

Peningkatan Produktivitas Tanaman Singkong Melalui Bioaugmentasi Tanah Menggunakan Actinomycetes dan Fungi Pelarut Fosfat

(Improving Cassava Productivity by Soil Bioaugmentation with Phosphate-Solubilizing Actinomycetes and Fungi)

Alimuddin Ali^{1*}, Muhammad Junda¹, A. Farchan Sjahid², dan Herlina Rante³

¹Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, Jl. Dg. Tata Raya, Kampus UNM Parangtambung, Makassar 90222 Indonesia. Telp. (0411) 840610; Faks. (0411) 841504; *E-mail: muddin_69@unm.ac.id

²Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura, Jl. Amirullah No. 1, Makassar 90131 Indonesia

³Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Farmasi, Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea, Makassar 90245 Indonesia

Diajukan: 17 April 2020; Direvisi: 14 Desember 2020; Diterima: 28 Desember 2020

ABSTRACT

Cassava is one of the most important food commodities, but its cultivation technique must be improved, especially the technology in increasing soil fertility. Lack of phosphate (P), one of the major biological nutrients in soil, can reduce agricultural production. Some P-solubilizing microbes can play an important role in increasing the availability of P for plants. The purpose of this study was to evaluate the ability of P-solubilizing microbes isolated from cassava rhizosphere in improving the growth of cassava after soil bioaugmentation with the formula of selected microbes. A total of 50 isolates were successfully isolated from cassava plant rhizosphere collected from several locations in South Sulawesi. *In vitro* screening on Pikovskaya agar media resulted in six Actinomycetes and six fungal isolates with the best P hydrolysis capacity. One Actinomycetes isolate (*Streptomyces* sp. A-SDR01) and one fungal isolate (*Penicillium* sp. F-SKG17) with nonantagonistic effect to each other based on *in vitro* test were able to improve the vegetative growth of cassava under *in planta* test. Combination of both isolates in a gum arabic formulation increased plant height and productivity compared to untreated plants when applied as soil bioaugmentation in limited field trials at four locations in South Sulawesi. Therefore, application of P-solubilizing microbes that possess soil bioaugmentation properties is recommended for increasing the growth of cassava plants and their use as microbial biofertilizers should be extended to wider areas.

Keywords: Bioaugmentation, Actinomycetes, fungi, phosphate-solubilizing microbes, cassava.

ABSTRAK

Singkong merupakan salah satu komoditas pangan yang cukup penting, namun perlu diperbaiki teknik budinya, terutama dalam teknologi peningkatan kesuburan tanah. Kekurangan fosfat (P) yang merupakan salah satu hara hayati utama dapat membatasi produktivitas pertanian. Beberapa mikroba pelarut P berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan P untuk tanaman. Tujuan penelitian ini ialah mengevaluasi kemampuan mikroba pelarut P hasil isolasi dari rizosfer tanaman singkong dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman singkong setelah bioaugmentasi tanah dengan formula mikroba terseleksi. Sebanyak 50 isolat mikroba berhasil diisolasi dari rizosfer tanaman singkong di beberapa lokasi di Sulawesi Selatan. Skrining *in vitro* pada media agar Pikovskaya menghasilkan enam isolat Actinomycetes dan enam isolat fungi terbaik dalam menghidrolisis P. Satu isolat Actinomycetes dan satu isolat fungi yang bersifat tidak saling menghambat, yaitu *Streptomyces* sp. A-SDR01 dan *Penicillium* sp. F-SKG17, mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman singkong pada uji *in planta*. Formulasi *gum arabic* mengandung kombinasi kedua isolat terseleksi dan digunakan untuk bioaugmentasi tanah pada uji lapangan terbatas di empat lokasi terbukti mampu meningkatkan produktivitas dan tinggi tanaman dibanding dengan kontrol. Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi mikroba pelarut P yang memiliki sifat bioaugmentasi tanah berpotensi meningkatkan pertumbuhan tanaman singkong sehingga perlu diperluas penggunaannya sebagai pupuk hayati mikroba.

Kata kunci: Bioaugmentasi, Actinomycetes, fungi, mikroba pelarut fosfat, singkong.

PENDAHULUAN

Di Indonesia singkong merupakan sumber kalori terpenting ketiga setelah padi dan jagung. Selain sebagai sumber pangan, singkong digunakan untuk pakan dan bahan baku industri (Saleh dan Widodo 2007). Dalam bidang energi, peran singkong akan terus mengalami peningkatan seiring dengan adanya program pemerintah untuk meningkatkan penggunaan sumber energi alternatif (bioetanol) yang berasal dari hasil pertanian (Ginting et al. 2009).

Kecukupan hara merupakan faktor utama yang harus dipenuhi dalam teknologi budi daya singkong karena berdampak besar terhadap peningkatan produksi, baik kualitas maupun kuantitasnya (Sudaryono dan Supeno 2017). Fosfat (P) merupakan hara makro terpenting kedua setelah nitrogen pada proses pertumbuhan tanaman, yang mencapai 0,2% (b/b) berat kering tanaman (Maharajan et al. 2018). Tanaman singkong sangat membutuhkan kecukupan hara P dan kalium, selain untuk pembentukan umbi juga untuk peningkatan kadar pati dan penurunan kandungan hidrogen sianida (HCN) umbi (Ispandi 2003). Hara P memainkan peran yang tak tergantikan dalam ekosistem karena perannya yang sangat penting dalam metabolisme energi, asam nukleat, dan sintesis protein, serta regulasi kinase (Suleman et al. 2018).

Meskipun pupuk kimia ditambahkan ke dalam tanah untuk meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman, sebagian besar di antaranya bersifat tidak larut dan tidak tersedia bagi tanaman (Das et al. 2003). Anion P pada pupuk kimia sangat reaktif melalui interaksi dengan ion Ca^{2+} , Fe^{3+} , dan Al^{3+} di dalam tanah membentuk kompleks garam P yang tidak larut. Namun, efisiensi pemanfaatan tanaman untuk P pada pupuk kimia hanya berkisar 5–25% sehingga hal ini menyebabkan kadar P tanah menurun dan berdampak terhadap berkurangnya kesuburan tanah (Chen dan Liu 2019). Oleh karena itu, upaya pengembangan pupuk yang ekonomis dan ramah lingkungan perlu terus dilakukan (Chuang et al. 2007). Pemanfaatan batuan P, agar tersedia secara efisien untuk tanaman sekaligus ramah lingkungan dibanding dengan penggunaan pupuk P industri, dapat dimediasi dengan penggunaan mikroba (Zhu et al. 2012).

Beberapa mikroba telah dilaporkan mampu melakukan konversi P tak larut menjadi larut, misalnya mikroba dari kelompok bakteri *Bacillus* sp. (Thomas et al. 2018), *Pseudomonas* sp. (Oteino et al. 2015), *Micrococcus* sp. BS3 (Krishnakumar et al. 2014), sedangkan dari kelompok fungi adalah *Aspergillus niger* CS-1 (Wang et al. 2018), *Penicillium* sp. (Li et al. 2016), dan *Trichoderma* sp. (Zhao dan Zhang 2015). Berbagai penelitian telah dilakukan ter-

kait peningkatan ketercukupan P tanaman melalui inokulasi mikroba pelarut P pada tanah yang diberi batuan P dalam skala *in planta* dan lapangan (Hameeda et al. 2008). Penggunaan mikroba pelarut P dilaporkan dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil berbagai tanaman, antara lain gandum (Liu et al. 2016), padi (Kim et al. 2011), dan tomat (Sharon et al. 2016). Akan tetapi, informasi mengenai bioaugmentasi tanah dengan penggunaan mikroba pelarut P untuk peningkatan pertumbuhan tanaman singkong masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan mikroba pelarut P yang diisolasi dari rizosfer tanaman singkong di Sulawesi Selatan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman singkong setelah bioaugmentasi tanah dengan formula mikroba terseleksi.

BAHAN DAN METODE

Isolasi Mikroba

Sampel tanah rizosfer diperoleh dari beberapa lokasi perkebunan singkong di Sulawesi Selatan. Tanah diambil pada kedalaman 10–15 cm di sekitar perakaran tanaman singkong. Sebanyak 5 g sampel tanah disuspensikan ke dalam 45 ml larutan NaCl fisiologis sehingga diperoleh pengenceran 10^{-1} hingga 10^{-4} . Tiga pengenceran terakhir dituangkan secara *pour plate* ke dalam cawan petri berisi media *starch nitrate casein agar* (20 g pati terlarut; 0,3 g kasein; 0,5 g NaCl; 1 g KNO_3 ; 0,5 g $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; 0,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,01 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 20 g agar; dalam 1.000 ml akuades, pH media diatur menjadi 7,2–7,4 sebelum sterilisasi) untuk isolasi Actinomycetes dan media *potato dextrose agar* untuk isolasi fungi. Seluruh cawan petri diinkubasi pada 30°C selama seminggu. Pemurnian dilakukan terhadap koloni Actinomycetes dan fungi yang menunjukkan karakter morfologi berbeda.

Seleksi Mikroba Pelarut P

Seleksi isolat dilakukan berdasarkan kemampuan melarutkan P (kapasitas hidrolisis/KH) pada media agar Pikovskaya (2,5 g $\text{Ca}_3[\text{PO}_4]_2$; 13 g glukosa; 0,5 g $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$; 0,2 g NaCl; 0,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,2 g KCl; 0,5 g ekstrak ragi; MnSO_4 *trace*; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ *trace*; 15 g agar; dalam 1.000 ml akuades, pH media diatur menjadi 7,2). Isolat yang menunjukkan kemampuan melarutkan P diberi kode sesuai dengan lokasi sampling. Selanjutnya, kemampuan melarutkan P ditentukan berdasarkan rasio antara diameter zona bening dan diameter koloni isolat sebagai berikut:

$$\text{KH} = \frac{\text{diameter koloni isolat} + \text{diameter zona bening}}{\text{diameter koloni isolat}}$$

Uji Antagonisme Antarisolat Terseleksi

Isolat Actinomycetes dan fungi yang menunjukkan nilai KH tinggi diuji kemampuan tidak saling menghambat pertumbuhannya (Xu dan Kim 2014). Isolat Actinomycetes digores lurus di tengah permukaan media *yeast extract-malt extract agar* (*International Streptomyces Project 2/ASP-2*) di dalam cawan petri, lalu diinkubasi selama 48 jam. Setelah tumbuh, isolat fungi terseleksi diinokulasikan pada kedua sisi pinggir cawan petri tersebut. Cawan petri diinkubasi pada 30°C selama seminggu, lalu diamati. Kedua isolat dinyatakan tidak saling menghambat jika tidak ada hambatan pertumbuhan miselium di sekitar koloni Actinomycetes (Khamna et al. 2009; Wang et al. 2019). Untuk mengetahui sifat antagonisme bahwa antara kedua kelompok isolat bukan merupakan mekanisme persaingan nutrisi maka dilakukan uji blok agar. Blok agar dibuat dengan cara mengambil koloni isolat dengan menggunakan bor ($\Phi = 8$ mm), lalu dipindahkan ke media yang telah diinokulasikan dengan isolat yang akan diuji kemampuan tidak saling menghambatnya. Penghambatan ditandai jika ujung miselium tidak tumbuh di sekitar blok agar.

Penyiapan Formula Bioaugmentasi

Isolat Actinomycetes terseleksi ditumbuhkan pada media *starch nitrate broth*, sedangkan isolat fungi ditumbuhkan pada media *potato dextrose broth* pada 30°C selama 14 hari dalam kondisi teragitasi. Biomassa dipanen dengan cara filtrasi menggunakan kertas saring, dicuci dua kali dengan air steril, lalu dikeringkan di dalam oven 40°C selama 3 hari. Biomassa yang diperoleh dicampur dengan arang sekam dan kapur (1:150:2, b/b). Ke dalam campuran tersebut ditambahkan *gum arabic* 1% (*gum arabic* 15% [b/v] disuspensikan dalam air panas). Pencampuran dilakukan sampai bahan tidak mudah berhamburan setelah dikepal. Selanjutnya, campuran tersebut dibuat butiran dengan menggunakan alat *molen* mini pelat berputar. Setelah terbentuk butiran, larutan hidrotalsit 1% (b/v) disemprotkan sambil diputar di dalam *molen* mini. Selanjutnya, formula bioaugmentasi ini dikeringkan di dalam oven 40°C selama 2 hari.

Aplikasi Isolat Secara *In planta*

Pengujian dilakukan di Kebun Percobaan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Makassar (UNM), Sulawesi Selatan pada Januari 2015. Tanaman singkong varietas lokal Umbi Putih ditumbuhkan pada plot berukuran 10 m × 5 m. Setiap petak perlakuan berukuran 1,5 m × 1,5 m dengan tiga ulang-

an. Setek singkong dengan panjang 17 cm dan diameter ± 2 cm ditanam dengan jarak tanam 50 cm × 50 cm. Perlakuan diberikan dengan cara menebar formula bioaugmentasi di sekitar perakaran tanaman umur 1 minggu setelah tanam (MST) dengan dosis 50 g formula per tanaman. Setiap formula bioaugmentasi mengandung satu isolat terseleksi. Satu petak yang diberi perlakuan bahan dasar formula tanpa isolat digunakan sebagai kontrol negatif, sedangkan satu petak yang tidak diberi formula tapi diberi pupuk P (SP3 100 kg/ha) digunakan sebagai kontrol positif. Pengamatan dilakukan 30 hari setelah tanam (HST) pada kondisi *in planta*. Sifat kimia tanah yang mencakup pH (H_2O , 1:2,5) dan P_2O_5 (HCl, 25%) diamati sebelum dan setelah pengujian. Data pertumbuhan tanaman yang meliputi tinggi tanaman, jumlah tangkai daun, dan jumlah tunas dianalisis dengan Analisis Varian (ANOVA). Respons keragaman yang berbeda nyata diuji lanjut dengan uji DMRT pada taraf 5%.

Aplikasi Uji Lapangan Terbatas

Penelitian tahap ini bertujuan mengetahui kemampuan bioaugmentasi isolat mikroba terseleksi terhadap pertumbuhan tanaman pada karakteristik tanah dan kondisi lokasi yang berbeda di empat kabupaten sentra perkebunan singkong di Sulawesi Selatan. Penanaman dilakukan pada bulan Juli 2015. Isolat terseleksi digabung dan dibuat formula bioaugmentasinya dengan cara seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dan dinamai F_Bio. Di tiap lokasi pengujian, tanaman singkong ditanam pada dua petak yang masing-masing berukuran 20 m × 20 m. Setek singkong dengan panjang 17 cm dan diameter ± 2 cm ditanam dengan jarak tanam 1 m × 1 m. Perlakuan diberikan dengan cara menebar formula bioaugmentasi di sekitar perakaran tanaman umur 1 MST dengan dosis 50 g formula per tanaman. Satu petak yang tidak diberi perlakuan formula bioaugmentasi digunakan sebagai kontrol. Respons tanaman dievaluasi setelah umur 3 bulan setelah tanam (BST, pertumbuhan vegetatif) dan 7 BST. Parameter pertumbuhan vegetatif meliputi tinggi tanaman, lingkaran batang, dan lebar kanopi, sedangkan parameter pertumbuhan tanaman umur 7 BST meliputi tinggi tanaman, jumlah umbi, dan berat umbi. Data dianalisis dengan uji t untuk membandingkan kedua perlakuan pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi dan Seleksi Isolat

Dari 12 lokasi sampling di Sulawesi Selatan diperoleh total 50 isolat mikroba yang terdiri atas 31 isolat Actinomycetes (62%) dan 19 isolat fungi (38%) (data tidak ditunjukkan). Berdasarkan nilai KH, enam isolat Actinomycetes dan fungi masing-masing mampu melarutkan P pada media agar Pikovskaya yang ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni dengan diameter berturut-turut 5,5–12,2 mm dan 8,4–24,0 mm (Tabel 1).

Isolat Actinomycetes A-SDR01 dan fungi F-SKG17 menunjukkan nilai KH tertinggi dalam kelompok mikroba masing-masing, yaitu berturut-turut 3,93 dan 3,43. Dari hasil karakterisasi morfologi secara makroskopik dan mikroskopik diketahui bahwa isolat A-SDR01 dan F-SKG17 secara berurutan berasal dari genus *Streptomyces* dan *Penicillium* (Gambar 1). *Penicillium* sp. dan *Streptomyces* sp. telah diketahui mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman buncis (Elias et al. 2016) dan gandum (Jog et al. 2014). Kemampuan mikroba melarutkan P berkaitan

dengan eksudasi asam-asam organik, seperti asam laktat, asam sitrat, asam 2-ketoglikonat, asam malat, asam oksalat, asam malonat, asam tartarat, dan asam suksinat. Asam-asam organik tersebut berperan penting dalam proses pelarutan P sehingga mampu meningkatkan serapan hara P tanaman (Panhwar et al. 2013).

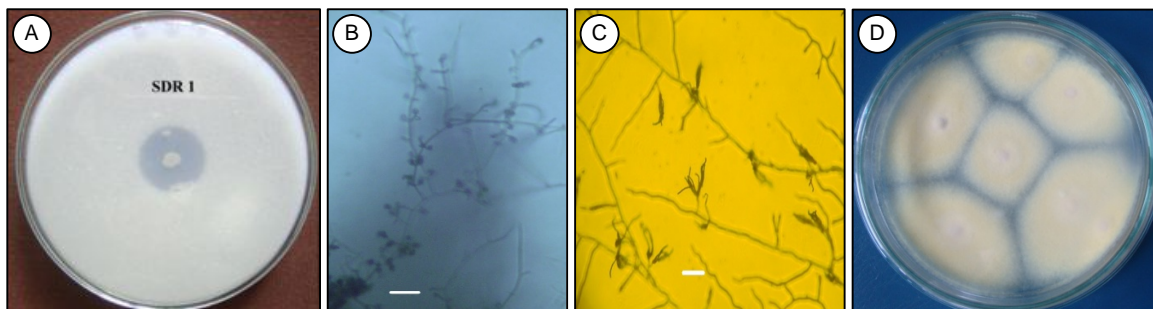
Uji Antagonisme Antarisolat

Hasil uji antagonisme antarisolat menunjukkan bahwa semua isolat yang diujikan memiliki sifat saling menghambat atau tidak sinergis, kecuali antara tiga isolat yaitu *Penicillium* sp. F-SKG17 dengan *Streptomyces* sp. A-JNP01 dan *Streptomyces* sp. A-SDR01 (Gambar 2A). Hal ini ditandai dengan tidak adanya zona hambatan saat dilakukan uji blok agar (Khamna et al. 2009; Wang et al. 2019; Gambar 2A). Akan tetapi, isolat *Streptomyces* sp. A-JNP01 menunjukkan kecenderungan menghambat pertumbuhan *Aspergillus* sp. F-JNP02 (Gambar 2B) dan *Penicillium* sp. F-SKG17. Penghambatan diduga tidak dilakukan melalui sekresi senyawa antifungi, tetapi melalui sekresi siderofor.

Tabel 1. Nilai kapasitas hidrolisis (KH) isolat Actinomycetes dan fungi terseleksi sebagai pelarut fosfat (P) pada media agar Pikovskaya setelah inkubasi pada 30°C selama 7 hari.

Isolat	Diameter zona bening (mm)	Diameter koloni (mm)	Nilai KH*
Actinomycetes			
A-SKG01	5,5	2,0	2,5
A-JNP01	6,2	2,0	3,2
A-PRG02	5,4	2,1	2,5
A-GWA03	5,4	2,1	2,6
A-SDR01	12,2	3,1	3,9
A-TKR03	5,4	2,1	2,7
Fungi			
F-MRS01	10,2	7,5	1,4
F-MRS11	8,4	3,1	2,7
F-JNP02	14,1	5,0	2,8
F-LRG08	14,0	5,6	2,5
F-SKG17	24,0	7,0	3,4
F-SDR02	10,0	6,0	1,7

*Dihitung berdasarkan perbandingan antara total diameter koloni isolat (mm) dan diameter zona bening (mm) dengan diameter koloni isolat (mm). Hanya nilai KH >1 yang ditunjukkan.



Gambar 1. Pelarutan fosfat (P) oleh isolat terseleksi *Streptomyces* sp. A-SDR01 (A) dan *Penicillium* sp. F-SKG17 (D) yang ditumbuhkan pada media agar Pikovskaya pada 30°C selama 7 hari. Morfologi miselium *Streptomyces* sp. A-SDR01 (B) dan *Penicillium* sp. F-SKG17 (C) pada perbesaran 400x (*bar* = 10 µm).

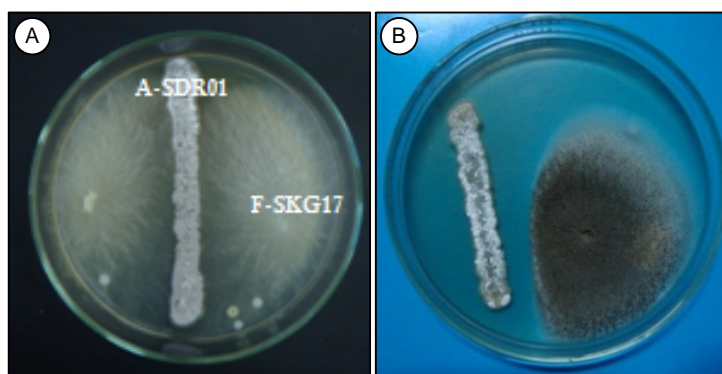
Empat isolat yang menunjukkan nilai KH tinggi dan mewakili kedua kelompok mikroba dipilih untuk dibuat formula secara tunggal. Uji antagonisme antarisolat menunjukkan bahwa isolat *Streptomyces* sp. A-JNP01 tidak sinergis dengan fungi lainnya, namun tetap diuji *in planta* karena memiliki nilai KH cukup tinggi (Tabel 1) untuk mengetahui lebih lanjut pengaruh isolat ini terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman singkong.

Tanaman singkong yang diberi perlakuan formula biomassa, baik isolat Actinomycetes terseleksi (*Streptomyces* sp. A-JNP01 dan *Streptomyces* sp. A-SDR01) maupun isolat fungi terseleksi (*Penicillium* sp. F-SKG17 dan *Aspergillus* sp. F-JNP02), menunjukkan respons yang lebih baik dibanding dengan yang dipupuk P (SP36 100 kg/ha) dan yang diberi formula dasar bioaugmentasi tanpa biomassa isolat (Tabel 2). Pertumbuhan vegetatif tanaman yang diberi perlakuan formula mikroba tampak lebih cepat dibanding dengan pertumbuhan tanaman pada kedua macam kontrol. Tinggi tanaman dan jumlah tunas yang diberi perlakuan berbeda nyata dibanding dengan tinggi tanaman kontrol, sedangkan jumlah tangkai daun tidak berbeda nyata antara tanaman yang diberi perlakuan dan tanaman kontrol.

Tidak ada perbedaan pH tanah secara nyata antara sebelum dan setelah aplikasi, namun terdapat perbedaan nyata antara perlakuan dan kontrol pada konsentrasi P setelah aplikasi (Tabel 3). Konsentrasi P setelah aplikasi pada kontrol mengalami penurunan yang cukup nyata dibanding dengan perlakuan isolat (Tabel 3). Konsentrasi P pada perlakuan isolat F-SKG17 tidak berbeda nyata dengan yang diberi pupuk P.

Menurut Hayati (2010), pertumbuhan tanaman dapat berlangsung dengan baik jika faktor genetik dan lingkungan berada dalam kondisi optimal. Lebih lanjut, Musilova et al. (2016) menyatakan bahwa keberadaan mikroba pada daerah rizosfer justru memegang peranan penting karena mampu memengaruhi pertumbuhan dan asimilasi nutrisi oleh metabolit sekunder yang dihasilkannya.

Streptomyces sp. A-SDR01 dan *Penicillium* sp. F-SKG17 dipilih untuk diuji lapangan terbatas dengan alasan: (1) memiliki nilai KH tertinggi, (2) tidak saling antagonis, (3) setara kemampuannya dengan perlakuan pupuk P dalam meningkatkan tinggi tanaman, (4) cenderung meningkatkan jumlah tangkai daun (*Penicillium* sp. F-SKG17), dan (5) meningkatkan jumlah daun (*Streptomyces* sp. A-SDR01).



Gambar 2. Uji antagonisme isolat mikroba pelarut P terseleksi yang ditumbuhkan pada media *potato dextrose agar* pada 30°C selama 7 hari. (A) Tidak terlihat adanya hambatan pertumbuhan oleh isolat *Streptomyces* sp. A-SDR01 terhadap *Penicillium* sp. F-SKG17. (B) Hambatan pertumbuhan oleh isolat *Streptomyces* sp. A-JNP01 terhadap *Aspergillus* sp. F-JNP02.

Tabel 2. Pertumbuhan vegetatif tanaman singkong umur 30 HST pada uji *in planta* yang diberi perlakuan formula bioaugmentasi isolat mikroba pelarut P.

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)*	Jumlah tangkai daun	Jumlah tunas*
Kontrol	25,1 a	7,6	2,1 a
<i>Streptomyces</i> sp. A-SDR01	36,1 b	7,8	4,5 b
<i>Streptomyces</i> sp. A-JNP01	35,2 b	7,3	2,6 a
<i>Penicillium</i> sp. F-SKG17	38,8 b	9,0	2,1 a
<i>Aspergillus</i> sp. F-JNP02	38,1 b	7,0	3,2 a
Pupuk P	39,0 b	7,9	3,6 a

HST = hari setelah tanam.

*Angka-angka sekolom yang diikuti oleh huruf yang sama menyatakan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5%.

Aplikasi Isolat Skala Lapangan Terbatas

Pada umur 3 BST, tanaman singkong yang diberi perlakuan formula bioaugmentasi gabungan isolat *Streptomyces* sp. A-SDR01 dan *Penicillium* sp. F-SKG17 (F_Bio) di semua lokasi pengujian nyata lebih tinggi dibanding dengan kontrol (Tabel 4). Di Kabupaten Sidrap dan Kabupaten Jeneponto, hanya parameter lingkaran batang tanaman yang tidak menunjukkan perbedaan nyata antara perlakuan dan kontrol, sedangkan di Kabupaten Maros hanya lebar kanopi yang tidak berbeda nyata antara perlakuan dan kontrol.

Pada umur 7 BST, tanaman yang diberi perlakuan bioaugmentasi di Kabupaten Takalar menunjukkan perbedaan signifikan dengan kontrol untuk semua parameter pengamatan, namun hal yang sebaliknya terjadi di Kabupaten Jeneponto (Tabel 5). Faktor musim yang telah memasuki musim kemarau pada bulan ke-5 masa tanam di Kabupaten Takalar dan pada 3 BST di wilayah Kabupaten Jeneponto di-

duga turut berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Di kedua lokasi lain, hanya parameter jumlah umbi yang tidak menunjukkan perbedaan signifikan antara perlakuan dan kontrol.

Secara umum, tanaman yang diberi formula bioaugmentasi isolat terseleksi menunjukkan pertumbuhan vegetatif yang lebih baik dibanding dengan yang tidak diberi perlakuan bioaugmentasi (kontrol) (Tabel 4 dan Tabel 5). Hal ini diduga berkaitan dengan ketersediaan senyawa yang larut seperti P yang dapat diserap oleh tanaman. Menurut Sharma et al. (2012), salah satu keuntungan memasok tanaman dengan mikroba pelarut P adalah membuat penyerapan akar menjadi lebih besar. Selain itu, mikroba pelarut P juga mampu melepaskan zat pemacu pertumbuhan tanaman (Nenwani et al. 2010) yang mungkin merupakan cara lain untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Hasil pengujian lapangan ini menunjukkan bahwa kedua isolat mikroba pelarut P berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai kan-

Tabel 3. Nilai pH dan konsentrasi P rata-rata di dalam tanah pada uji *in planta* formula bioaugmentasi mikroba pelarut P pada tanaman singkong.

Perlakuan	pH tanah		P (mg/kg)		Reduksi
	SB	ST	SB	ST*	
Kontrol	6,1	6,2	4,52	3,21 a	1,31
<i>Streptomyces</i> sp. A-JNP01	6,2	6,3	4,47	3,88 a	0,59
<i>Streptomyces</i> sp. A-SDR01	5,8	6,1	4,49	4,50 b	-0,01
<i>Penicillium</i> sp. F-SGK17	5,7	6,0	4,51	4,78 c	-0,27
<i>Aspergillus</i> sp. F-JNP02	6,0	6,3	4,51	4,98 c	-0,47
Pupuk P	6,4	6,1	5,41	4,89 c	0,52

SB = sebelum tanam, ST = setelah panen.

*Angka-angka sekolom yang diikuti oleh huruf yang sama menyatakan tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5%.

Tabel 4. Respons pertumbuhan tanaman singkong umur 3 BST yang diberi perlakuan formula bioaugmentasi F_Bio mengandung kombinasi isolat *Streptomyces* sp. A-SDR01 dan *Penicillium* sp. F-SKG17 di empat lokasi pengujian di Sulawesi Selatan.

Lokasi/Kabupaten	Perlakuan F_Bio	Kontrol	Selisih
Tinggi tanaman (cm)			
Takalar	137,0 ± 12,0	113,3 ± 15,6	23,7*
Maros	103,0 ± 10,0	99,1 ± 11,2	3,9*
Sidrap	142,0 ± 10,0	121,5 ± 11,1	20,5*
Jeneponto	121,0 ± 9,0	101,7 ± 11,9	19,3*
Lingkaran batang (cm)			
Takalar	2,5 ± 0,6	2,4 ± 0,4	0,1*
Maros	2,7 ± 0,5	2,5 ± 0,5	0,2*
Sidrap	2,7 ± 0,5	2,6 ± 0,6	0,1
Jeneponto	2,6 ± 0,6	2,6 ± 0,5	0,0
Lebar kanopi (cm)			
Takalar	119,8 ± 21,0	110,8 ± 21,4	9,0*
Maros	121,3 ± 12,8	119,1 ± 11,2	2,2
Sidrap	131,6 ± 12,9	125,9 ± 12,2	5,7*
Jeneponto	109,5 ± 12,4	111,9 ± 22,1	-10,4

BST = bulan setelah tanam.

*Signifikan berdasarkan uji t pada taraf 5%.

Tabel 5. Respons pertumbuhan tanaman singkong umur 7 BST yang diberi perlakuan formula bioaugmentasi F_Bio mengandung kombinasi isolat *Streptomyces* sp. A-SDR01 dan *Penicillium* sp. F-SKG17 di empat lokasi pengujian di Sulawesi Selatan.

Lokasi/Kabupaten	Perlakuan F_Bio	Kontrol	Selisih
Tinggi tanaman (cm)			
Takalar	245,8 ± 11,8	229,2 ± 21,5	16,6*
Maros	152,9 ± 1,2	137,2 ± 1,2	15,7*
Sidrap	234,2 ± 19,5	165,3 ± 11,6	68,9*
Jeneponto	147,7 ± 12,4	144,6 ± 11,6	3,1
Jumlah umbi (buah)			
Takalar	10,0 ± 1,3	6,8 ± 2,5	3,2*
Maros	2,8 ± 0,5	2,6 ± 0,7	0,2
Sidrap	6,8 ± 0,5	6,5 ± 0,7	0,3
Jeneponto	7,4 ± 0,3	6,1 ± 0,7	1,3
Berat umbi (g)			
Takalar	981,6 ± 17,1	620,0 ± 12,3	361,6*
Maros	339,2 ± 22,6	262,0 ± 23,8	77,2*
Sidrap	991,7 ± 78,8	625,7 ± 31,5	339,0*
Jeneponto	415,7 ± 23,7	399,7 ± 26,0	16,0

BST = bulan setelah tanam.

*Signifikan berdasarkan uji t pada taraf 5%.

didat bahan bioaugmentasi tanah untuk peningkatan pertumbuhan tanaman khususnya singkong.

KESIMPULAN

Dari 50 isolat mikroba yang diisolasi dari rizosfer tanaman singkong di Sulawesi Selatan terdapat dua isolat yang memiliki kemampuan menghidrolisis P terbaik dan tidak saling menghambat. Aplikasi kedua isolat, yaitu *Streptomyces* sp. A-SDR01 dan *Penicillium* sp. F-SKG17, secara tunggal mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman singkong pada uji *in planta*. Formulasi gabungan kedua isolat terseleksi tersebut terbukti meningkatkan baik pertumbuhan vegetatif maupun produktivitas tanaman ketika diaplikasikan sebagai bioaugmentasi tanah pada uji lapangan terbatas di empat lokasi pengujian di Sulawesi Selatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional yang telah memberikan dana penelitian dalam SKIM MP3EI Tahun 2015.

KONTRIBUTOR PENULISAN

Semua penulis memberikan kontribusi yang sama dalam penulisan manuskrip. AA: melakukan penelitian, menganalisis data, dan menulis manuskrip. MJ: melakukan penelitian, menginterpretasi data, dan memfinalisasi manuskrip. AFS: memberikan supervisi dan mendesain penelitian. HR: membuat formula bioaugmentasi dan memfinalisasi manuskrip.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Q. & Liu, S. (2019) Identification and characterization of the phosphate-solubilizing bacterium *Pantoea* sp. S32 in reclamation soil in Shanxi, China. *Frontiers in Microbiology*. [Online] 10, 2171. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02171> [Diakses 25 Januari 2020].
- Chuang, C., Kuo, Y. & Chao, C. (2007) Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. *Biology and Fertility of Soils*, 43, 575–584.
- Das, K., Katiyar, V. & Goel, R. (2003) 'P' solubilization potential of plant growth promoting *Pseudomonas* mutants at low temperature. *Microbiological Research*, 158, 359–362.
- Elias, F., Muleta, D. & Woyessa, D. (2016) Effects of phosphate solubilizing fungi on growth and yield of haricot bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Journal of Agricultural Science*, 8 (10), 204–218.
- Ginting, E. (2009) Ubi kayu sebagai bahan baku industri bioetanol. *Buletin Palawija*, 18 (17), 9–18.
- Hameeda, B., Harini, G., Rupela, O.P., Wani, S.P. & Reddy, G. (2008) Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. *Microbiological Research*, 163, 234–242.
- Hayati, E. (2010) Pengaruh pupuk organik dan anorganik terhadap kandungan logam berat dalam tanah dan jaringan tanaman selada. *Jurnal Foratek*, 5, 113–123.
- Ispandi, A. (2003) Pemupukan P, K dan waktu pemberian pupuk K pada tanaman ubikayu di lahan kering vertisol. *Ilmu Pertanian*, 10 (2), 35–50.
- Jog, R., Pandya, M., Nareshkumar, G. & Rajkumar, S. (2014) Mechanism of phosphate solubilization and antifungal activity of *Streptomyces* spp. isolated from wheat roots and rhizosphere and their application in improving plant growth. *Microbiology*, 160, 778–788.

- Kim, Y.C., Leveau, J., Gardener, B.B.M., Pierson, E.A., Iii, L.S.P. & Ryu, C. (2011) The multifactorial basis for plant health promotion by plant-associated bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 77 (5), 1548–1555.
- Khamna, S., Yokota, A. & Lumyong, S. (2009) Actinomycetes isolated from medicinal plant rhizosphere soils: Diversity and screening of antifungal compounds, indole-3-acetic acid and siderophore production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25, 649–655.
- Krishnakumar, S., Dooslin, V., Bai, M. & Rajan, R.A. (2014) Evaluation of phosphate solubilizing microorganisms (PSMs) from rhizosphere soil of different crop plants and its antagonistic activity. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science*, 3 (5), 412–415.
- Li, Z., Bai, T., Dai, L., Wang, F., Tao, J. & Meng, S. (2016) A study of organic acid production in contrasts between two phosphate solubilizing fungi: *Penicillium oxalicum* and *Aspergillus niger*. *Scientific Reports*. [Online] 6, 25313. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1038/srep25313> [Diakses 23 Oktober 2019].
- Liu, J., Zuo, Q., Zhai, L.M., Luo, C.Y., Liu, H.B., Wang, H.Y., Liu, S., Zou, G.Y. & Ren, T.Z. (2016) Phosphorus losses via surface runoff in rice-wheat cropping systems as impacted by rainfall regimes and fertilizer applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 15 (3), 667–677.
- Maharajan, T., Ceasar, S.A., Ajeesh Krishna, T.P., Ramakrishnan, M., Durairam, V. & Naif-Abdulla, A.D. (2018) Utilization of molecular markers for improving the P efficiency in crop plants. *Plant Breeding*, 137, 10–26.
- Musilova, L., Ridl, J., Polivkova, M., Macek, T. & Uhlík, O. (2016) Effects of secondary plant metabolites on microbial populations: Changes in community structure and metabolic activity in contaminated environments. *International Journal of Molecular Sciences*. [Online] 17 (8), 1205. Tersedia pada: <https://www.mdpi.com/1422-0067/17/8/1205> [Diakses 23 Oktober 2019].
- Nenwani, V., Doshi, P., Saha, T. & Rajkumar, S. (2010) Isolation and characterization of a fungal isolate for phosphate solubilization and plant growth promoting activity. *Journal of Yeast and Fungal Research*, 1 (1), 9–14.
- Oteino, N., Lally, R.D., Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, K.J. & Dowling, D.N. (2015) Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in Microbiology*. [Online] 6, 745. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745> [Diakses 23 Oktober 2019].
- Panwar, Q.A., Jusop, S., Naher, U.A., Othman, R. & Razi, M.I. (2013) Application of potential phosphate-solubilizing bacteria and organic acids on phosphate solubilization from phosphate rock in aerobic rice. *The Scientific World Journal*. [Online] 2013, 272409. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1155/2013/272409> [Diakses 6 November 2019].
- Richardson, A.E. & Simpson, R.J. (2020) Soil microorganisms mediating phosphorus availability. *Plant Physiology*, 156, 989–996.
- Saleh, N. & Widodo, Y. (2007) Profil dan peluang pengembangan ubi kayu di Indonesia. *Buletin Palawija*, 78 (14), 69–78.
- Sharma, A., Rawat, U.S. & Yadav, B.K. (2012) Influence of phosphorus levels and phosphorus solubilizing fungi on yield and nutrient uptake by wheat under sub-humid region of Rajasthan, India. *International Scholarly Research Notices*. [Online] 2012, 234656. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5402/2012/234656> [Diakses 6 April 2020].
- Sharon, J.A., Hathwaik, L.T., Glenn, G.M., Imam, S.H. & Lee, C.C. (2016) Isolation of efficient phosphate solubilizing bacteria capable of enhancing tomato plant growth. *Journal of Soil and Plant Nutrition*, 16 (2), 525–536.
- Sudaryono & Supeno, A. (2017) Tanggap tanaman ubi kayu terhadap pupuk formula A dan B. *Buletin Palawija*, 15 (1), 14–23.
- Suleman, M., Yasmin, S., Rasul, M., Yahya, M., Atta, B.M. & Mirza, S.M. (2018) Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat. *PLoS ONE*. [Online] 13 (9), e0204408. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204408> [23 Oktober 2019].
- Thomas, S., Mathew, L. & Rishad, K.S. (2018) Isolation and molecular identification of phosphate solubilizing bacteria *Bacillus licheniformis* UBPSB-07 capable of enhancing seed germination in *Vigna radiata*. *Phytomorphology*, 68 (1/2), 13–18.
- Wang, X., Li, Q., Sui, J., Zhang, J., Liu, Z., Du, J., Xu, R., Zhou, Y. & Liu, X. (2019) Isolation and characterization of antagonistic bacteria *Paenibacillus jamilae* hs-26 and their effects on plant growth. *BioMed Research International*. [Online] 2019, 3638926. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1155/2019/3638926> [Diakses 3 Oktober 2020].
- Wang, X., Wang, C., Sui, J., Liu, Z., Li, Q., Ji, C., Song, X., Hu, Y., Wang, C., Sa, R., Zhang, J., Du, J. & Liu, X. (2018) Isolation and characterization of phosphofungi, and screening of their plant growth-promoting activities. *AMB Express*. [Online] 8, 63. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0593-4> [Diakses 23 Oktober 2019].
- Xu, S.J. & Kim, B.S. (2014) Mycobiology biocontrol of *Fusarium crown* and root rot and promotion of growth of tomato by *Paenibacillus* strains isolated from soil. *Mycobiology*, 42 (2), 158–166.
- Zhao, L. & Zhang, Y.Q. (2015) Effects of phosphate solubilization and phytohormone production of *Trichoderma asperellum* Q1 on promoting cucumber growth under salt stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 14 (8), 1588–1597.
- Zhu, X.K., Li, C.Y., Jiang, Z.Q., Huang, L.L., Feng, C.N., Guo, W.S. & Peng, Y.X. (2012) Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 11 (7), 1103–1110.