; Sulaeman *et al.*, 2005). Pengambilan sampel daun pada fase *tasseling* ke *silking*, yaitu daun di bawah tongkol dan berlawanan dari tongkol (Thom *et al.*, 1991; Flynn *et al.*, 1999).
2. Populasi BPK total (metode *total plate count* pada media agar Aleksandrov). Teknik pengambilan sampel tanah di daerah rizosfer tanaman jagung berdasarkan Husen (2007).
3. Komponen pertumbuhan tanaman jagung. Cara pengukuran komponen pertumbuhan sebagai berikut (Sari *et al.*, 2017):
 - a. Tinggi tanaman diukur menggunakan meteran dari pangkal tanaman pada permukaan tanah yang sudah ditandai dengan menggunakan patokan standar, yaitu di buku pertama pada ruas ke-2 sampai pada ujung daun terpanjang setelah diluruskan.
 - b. Jumlah daun dihitung pada daun yang telah membuka sempurna dan daun lembaga tidak dihitung.
 - c. Diameter batang diukur menggunakan jangka sorong pada ruas ke-2 dari tanah dengan 2 kali pengukuran pada sisi yang berbeda, kemudian hasil pengukuran dirata-ratakan.

Uji normalitas dilakukan pada data yang diperoleh dan jika tidak menyebar normal maka dilakukan transformasi data. Analisis ragam pada taraf nyata 5% dilakukan untuk pengujian pengaruh perlakuan dan jika terdapat pengaruh

nyata dilanjutkan dengan uji lanjut Dunnett untuk menguji perbedaan nilai rata-rata respons perlakuan dibandingkan kontrol (Mattjik dan Sumertajaya, 2002). Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar respons perlakuan (Taylor, 1990). Analisis-analisis statistik tersebut menggunakan perangkat lunak *Statistical Product and Service Solutions* versi 15.0.

Perlakuan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K terbaik dipilih berdasarkan:

1. Perlakuan yang berbeda nyata terhadap kontrol berdasarkan hasil uji lanjut Dunnett yang terdapat pada semua respons perlakuan; atau
2. Perlakuan yang berbeda nyata terhadap kontrol berdasarkan hasil uji lanjut Dunnett pada respons perlakuan yang mempunyai koefisien korelasi positif yang paling kuat terhadap semua respons perlakuan; atau
3. Perlakuan yang berbeda nyata terhadap kontrol berdasarkan hasil uji lanjut Dunnett pada respons perlakuan yang mempunyai koefisien korelasi positif yang paling kuat terhadap semua respons perlakuan dan perlakuan tersebut lebih praktis diaplikasikan di lapangan.

Pengambilan contoh tanah untuk analisis tanah awal dan sebagai media tanam dilakukan secara komposit pada kedalaman 0–20 cm dari permukaan tanah. Tanah dikeringudarkan, dibersihkan dari sisa-sisa tanaman, ditumbuk, dan disaring dengan saringan 2 mm untuk mendapatkan butiran tanah yang homogen. Contoh tanah ditimbang dengan bobot 15 kg kering udara dan dimasukkan ke dalam *polybag*. Unit-unit percobaan ditata dengan jarak 75 x 20 cm dan ditempatkan secara acak pada setiap kelompok perlakuan di rumah kaca.

Dua benih jagung hibrida kultivar Pertiwi 3 ditanam dalam *polybag* di setiap unit percobaan, kemudian pada 2 minggu setelah tanam (MST) dilakukan penjarangan sehingga tersisa satu bibit. Aplikasi pupuk hayati pelarut K dilakukan sesuai perlakuan dengan teknik: (i) Aplikasi pada benih, yaitu dengan mencampurkan pupuk hayati dengan benih jagung secara homogen sebelum tanam. Pupuk hayati dengan dosis sesuai perlakuan dicampurkan dengan air (rasio 1:2) (Kendra, 1999) lalu disiramkan ke benih jagung hingga homogen; dan (ii) Aplikasi pada tanah, yaitu mencampurkan pupuk hayati dengan kompos (rasio 1:20) sebelum diaplikasikan ke tanah (Kendra, 1999; Mazid and Khan, 2014). Perlakuan pupuk hayati dosis 2

kg.ha⁻¹ dicampurkan dengan 40 kg kompos sedangkan dosis 4 kg.ha⁻¹ dengan 80 kg kompos, kemudian diinkubasikan selama 1 hari sebelum aplikasi dan diberikan pada tanah dengan cara dibenamkan pada lubang tugal pada kedalaman 7 cm dengan jarak 5 cm di samping tanaman. Dosis pupuk hayati diaplikasikan bertahap, yaitu masing-masing diberikan setengah dosis pada 4 dan 7 MST.

Pemupukan dasar untuk tanaman jagung adalah Urea 350 kg.ha⁻¹, SP-36 200 kg.ha⁻¹, KCl 200 kg.ha⁻¹, dan kompos 2 ton.ha⁻¹ (Suryana *et al.*, 2007). Pupuk Urea diberikan tiga kali aplikasi, yaitu 25% pada 1 MST, 50% pada 4 MST, dan 25% pada 6 MST. Pupuk SP-36 diberikan seluruhnya pada 1 MST. Pupuk-pupuk tersebut diberikan pada lubang tugal dengan jarak 5 cm di samping tanaman. Kompos diberikan seluruhnya pada 1 minggu sebelum tanam dengan mencampurkan secara homogen dengan tanah. Pupuk KCl tidak diberikan pada percobaan ini karena sebagai sumber K tidak larut digunakan amelioran K berbasis mineral K-felspar. Amelioran K dosis 810 kg.ha⁻¹ diberikan seluruhnya pada 1 MST dengan mencampurkan secara homogen dengan tanah. Pemeliharaan tanaman jagung dilakukan secara rutin untuk mempertahankan kadar air pada kapasitas lapang, pengendalian hama, penyakit, dan gulma.

Hasil dan Pembahasan

Perlakuan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K berpengaruh nyata terhadap konsentrasi K₂O, serapan K, populasi BPK total, dan diameter batang, sedangkan terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun tidak berpengaruh nyata pada masa vegetatif akhir tanaman jagung (8 MST).

Terdapat perlakuan-perlakuan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K yang menunjukkan perbedaan nyata terhadap konsentrasi K₂O, serapan K, populasi BPK total, dan diameter batang pada 8 MST tanaman jagung (Tabel 2). Perlakuan G (Aplikasi pada Benih 400 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹) dan perlakuan I (Aplikasi pada Benih 800 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹) menghasilkan konsentrasi K₂O lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan A (Kontrol). Perlakuan I (Aplikasi pada Benih 800 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹) menghasilkan serapan K tertinggi

dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan A (Kontrol). Perlakuan E (Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹), perlakuan G (Aplikasi pada Benih 400 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹), perlakuan H (Aplikasi pada Benih 800 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 2 kg.ha⁻¹), dan perlakuan I (Aplikasi pada Benih 800 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹) menghasilkan populasi BPK lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan A (Kontrol). Perlakuan E (Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹), perlakuan H (Aplikasi pada Benih 800 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 2 kg.ha⁻¹), dan perlakuan I (Aplikasi pada Benih 800 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹) menghasilkan diameter batang lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan A (Kontrol).

Tabel 2. Pengaruh teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K terhadap konsentrasi K₂O, serapan K, populasi BPK total, dan diameter batang pada 8 MST tanaman jagung

Perlakuan	Konsentrasi K ₂ O (%)	Serapan K (g.tanaman ⁻¹)	Populasi BPK Total (x10 ⁵ cfu.g ⁻¹)	Diameter Batang (mm)
A	1,1133 a	0,0167 a	2,27 a	5,37 a
B	1,2433 a	0,0433 a	2,40 a	8,82 a
C	1,2633 a	0,0433 a	3,33 a	9,53 a
D	1,2267 a	0,0233 a	3,20 a	8,43 a
E	1,2933 a	0,0367 a	3,47 b	11,85 b
F	1,2733 a	0,0233 a	3,33 a	7,68 a
G	1,3267 b	0,0467 a	4,79 b	10,39 a
H	1,2900 a	0,0500 a	5,07 b	12,19 b
I	1,3767 b	0,0600 b	4,91 b	11,09 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh notasi huruf yang sama dengan notasi huruf pada perlakuan A sebagai kontrol tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Dunnett pada taraf nyata 5%; Notasi huruf dibaca ke arah vertikal berdasarkan kolom.

Populasi BPK total menunjukkan nilai korelasi positif dan sedang terhadap konsentrasi K₂O ($r=0,64^{**}$), serapan K ($r=0,59^{**}$), dan diameter batang ($r=0,46^*$) (Tabel 3). Respons populasi BPK total karena pengaruh berbagai teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K dipilih untuk mewakili pemilihan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K terbaik karena sangat nyata berkorelasi positif dan sedang terhadap konsentrasi K₂O dan serapan K serta nyata berkorelasi positif dan sedang terhadap diameter batang tanaman jagung. Peningkatan populasi BPK total karena pengaruh aplikasi pupuk hayati pelarut K menyebabkan terjadinya pelarutan K secara biologis dari aplikasi mineral K-felspar sebagai pupuk dasar yang selanjutnya berhubungan dengan peningkatan konsentrasi

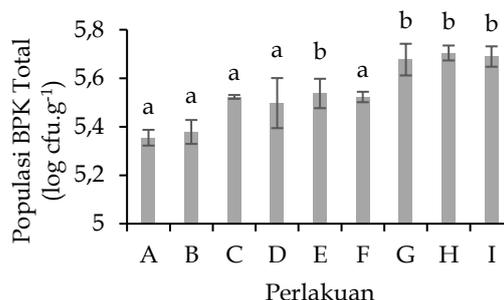
dan serapan K serta diameter batang tanaman jagung. Penambahan ukuran diameter batang berkaitan dengan fungsi K untuk meningkatkan ketebalan jaringan *sclerenchyma* batang yang mempunyai fungsi memberikan kekuatan pada tanaman untuk tidak rebah (Silahooy, 2008).

Tabel 3. Korelasi antar respons perlakuan

Respons	Koefisien Korelasi (r)			
	Konsentrasi K ₂ O	Serapan K	Populasi BPK Total	Diameter Batang
Konsentrasi K ₂ O	1	0,44*	0,64**	0,33
Serapan K	0,44*	1	0,59**	0,47*
Populasi BPK Total	0,64**	0,59**	1	0,46*
Diameter Batang	0,33	0,47*	0,46*	1

Keterangan: **Korelasi berpengaruh sangat nyata pada taraf nyata 1%; *Korelasi berpengaruh nyata pada taraf nyata 5%.

Teknik aplikasi pupuk hayati pelarut K pada tanah dengan dosis 4 kg.ha⁻¹ (perlakuan E) merupakan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K terbaik karena menunjukkan populasi BPK total lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan kontrol (perlakuan A) pada 8 MST tanaman jagung (Tabel 2; Gambar 1). Teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K tersebut dapat meningkatkan populasi BPK total 52,86% dibandingkan kontrol. Selain itu, teknik aplikasi pupuk hayati pelarut K pada tanah dengan dosis 4 kg.ha⁻¹ lebih praktis ketika diaplikasikan di lapangan sehingga memperkuat pertimbangan dalam pemilihan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati terbaik.



Keterangan: Error Bars adalah rata-rata ± standar deviasi. Angka rata-rata pada bars yang diberi notasi huruf yang sama dengan notasi huruf pada perlakuan A sebagai kontrol tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Dunnett pada taraf nyata 5%.

Gambar 1. Pengaruh teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K terhadap populasi BPK total pada 8 MST tanaman jagung

Teknik aplikasi pupuk hayati pelarut K pada tanah dengan dosis 4 kg.ha⁻¹ merupakan teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati terbaik dalam percobaan ini. Teknik aplikasi dan dosis tersebut dapat meningkatkan populasi BPK total dan diameter batang masing-masing 52,86% dan 120,67% dibandingkan kontrol pada 8 MST tanaman jagung. Hasil tersebut sejalan dengan percobaan Abou-El-Seoud and Abdel-Megeed (2012) yang menunjukkan aplikasi inokulan BPK kultur campuran (*Bacillus mucilaginosus* dan *Bacillus subtilis*) pada tanah dengan dosis 13 kg.ha⁻¹ yang diaplikasikan dengan amelioran K (campuran felspar dan illit) dapat meningkatkan serapan K, bobot tajuk, dan panjang akar masing-masing 74%, 28%, dan 22,6% dibandingkan kontrol pada 23 hari setelah tanam (HST) tanaman jagung. Aplikasi inokulum BPK KSB62 pada tanah dapat meningkatkan populasi BPK total dan lingkaran batang masing-masing 265,85% dan 11,73% dibandingkan kontrol pada 55 HST tanaman jagung (Archana, 2007).

Teknik aplikasi pupuk hayati pelarut K ke dalam tanah di sekitar perakaran menyebabkan K menjadi tersedia, yang merupakan efek pelarutan K dari amelioran K berbasis mineral K-felspar oleh isolat-isolat BPK terpilih dalam pupuk hayati, untuk diserap tanaman menjadi lebih optimal. Jarak antara K tersedia dalam larutan tanah dengan akar menjadi dekat sehingga mempercepat sampainya K melalui difusi di permukaan akar. Laju difusi berbanding terbalik dengan jarak antara K tersedia dalam larutan tanah ke permukaan akar (Mengel, 2007). Keuntungan teknik aplikasi pupuk ke dalam tanah di samping bibit tanaman dekat akar (*side dress application*) adalah jarak pupuk dengan akar tanaman pokok sangat dekat sehingga memungkinkan terjadinya interaksi yang cepat antara pupuk dengan akar dalam penyerapan unsur hara serta pupuk akan lebih tersedia untuk tanaman pokok daripada untuk gulma (Mahler, 2001). Selain itu, aplikasi pupuk hayati pelarut K dilakukan dengan mencampurkan pupuk hayati dalam jumlah kecil dengan kompos dalam jumlah besar untuk memudahkan aplikasi. Pencampuran tersebut menyebabkan tersedianya karbon sebagai sumber energi bagi inokulan pupuk hayati untuk beraktivitas di dalam tanah (Mazid and Khan, 2014).

Dosis aplikasi pupuk hayati pelarut K ke dalam tanah terbagi ke dalam dua tahap.

Aplikasi pertama ketika tanaman jagung berumur 4 MST. Menurut Subekti *et al.* (2007) tanaman jagung mengalami fase V6–V10 pada saat tanaman berumur 18–35 hari setelah berkecambah (\pm 4 MST) yang ditandai dengan jumlah daun terbuka sempurna 6–10 helai, titik tumbuh tanaman sudah di atas permukaan tanah, perkembangan dan penyebaran akar sangat cepat, pemanjangan batang meningkat, telah dimulainya pembentukan bakal bunga jantan (*tassel*) dan perkembangan tongkol sehingga pemupukan pada fase ini diperlukan untuk mencukupi kebutuhan unsur hara. Aplikasi ke dua ketika tanaman jagung berumur 7 MST. Pada fase ini serapan hara K diperlukan tanaman saat *silking* (Syafuruddin *et al.*, 2007). Menurut Subekti *et al.* (2007) tahap *silking* diawali oleh munculnya rambut dari dalam tongkol yang terbungkus kelobot yang dimulai pada 2–3 hari setelah fase *tasseling* (VT). Fase VT berlangsung antara 45–52 hari (\pm 7 MST) yang ditandai adanya cabang terakhir dari bunga jantan sebelum kemunculan bunga betina (*silk*), tinggi tanaman hampir mencapai maksimal, dan bunga jantan mulai menyebarkan serbuk sari.

Isolat-isolat BPK terpilih yang terkandung dalam pupuk hayati pelarut K dapat melarutkan sumber K eksogen, yang terkandung dalam amelioran K berbasis mineral K-felspar yang diberikan sebagai pupuk dasar, sehingga dapat memfasilitasi ketersediaan unsur hara K untuk diserap tanaman jagung. Hal ini terlihat dari perlakuan G (Aplikasi pada Benih 400 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹) dan perlakuan I (Aplikasi pada Benih 800 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹) yang dapat meningkatkan konsentrasi K₂O masing-masing 19,17% dan 23,66% dibandingkan perlakuan A (Kontrol). Selain itu, perlakuan I (Aplikasi pada Benih 800 g.ha⁻¹ dan Aplikasi pada Tanah 4 kg.ha⁻¹) dapat meningkatkan serapan K 259,28% dibandingkan perlakuan A (Kontrol) pada 8 MST tanaman jagung (Tabel 2). Pelarutan K dari K-felspar berlangsung melalui aktivitas BPK dengan perantara asam organik yang dihasilkannya.

Isolat-isolat BPK terpilih menghasilkan asam kumarat, asam sitrat, asam virulat, asam siringat, asam malat, dan asam oksalat dalam melarutkan K-felspar (Herdiyantoro *et al.*, 2021). Girgis *et al.* (2008) menunjukkan *fumaric acid* dan *tartaric acid* merupakan asam organik utama yang dihasilkan isolat BPK dalam melarutkan felspar. Gugus fungsional karboksil (COOH) dan hidroksil (OH) pada asam organik

terdisosiasi menghasilkan ion H^+ yang dapat menggantikan kedudukan ion K^+ sebagai kation penyeimbang dalam struktur mineral (Ismangil dan Hanudin, 2005). Pelapukan mineral silikat mengandung K dapat terjadi jika 50% ion K^+ sebagai kation penyeimbang dalam struktur mineral mampu digantikan oleh ion H^+ dari asam-asam organik melalui proses hidrolisis. Efek dari proses tersebut adalah terjadinya distorsi struktur mineral sehingga ion K^+ akan keluar dari sistem struktur mineral silikat (Hardjowigeno, 1993). Ion K^+ akan terjerap oleh permukaan partikel koloid tanah atau masuk ke dalam larutan tanah menjadi unsur hara K tersedia untuk diserap tanaman. Menurut Mengel and Kirkby (2001), K yang berasal dari pelarutan mineral merupakan salah satu sumber K utama untuk diserap tanaman.

Kepadatan inokulan BPK yang terkandung dalam pupuk hayati pelarut K pada percobaan ini adalah $1,2 \times 10^6$ cfu.g⁻¹ yang memenuhi syarat teknis pupuk hayati dalam Kepmentan No. 261/KPTS/SR. 310/M/4/2019. Syarat teknis pupuk hayati majemuk padat yang tersusun dari mikrob kultur campuran lebih dari dua genus harus mempunyai kepadatan inokulan minimum 1×10^6 cfu.g⁻¹ (Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia, 2019; Ghosh *et al.*, 2001). Aplikasi pupuk hayati dalam bahan pembawa ke dalam tanah dengan kepadatan inokulan yang memenuhi jumlah minimum dapat memberikan lingkungan hidup yang kondusif bagi inokulan (Veen *et al.*, 1997; Ferreira and Castro, 2005; Simanungkalit *et al.*, 2012; Brar *et al.*, 2012; Parmar dan Sindhu, 2013). Bahan pembawa berperan sebagai habitat mikro yang memberikan perlindungan bagi inokulan dari pengaruh kompetisi dengan mikrob indigen dan predasi oleh predator dalam tanah ketika diaplikasikan di lapangan (Veen *et al.*, 1997).

Pupuk hayati pelarut K berbasis isolat-isolat BPK terpilih yang diaplikasikan pada tanah dengan dosis 4 kg.ha⁻¹ dapat meningkatkan populasi BPK total di daerah perakaran dan diameter batang pada masa vegetatif akhir tanaman jagung pada Inceptisols Jatiningor. Penelitian yang dapat dilakukan selanjutnya adalah mengevaluasi kemampuan pupuk hayati pelarut K yang diaplikasikan bersama dengan amelioran K berbasis mineral K-felspar terhadap peningkatan hasil tanaman jagung dan efisiensi penggunaan pupuk KCl dalam skala lapang. Hal tersebut perlu dilakukan karena pemenuhan kebutuhan pupuk

K untuk tanaman selama ini dilakukan melalui pemupukan KCl yang sepenuhnya dipenuhi melalui impor. Pupuk hayati pelarut K dan amelioran K berbasis mineral K-felspar berpotensi sebagai alternatif untuk mengurangi atau menggantikan pemakaian pupuk KCl.

Kesimpulan

Kesimpulan berdasarkan hasil percobaan adalah sebagai berikut:

1. Teknik aplikasi dan dosis pupuk hayati pelarut K berpengaruh nyata terhadap konsentrasi K_2O , serapan K, populasi BPK total, dan diameter batang tanaman jagung pada Inceptisols Jatiningor.
2. Teknik aplikasi pupuk hayati pelarut K pada tanah dengan dosis 4 kg.ha⁻¹ merupakan teknik aplikasi dan dosis terbaik yang dapat meningkatkan populasi BPK total yang berkorelasi positif terhadap konsentrasi K_2O , serapan K, dan diameter batang tanaman jagung pada Inceptisols Jatiningor.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada staf Laboratorium Biologi Tanah, Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman, dan Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran yang telah membantu dalam analisis di laboratorium dan percobaan di rumah kaca. Percobaan ini dibiayai oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia.

Daftar Pustaka

- Abou-El-Seoud, I.I., and A. Abdel-Megeed. 2012. Impact of rock materials and biofertilizations on P and K availability for maize (*Zea mays*) under calcareous soil conditions. Saudi J. Biol. Sci. 19(1): 55-63.
- Akil, M. dan Syafruddin. 2015. Efektivitas pupuk hayati pada budidaya tanaman jagung di lahan kering. Prosiding Seminar Nasional Serealia. 205-212.
- Archana, D.S. 2007. Studies on Potassium Solubilizing Bacteria [Thesis]. University of Agricultural Sciences. Dharwad.

- Bashan, Y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnol. Adv.* 16: 729-770.
- Bennett, P.C., J.R. Rogers, and W.J. Choi. 2001. Silicates, silicate weathering, and microbial ecology. *Geomicrobiology Journal* 18: 3-19.
- Boiero, L., D. Perrig, O. Masciarelli, C. Penna, F. Cassan, and V. Luna. 2007. Phytohormone production by three strains of *Bradyrhizobium japonicum* and possible physiological and technological implications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 74: 874-880.
- Brar, S.K., S.J. Sarma, and E. Chaabouni. 2012. Shelf-life of biofertilizers: An accord between formulations and genetics. *J. Biofertil. Biopestici.* 3(5): 1-2.
- Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. 1991. Kesuburan Tanah. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdikbud. Jakarta.
- Ferreira, E.M. and Castro. 2005. Residues of the cork industry as carrier for the production of legume inoculants. *Silva Lusitana* 13(2): 159-167.
- Figueiredo, M.V.B., L. Seldin, F.F. Araujo, R.L.R. Mariano. 2011. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Fundamentals and Applications. In: Maheshwari, D.K. (Ed.). *Plant Growth and Health Promoting Bacteria*. Springer. Berlin.
- Flynn, R., S.T. Ball, and R.D. Baker. 1999. *Sampling for Plant Tissue Analysis*. New Mexico State University. Mexico.
- Foth, H.D. 1990. *Fundamentals of Soil Science*. Eighth Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Ghosh, T.K., R.P. Singh, J.S. Duhan, and D.S. Yadav. 2001. A review on quality control of biofertilizer in India. *Fertiliser Marketing News* 32(8): 1-9.
- Girgis, M.G.Z., H.M.A. Khalil, and M.S. Sharaf. 2008. In vitro evaluation of rock phosphate and potassium solubilizing potential of some Bacillus strains. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 2(1): 68-81.
- Hardjowigeno, S. 1993. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Herdiyantoro, D., T. Simarmata, M.R. Setiawati, N. Nurlaeny, B. Joy, J.S. Hamdani, dan I. Handayani. 2018a. Eksplorasi dan identifikasi morfologi koloni isolat rhizobakteri pelarut kalium dari rhizosfer tanaman jagung yang berpotensi sebagai pupuk hayati pelarut kalium. *Pros. Sem. Nas. Masy. Biodiv. Indon.* 4(2): 178-183.
- Herdiyantoro, D., M.R. Setiawati, T. Simarmata, N. Nurlaeny, B. Joy, J.S. Hamdani, and I. Handayani. 2018b. The ability of potassium solubilizing rhizo-bacteria isolated from maize rhizosphere for microbial fertilizer. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 205 012011.
- Herdiyantoro, D., T. Simarmata, M.R. Setiawati, N. Nurlaeny, B. Joy, M. Arifin, J.S. Hamdani, and I. Handayani, I. 2021. The viability of selected potassium solubilizing rhizobacteria in a mixture of K-feldspar and organic matter as carrier material. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 748 012023.
- Husen, E. 2007. *Isolasi, Karakterisasi, dan Enumerasi Mikroba: Pengambilan Contoh Tanah untuk Analisis Mikroba*. Dalam: Saraswati, R. *et al.* (Editor). *Metode Analisis Biologi Tanah*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Deptan. Bogor.
- Ismangil dan E. Hanudin. 2005. Degradasi mineral batuan oleh asam-asam organik. *J. Ilmu Tanah dan Lingkungan* 5(1): 1-17.
- Kendra, K.V. 1999. *Use of Bio-Fertilizers*. Extn. Folder No. 17. ICAR Research Complex for Goa. Ela, Old Goa.
- Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia. 2019. *Kepmentan No. 261/KPTS/SR. 310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah*. Kementan. Jakarta.
- Mahler, R.L. 2001. *Fertilizer Placement*. CIS 757. University of Idaho, Cooperative Extension Service, Agricultural Experiment Station, College of Agriculture. Moscow.
- Maruapey, A. 2012. Pengaruh pupuk K terhadap pertumbuhan dan produksi berbagai jagung pulut (*Zea mays ceratina* L.). *Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan* 5(2): 33-45.
- Mas'ud, P. 1992. *Telaah Kesuburan Tanah*. Angkasa. Bandung.
- Mattjik, A.A. dan I.M. Sumertajaya. 2002. *Perancangan Percobaan*. IPB Press. Bogor.
- Mazid, M. dan T.A. Khan. 2014. Future of bio-fertilizers in Indian agriculture: An overview. *International Journal of Agricultural and Food Research* 3(3): 10-23.
- Meena, V.S., B.R. Maurya, J.P. Verma. 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K(+)

- availability in agricultural soil? *Microbiological Research* 169: 337-347.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. Fifth Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Mengel, K. 2007. Potassium. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.). *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press. Boca Raton.
- Nelson, L.M. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants. *Crop Management* 1-7.
- Parmar, P. and S.S. Sindhu. 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: Influence of nutritional and environmental conditions. *Journal of Microbiology Research* 3(1): 25-31.
- Sari, D.P., B.S. Wilman, dan H. Gusmara. 2017. Pertumbuhan dan hasil jagung manis (*Zea mays saccharata*) dengan pengurangan pupuk NPK yang digantikan dengan lumpur kelapa sawit (*sludge*) pada tanah ultisol. *Agritrop* 15(1): 138-150.
- Silahooy, C. 2008. Efek pupuk KCl dan SP-36 terhadap K tersedia, serapan K dan hasil kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) pada tanah Brunizem. *Bul. Agron.* 36(2): 126-132.
- Simanungkalit, R.D.M., E. Husen, dan R. Saraswati. 2012. Baku Mutu Pupuk Hayati dan Sistem Pengawasannya. Dalam: Simanungkalit, R.D.M. *et al.* (Editor). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian, Balitbangtan, Kementan. Bogor.
- Subandi. 2013. Peran dan pengelolaan hara K untuk produksi pangan di Indonesia. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 6(1): 1-10.
- Subekti, N.A., Syafruddin, R. Efendi, dan S. Sunarti. 2007. Morfologi Tanaman dan Fase Pertumbuhan Jagung. Dalam: *Jagung: Teknik Produksi dan Pengembangan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Deptan. Jakarta.
- Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Deptan. Bogor.
- Suryana, A., Suyamto, Zubachtirodin, M.S. Pabbage, dan S. Saenong. 2007. *Budidaya Jagung dengan Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Deptan. Jakarta.
- Syafruddin, Faesal, dan M. Akil. 2007. *Pengelolaan Hara pada Tanaman Jagung*. Dalam: *Jagung: Teknik Produksi dan Pengembangan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Deptan. Jakarta.
- Tate, R.L. 2000. *Soil Microbiology*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Taylor, R. 1990. Interpretation of the correlation coefficient: A basic review. *JDMS* 1: 35-39.
- Thom, W.O., J.R. Brown, and C.O. Plank. 1991. *Sampling for Corn Plant Tissue Analysis*. Iowa State University. USA.
- Ullman, W.J., D.L. Kirchman, and W.A. Welch. 1996. Laboratory evidence by microbioally mediated silicate mineral dissolution in nature. *Chem. Geol.* 132: 11-17.
- Veen, J.A.V., L.S.V. Overbeek, and J.D.V. Elsas. 1997. Fate and activity of microorganisms introduced into soil. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 61(2): 121-135