

Respon Pertumbuhan dan Hasil Kentang Var. Cingkariang dan Populasi Gulma Terhadap Isolat Rizobakteri Indigen

(*Growth and Yield Response of Potato var. Cingkariang and Weed Population to Indigenous Rhizobacteria*)

Irawati Chaniago^{1*}, Muhsanati¹, Novita Hera², Siska Hanifa³, Ronauli Fernandes Simanjatak³

¹ Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas
Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25175

² Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Islam Negeri Sultan
Syarif Kasim, Pekanbaru, Riau, Indonesia

Jl. HR. Soebrantas No.Km. 15, RW.15, Simpang Baru, Kota Pekanbaru, Riau 28293

³ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas
Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25175

*) Penulis untuk Korespondensi E-mail: irawati@agr.unand.ac.id

ABSTRACT

*Potato (Solanum tuberosum L.) has been classified as major source of carbohydrate along with rice, wheat, and corn. As for other crops, potato's growth and yield are always subject to weed interference. An experiment has been conducted to study the effect of indigenous rhizobacteria to promote the growth and yield of potato var. Cingkariang and weed population at Nagari Pakan Sinayan, Agam District, the Province of West Sumatra. The experiment used a completely randomized design with seven treatments and three replications. The treatments was rhizobacteria indigenous to potato farm at Nagari Pakan Sinayan i.e SWL2.2, Ag2L2S3.3, Ag2L2S4.2, Ag3L3S3.1, Ag3L3S5.1, Ag4S5.2, and one group of without the isolate. Data were analysed with analysis of variance and mean separation following DNMRT at 5%. Results demonstrated that indigenous rhizobacteria promoted plant height, number of branches, and the weight of potato tubers. The rhizobacteria also resulted in changes in weed population. Ten weed species were found prior to the experiment as follows: *Ageratum conyzoides* L., *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., *Andrographis paniculata* (Burm.f) Nees, *Bidens pilosa* L., *Cyperus rotundus* L., *Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore, *Eleusine indica* L., *Echinochola colona* (L.) Link, *Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav., dan *Paspalum commersonii* Lamk. However, three new weed species emerged during the experiment. They are *Amaranthus spinosus* L., *Portulaca oleracea* L., and *Paspalum conjugatum* P.J.Bergius indicating changes in weed population*

Keywords : enzyme, growth, PGPR, physiological character

PENDAHULUAN

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan salah satu tanaman hortikultura bernilai penting sebagai salah satu sumber utama karbohidrat dan kandungan nutrisi lainnya. Produksi kentang di Indonesia berfluktuasi yakni 1,31; 1,28, dan 1,36 juta ton masing-masing pada tahun 2019, 2020, dan 2021 (BPS, 2022). Ketidakstabilan produktivitas tersebut dapat disebabkan beberapa faktor seperti iklim (Li *et al.* 2022; Ojeda *et al.* 2020; Paff *et al.* 2022), kesuburan tanah (Paff *et al.* 2022; Whittaker *et al.* 2023), dan organisme pengganggu tanaman seperti gulma (Barbaś *et al.* 2020; Kalkhoran *et al.* 2021; McKenzie-Gopsill *et al.* 2020; Pszczółkowski *et al.* 2020; Skiba *et al.* 2021). Faktor lain yang juga ikut menentukan pertumbuhan dan hasil tanaman kentang adalah penggunaan varietas unggul yang berdaya hasil tinggi dan tahan hama dan penyakit

Propinsi Sumatera Barat merupakan salah satu daerah penghasil kentang dengan sentra produksi berada pada Kabupaten Agam dan Kabupaten Solok; namun kentang juga ditanam di Kabupaten Tanah Datar dan Kabupaten Solok Selatan. Kehilangan hasil produksi kentang yang umum

terjadi adalah disebabkan keberadaan penyakit (Meno *et al.* 2021; O'Shaughnessy *et al.* 2022). Gangguan pertumbuhan dan penurunan produksi kentang dapat juga disebabkan pengaruh keberadaan gulma melalui mekanisme kompetisi sumberdaya dan allelopati (Alioghli *et al.* 2022; Hussain *et al.* 2021; Weerarathne *et al.* 2017).

Pengelolaan organisme pengganggu tanaman dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti pengendalian secara kultur teknis, mekanis, dan kimiawi. Kehilangan hasil tanaman kentang karena gulma yang tidak dikendalikan dapat mencapai 86% (Abdallah *et al.* 2021) dan bergantung pada tingkat kompetisi antara gulma dan tanaman. Aplikasi herbisida dapat menekan pengaruh negatif gulma pada tanaman kentang (Barbaś *et al.* 2020; Jabran *et al.* 2023; Kalkhoran *et al.* 2021). Akan tetapi penggunaan herbisida terus menerus dan dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan timbulnya resistensi gulma terhadap herbisida (Kurniadie *et al.* 2021; Piasecki *et al.* 2020; Rahmadi, 2021; Vulchi *et al.* 2022), gangguan kesehatan lingkungan (He *et al.* 2019; Hong *et al.* 2022; Kwonpongsagoon *et al.* 2021), bahkan dapat membahayakan organisme non target koloni lebah (Macri *et al.* 2021) dan organisme laut (Matozzo *et al.* 2020; Sylwestrzak *et al.*, 2021).

Mengingat dampak negatif yang ditimbulkan oleh penggunaan senyawa agro-kimia secara intensif, maka perlu dilakukan upaya mengurangi dampak negatif tersebut agar tujuan pelestarian lingkungan dan praksis pertanian yang ramah lingkungan dapat tercapai. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan bahan alam untuk meningkatkan kebugaran, pertumbuhan dan hasil tanaman tanpa menambah beban senyawa kimiawi buatan ke lingkungan. Rizobakteri indigen telah menjadi salah satu alternatif dan telah banyak diteliti manfaatnya pada bidang pertanian. Rizobakteri tersebut ada yang bersifat sebagai perangsang pertumbuhan (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria-PGPR*). Jenis PGPR yang berbeda dapat bekerja melalui berbagai peran seperti *biostimulant*, *bioprotectant*, atau *biofertilizer* (Banach *et al.* 2019). Potensi PGPR sebagai bioherbisida juga telah diuji untuk dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman pangan (Ahluwalia *et al.*, 2021; Berestetskiy, 2023; Fang *et al.* 2022; Yu *et al.* 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh isolat rizobakteri indigen dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman kentang var. Cingkariang di Nagari Pakan Sinayan, Kecamatan Banuhampu, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Penelitian ini juga mempelajari pengaruh rizobakteri indigen terhadap dinamika populasi gulma pada pertanaman kentang.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian berbentuk eksperimen telah dilaksanakan di Nagari Pakan Sinayan, Kecamatan Banuhampu, Kabupaten Agam, Sumatera Barat (100°21'41.82" BT, 0°20'26.19" LS) dengan ketinggian tempat ±1391 mdpl. Isolasi, perbanyakan, dan karakterisasi sifat fisiologis isolat rizobakteri indigen dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Padang. Percobaan dilakukan pada April sampai September 2020.

Peremajaan dan Konfirmasi Isolat Rizobakteri

Isolat rizobakteri indigen diperoleh dari koleksi Chaniago *et al.*(2019) dari Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Pertanian UNAND Padang. Sampel tanah sebagai sumber isolat diambil masing-masing 200 g pada 25 titik di lokasi pertanaman kentang Nagari Pakan Sinayan, Kecamatan Banuhampu secara komposit. Isolat hasil koleksi diambil dari *micro tube* dan diremajakan pada media nutrient agar (NA) di dalam cawan petri dengan metode gores dan diinkubasi pada suhu kamar selama 48 jam.

Konfirmasi isolat dilakukan melalui uji Gram dan Uji Reaksi Hipersensitif pada daun tanaman kembang pukul empat (*Mirabilis jalapa*) mengikuti prosedur Klement *et al* (Chaniago *et al.*, 2019). Jika isolat menunjukkan reaksi hipersensitif yang positif maka tidak digunakan dalam percobaan karena bersifat fitotoksik.

Uji Karakter Fisiologis Isolat Rizobakteri

Aktifitas enzim protease, lipase, selulase, dan kitinase. Pengujian aktifitas enzim dilakukan dengan mencelupkan kertas semipermeabel berdiameter 0.5 cm ke dalam suspensi isolat dengan kerapatan populasi sekitar 10^8 sel/mL (kekeruhan suspensi dibandingkan dan sama dengan larutan McFarland skala 8). Kemudian kertas semipermeabel tersebut diinkubasikan selama 48 jam pada suhu kamar pada media uji yang berbeda untuk masing-masing enzim protease dan lipase. Indeks aktifitas enzim dihitung dengan membandingkan diameter zona bening yang terbentuk dengan diameter koloni bakteri.

Aktifitas enzim protease diuji dengan pada media skim milk yang dimodifikasi (Brown & Smith, 2015). Pengujian enzim lipase dilakukan dengan menggunakan media NA dengan menambahkan

0,01% CaCl₂.H₂O dan Tween 20 di dalam cawan Petri sebelum meletakkan isolat rizobakteri dengan menggunakan jarum Ose. Pengujian enzim selulase dilakukan pada media agar carboxymethyl cellulose (CMC) mengikuti metode (Jamroo *et al.* 2015).

Aktifitas enzim kitinase diuji pada media *Trypticase Soy Agar* (TSA) yang mengandung 0,2% koloidal kitin dan disterilisasi dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 15 psi selama 15 menit. Media dituangkan ke dalam cawan Petri dan didinginkan. Selanjutnya koloni rizobakteri yang berumur 48 jam diambil dengan jarum Ose dan diletakkan pada media TSA, diinkubasi selama 48 jam pada suhu kamar dan diamati zona bening yang terbentuk sebagai penanda aktifitas enzim kitinase. Pengujian aktifitas enzim dilakukan dengan 3 ulangan untuk setiap isolat.

Persiapan Lahan dan Identifikasi Gulma

Lahan yang digunakan adalah milik petani dan telah digunakan untuk pertanaman kentang pada musim tanam sebelumnya. Identifikasi awal gulma dilakukan sebelum pengolahan lahan. Gulma diambil dari 5 petak sampel yang masing-masing berukuran 1 x 1 m. Petak sampel ditetapkan secara diagonal pada empat sudut lahan dan satu petak di titik tengah lahan. Gulma yang berada pada petak sampel diambil secara hati-hati dengan mengikutsertakan bagian akar, kemudian dicatat jenis dan jumlah individu masing-masing jenis gulma, dicuci, dikeringanginkan, ditimbang, dikeringovenkan selama 48 jam pada suhu 70°C, dan ditimbang berat keringnya. Data gulma digunakan untuk menentukan dominansi jenis gulma pada lahan percobaan. Pengambilan sampel gulma selanjutnya dilakukan pada 8 MST.

Lahan dibersihkan dan diolah dengan cangkul hingga gembur sebelum dibuat petak percobaan sebanyak 21 petakan dengan ukuran masing-masing 2,7 m x 3,2 m. Pupuk kandang ayam dengan dosis 10 ton/ha diberikan setelah olah tanah dan diaduk dengan tanah dengan kedalaman ±20 cm untuk selanjutnya diinkubasi selama satu minggu.

Introduksi Isolat ke Umbi Kentang

Sebanyak enam isolat (SWL2.2, Ag2L2S3.3, Ag2L2S4.2, Ag3L3S3.1, Ag3L3S5.1, Ag4S5.2) diintroduksi pada umbi kentang sebagai perlakuan. Sebelum introduksi, terlebih dahulu dilakukan perbanyakan isolat dengan cara mencampurkan koloni tunggal masing-masing isolat ke dalam 25 mL larutan Nutrient Broth (NB) dan diinkubasi pada suhu kamar selama 24 jam di atas *rotary shaker* dengan kecepatan 150 rpm. Hasil perbanyakan tersebut dicampurkan dengan 250 mL air kelapa steril dan diletakkan kembali di atas *rotary shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 48 jam. Selanjutnya ditambahkan ke dalam 5 L air kelapa murni dan diinkubasi selama 7 (tujuh) hari di dalam wadah yang diberi aerasi untuk menjamin tersedianya oksigen. Kemudian kerapatan populasi rizobakteri dibandingkan dengan larutan McFarland skala 8 dengan populasi bakteri sekitar 10⁸ CFU/mL. Suspensi rizobakteri ini siap untuk diintroduksi ke umbi kentang.

Isolat diintroduksi ke umbi kentang var. Cingkariang generasi ke-5 (G5) dengan cara merendam umbi berukuran 30-45 g di dalam suspensi isolat selama 15 menit. Selanjutnya umbi kentang dikeringanginkan pada tempat yang tidak terkena cahaya matahari langsung sebelum ditanam.

Penanaman dan Pemeliharaan Tanaman

Umbi kentang yang telah diintroduksi dengan isolat rizobakteri sesuai perlakuan ditanam dengan kedalaman 5 cm dari permukaan tanah dan jarak tanam 80 x 30 cm. Setiap lubang tanam berisi satu bibit umbi kentang dengan posisi tunas menghadap ke atas. Umbi kentang kemudian ditutupi dengan lapisan tanah. Sisa suspensi rizobakteria setelah perendaman disiramkan ke petakan sesuai dengan perlakuan. Umbi kentang untuk perlakuan tanpa isolat rizobakteri direndam dengan air kelapa murni selama 15 menit.

Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman yang dilakukan setiap hari kecuali ada hujan, penyiangan gulma pada 4 minggu setelah tanam (MST), pembumbunan dilakukan pada 4 dan 6 MST, pemupukan dengan Urea 300 kg/ha, SP-36 400 kg/ha, dan KCl 200 kg/ha dilakukan pada 4 MST. Pengendalian organisme pengganggu tanaman dilakukan terhadap serangan penyakit disebabkan *Phytophthora infestans* pada saat tanaman kentang berumur 7 MST dengan penyemprotan fungisida berbahan aktif Mankozeb 80% dengan interval penyemprotan 1 sampai 2 kali seminggu sebanyak 10 kali aplikasi. Panen dilakukan pada saat tanaman berumur 105 hari setelah tanam (HST). Panen dilakukan pagi hari dengan cara mencabut umbi dari dalam tanah.

Analisis Data

Dominansi gulma ditetapkan berdasarkan nilai *summed dominance ratio* (SDR) (Janiya & Moody, 1989). Data ditampilkan dalam bentuk tabel secara deskriptif. Data pertumbuhan dan hasil tanaman kentang diamati secara periodik yang terdiri dari tinggi tanaman, jumlah cabang per tanaman,

jumlah dan bobot umbi per tanaman, serta hasil umbi per hektar. Data pertumbuhan dan hasil tanaman kentang diolah secara statistika dengan sidik ragam dan perbandingan nilai tengah DNMRT pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian membuktikan bahwa introduksi isolat rizobakteri indigen mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman kentang var. Cingkariang serta mempengaruhi populasi gulma. Perbedaan data kemunculan jenis gulma sebelum tanam dan pada 8 MST menunjukkan terjadinya dinamika populasi gulma pada lahan percobaan. Data jenis gulma ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dominansi gulma pada lahan percobaan uji isolat rizobakteri indigen pertanaman kentang var. Cingkariang di Nagari Pakan Sinayan, Kecamatan Banuhampu, Kabupaten Agam.

No	Nama Gulma	SDR Sebelum Tanam (%)	SDR (%) Gulma Setelah Perlakuan pada 8 MST						
			A	B	C	D	E	F	G
1	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	17.90	0	0	0	0	0	0	8.93
2	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	21.15	0	0	0	0	0	0	0
3	<i>Andrographis paniculata</i> (Burm.f) Nees	1.95	0	0	0	0	0	0	0
4	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	0	0	0	0	0	0	3.92	0
5	<i>Bidens pilosa</i> L.	4.94	0	0	0	0	0	0	0
6	<i>Cyperus rotundus</i> L.	7.14	0	0	0	0	0	0	0
7	<i>Portulaca oleracea</i> L.	0	6.45	0	5.09	6.77	6.28	3.87	5.39
8	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore	12.92	0	0	0	0	0	0	0
9	<i>Eleusine indica</i> L.	1.45	6.93	10.46	13.55	6.95	5.88	11.50	8.56
10	<i>Echinochola colona</i> (L.) Link	9.51	0	0	0	0	0	0	0
11	<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav.	15.16	67.76	68.71	65.47	79.32	68.42	66.06	60.49
12	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J.Bergius	0	18.84	20.82	15.88	6.95	19.42	14.62	16.60
13	<i>Paspalum commersonii</i> Lamk.	7.69	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan: A = tanpa isolat, B = isolat SW L2.2, C = isolat Ag2 L2 S3.3, D = isolat Ag2 L2 S4.2, E = isolat Ag3 L3 S3.1, F = isolat Ag3 L3 S5.1, dan G = isolat Ag4 S5.2

Terjadinya perubahan populasi gulma sebelum olah tanah dan setelah tanam dapat terjadi karena beberapa faktor antara lain cadangan biji gulma di dalam tanah yang dapat terangkat ke atas permukaan tanah atau terbawa mendekati permukaan tanah akibat pengolahan lahan (Liebhard *et al.* 2022). Pengolahan lahan juga menyebabkan perbaikan aerasi tanah yang memfasilitasi biji gulma untuk berkecambah (Chaniago *et al.* 2023). Kelimpahan biji gulma di dalam tanah (*soil seed bank*) sangat penting bagi eksistensi dan dominansi suatu jenis gulma (Cabrera-Pérez *et al.* 2022) pada berbagai ekosistem tanah.

Pengolahan lahan dan pertanaman kentang pada percobaan ini telah menyebabkan munculnya tiga species gulma yang sebelumnya tidak ditemukan yaitu *Amaranthus spinosus* L., *Portulaca oleracea* L., dan *Paspalum conjugatum* P.J.Bergius. Sedangkan tujuh species gulma yang tumbuh sebelum pengolahan lahan tidak ditemukan pada 8 MST. Perbedaan species gulma yang tumbuh bersama dengan tanaman kentang tidak bisa diartikan sepenuhnya karena pengaruh rizobakteri indigen. Kelimpahan biji gulma di dalam tanah juga menjadi faktor penentu perkecambahan dan kemunculan gulma ke atas permukaan tanah (Feledyn-Szewczyk *et al.* 2020; Liebhard *et al.* 2022). Akan tetapi penelitian menunjukkan bahwa rizobakteri dapat mempengaruhi pertumbuhan gulma melalui berbagai proses fisiologis seperti regulasi hormon dan osmolitas pada keadaan cekaman kekeringan (Barnawal *et al.* 2019). Penghambatan perkecambahan dan pertumbuhan gulma oleh bakteri yang berasosiasi dengan akar tanaman juga dapat terjadi melalui produksi fitotoksin atau hydrogen sianida (Fang *et al.* 2022) oleh rizobakteria.

Reaksi enzimatik yang difasilitasi oleh keberadaan rizobakteri juga ikut memperbaiki lingkungan pertumbuhan dan status fisiologis tanaman inang. Semua isolat uji menunjukkan aktifitas beberapa enzim seperti selulase, protease, dan kitinase (Tabel 3). Enzim kitinase yang dihasilkan oleh rizobakteri terbukti dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit yang disebabkan oleh jamur (Carlson *et al.* 2020; Dukare & Paul 2021; Sousa *et al.* 2019; Vaghela *et al.* 2022). Perubahan komposisi gulma juga terjadi pada pertanaman kentang var. Granola di Alahan Panjang, Sumatra Barat dengan introduksi isolat rizobakteri indigen. Sebelum olah tanah ditemukan 8 species gulma, namun pada 8 MST gulma *Eleusine indica* dan *Gynura divaricata* tidak ditemukan lagi. Gulma *Amaranthus spinosus* yang sebelum olah tanah tidak ditemukan kemudian berkecambah dan tumbuh sehingga teridentifikasi pada 8 MST (Qolby *et al.* 2020). Potensi rizobakteria dan formulasinya sebagai bioherbisida masih perlu terus dikembangkan (Fang *et al.* 2022) agar dapat mendukung upaya praksis pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan (Chandran *et al.* 2021).

Tabel 2. Pertumbuhan dan hasil tanaman kentang var. Cingkariang dengan pemberian isolat rizobakteri indigen

Isolat rizobakteri indigen	Tinggi tanaman (cm), 12 MST	Jumlah cabang per tanaman	Jumlah umbi per tanaman	Bobot umbi per tanaman (g)	Hasil umbi (ton/ha)
Tanpa isolat	49,75 ^{ab}	3,33 ^{bc}	4,07	113,93 ^b	4,19 ^{bc}
SW L2.2	46,17 ^b	3,28 ^{bc}	4,17	99,13 ^{bc}	3,17 ^{cde}
Ag2 L2 S3.3	53,28 ^{ab}	3,78 ^{ab}	4,57	117,10 ^b	5,05 ^b
Ag2 L2 S4.2	45,67 ^b	3,22 ^{bc}	4,00	88,73 ^{bcd}	3,63 ^{cd}
Ag3 L3 S3.1	44,61 ^b	2,56 ^c	3,10	62,40 ^d	2,13 ^e
Ag3 L3 S5.1	60,06 ^a	4,50 ^a	5,03	214,80 ^a	8,44 ^a
Ag4 S5.2	46,50 ^b	3,11 ^{bc}	4,40	76,77 ^{cd}	2,89 ^{de}
	SEM = 3,26	SEM = 5,29	SEM = 0,56	SEM = 8,77	SEM = 0,35

Keterangan: angka pada lajur yang sama dan diikuti huruf kecil yang sama berbeda tidak nyata menurut DNMR 5%.

Pertumbuhan tanaman kentang seperti tinggi tanaman dan jumlah cabang per tanaman menunjukkan respon berbeda pada isolat rizobakteri indigen yang berbeda (Tabel 2). Isolat Ag3 L3 S5.1 secara konsisten memberikan respon terbaik pada semua peubah pengamatan kecuali jumlah umbi per tanaman yang merespon sama pada semua perlakuan. Peningkatan tinggi tanaman diikuti dengan peningkatan jumlah cabang yang tentunya akan dapat meningkatkan jumlah daun yang menjadi tempat berlangsungnya fotosintesis. Semua isolat rizobakteri yang diaplikasikan berpengaruh pada tinggi tanaman walaupun tanaman yang tidak diberi perlakuan isolat memperlihatkan tinggi tanaman yang sama dengan tanaman dengan perlakuan isolat rizobakteri. Hal ini menunjukkan bahwa introduksi rizobakteri indigen memberikan pengaruh yang positif dalam memicu pertumbuhan tinggi tanaman.

Rizobakteria telah banyak dimanfaatkan dalam budidaya tanaman pertanian terutama dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman air (Bouremani *et al.* 2023; Fadji *et al.* 2022) pada tanaman alfalfa (Han *et al.* 2022) dan bibit walnut (Liu *et al.* 2023). Peranan PGPR juga telah terbukti meningkatkan ketahanan tanaman dan mitigasi terhadap cekaman salinitas pada tanaman gandum (Ayaz *et al.* 2022; Gul *et al.* 2023), tanaman tomat dan melon (Gopalakrishnan *et al.* 2022), lettuce (Ouhaddou *et al.* 2022) dan beberapa tanaman obat (Kumar *et al.* 2022), perlindungan terhadap penyakit layu *Fusarium* pada tanaman tomat (Heo *et al.* 2022) dan penyakit busuk akar pada cabai yang disebabkan oleh jamur *Fusarium solani* (Qiao *et al.* 2023), serta peningkatan mekanisme ketahanan terhadap cekaman logam berat Nickel pada tanaman *Vicia faba* (Elbagory *et al.* 2022) dan jenis tanaman legum lainnya (Pandey *et al.* 2022).

Rizobakteri indigen sebagai PGPR berasosiasi dengan tanaman melalui mekanisme yang berbeda seperti aktivitas enzim fosfatase di dalam tanah, β -galactosidase, dan aktivitas enzim arylamidase (Tirry *et al.* 2021), produksi hormon seperti auksin dan sitokinin (Gupta *et al.* 2021; Mestre *et al.* 2021; Tsukanova *et al.* 2017) yang dapat meningkatkan proses pertumbuhan tanaman inang. Produksi siderophore, yang mampu melarutkan fosfat sehingga menjadi tersedia bagi tanaman, juga menjadi salah satu mekanisme PGPR dalam meningkatkan kebugaran tanaman (Idaszkin *et al.* 2021). Aktifitas enzim yang diuji dari isolat rizobakteri indigen pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3.

Peningkatan pertumbuhan tanaman kentang sebagai respon terhadap introduksi rizobakteri indigen telah mampu meningkatkan bobot umbi per tanaman dan hasil umbi kentang per hektar (Tabel 2). Kemampuan rizobakteri indigen sebagai PGPR dalam memproduksi auksin dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman dan siderophores yang berfungsi melarutkan fosfat (Qolby 2020) dapat membantu akar dalam menyerap unsur P yang tersedia di dalam tanah. Auksin dapat menstimulasi

pertumbuhan tanaman melalui perkembangan sel, perbaikan sistem perakaran dan induksi pembungaan. Singh *et al.* (2021) menyatakan bahwa selain berfungsi meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman logam berat, auksin juga mampu menstimulasi beberapa respon biologis seperti antioksidan enzimatis untuk mengatasi cekaman nitro-oxidative. Isolat Ag2 L2 S3.3 menunjukkan indeks selulolitik lebih tinggi dibandingkan isolat lainnya (Tabel 3) yang membuktikan aktifitas enzim selulase yang lebih tinggi. Sebaliknya indeks proteolitik tertinggi ditemukan pada isolat Ag3 L3 S5.1. Kemampuan menunjukkan aktifitas enzimatis semua isolat uji memberikan dampak positif bagi tanaman inang yang bersimbiosis dengan rizobakteri tersebut seperti perlindungan terhadap penyakit karena jamur (Manikandan *et al.* 2022; Singh *et al.* 2022). Aktifitas berbagai enzim yang dihasilkan oleh rizobakteri juga berpotensi dimanfaatkan untuk pencegahan dan perlindungan terhadap hama dan penyakit seperti teknologi mikroenkapsulasi pada bakteri probiotik pada benih (Saber Riseh *et al.* 2022). Peluang tersebut telah mulai dimanfaatkan agar tujuan praksis pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan dapat segera terwujud.

Tabel 3. Kemampuan isolat rizobakteri indigen dalam menghasilkan enzim

Perlakuan (isolat)	selulase	IS	protease	IP	lipase	kitinase
SW L2.2	+	0.1739	+	2.36	+	-
Ag2 L2 S3.3	+	0.6438	+	2.56	+	+
Ag2 L2 S4.2	+	0.2207	+	2.60	+	+
Ag3 L3 S3.1	+	0.1981	+	2.66	+	+
Ag3 L3 S5.1	+	0.2040	+	2.70	+	-
Ag4 S5.2	+	0.1964	+	2.33	+	+

Keterangan: IS = indeks selulolitik, IP = indeks proteolitik, + = aktifitas enzim terdeteksi, - = tidak ada aktifitas enzim

Isolat rizobakteri indigen Ag3 L3 S5.1 menyebabkan bobot umbi per tanaman dan hasil per hektar tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan isolat lainnya. Meskipun tidak semua isolat dapat meningkatkan bobot umbi per tanaman, isolat Ag3 L3 S5.1 telah mampu meningkatkan bobot umbi per tanaman sebesar 88,5%. Peningkatan sebanyak 101% juga terjadi pada hasil umbi per hektar atau setara dengan peningkatan hasil sebanyak 4,25 ton/ha umbi kentang oleh perlakuan isolat Ag3 L3 S5.1 dibandingkan perlakuan tanpa isolat rizobakteri indigen.

Penambahan bahan organik berupa pupuk kandang ayam dengan dosis 10 ton/ha dapat memperbaiki sifat fisik dan biologis tanah. Bahan organik dapat meningkatkan porositas tanah, daya pegang dan mobilitas air tanah (Chen *et al.* 2022; Komendová *et al.* 2019; Takahashi & Katoh 2022; Thapa *et al.* 2022). Perbaikan sifat fisik dan biologis tanah diikuti dengan aplikasi pupuk Urea, SP-36 dan KCl dapat meningkatkan penyerapan hara mineral oleh akar dan ditranslokasikan ke bagian lain tanaman untuk pembentukan berbagai senyawa biokimia untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman kentang yang diujikan.

KESIMPULAN

Introduksi isolat rizobakteri indigen mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan hasil umbi kentang var. Cingkariang. Respon paling tinggi diperlihatkan oleh perlakuan isolat Ag3 L3 S5.1 yang mampu meningkatkan hasil umbi kentang per hektar sebanyak 101% atau peningkatan sebanyak 4,25 ton/ha. Penelitian ini juga membuktikan pengaruh rizobakteri indigen terhadap dinamika populasi gulma dan perubahan komposisi jenis gulma ditemukan pada 8 MST. Tiga species gulma yaitu *Amaranthus spinosus* L., *Portulaca oleracea* L., dan *Paspalum conjugatum* P.J.Bergius. yang tidak ditemukan sebelum pengolahan lahan telah teridentifikasi pada 8 MST.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian dilaksanakan sebagai penelitian mandiri. Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Ketua Departemen Agronomi dan Dekan Fakultas Pertanian UNAND yang telah memberikan akses kepada penulis untuk melaksanakan penelitian di laboratorium dalam lingkungan Fakultas Pertanian UNAND. Semua penulis telah berkontribusi dalam penelitian dan penulisan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, IS, Atia, MAM, Nasrallah, AK, El-Beltagi, HS, Kabil, FF, El-Mogy, MM, & Abdeldaym, EA 2021, 'Effect of new pre-emergence herbicides on quality and yield of potato and its associated weeds', *Sustainability*, vol.13, no.17, pp.1-17. doi:10.3390/su13179796.
- Ahluwalia, O, Singh, PC & Bhatia, R 2021, 'A review on drought stress in plants: implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria', *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 100032. doi:10.1016/j.resenv.2021.100032.
- Alioghli, N, Fathi, SAA, Razmjou, J & Hassanpour, M 2022, 'Does intercropping patterns of potato and safflower affect the density of *Leptinotarsa decemlineata* (Say), predators, and the yield of crops?', *Biological Control*, vol. 175. doi:10.1016/j.biocontrol.2022.105051.
- Ayaz, M, Ali, Q, Jiang, Q, Wang, R, Wang, Z, Mu, G, Khan, SA, Khan, AR, Manghwar, H, Wu, H, Gao, X., & Gu, Q 2022, 'Salt tolerant bacillus strains improve plant growth traits and regulation of phytohormones in wheat under salinity stress', *Plants*, vol. 11, no. 20, 2769. doi:10.3390/plants11202769.
- Banach, A, Kuźniar, A, Mencfel, R, & Wolińska, A 2019, 'The study on the cultivable microbiome of the aquatic fern *Azolla filiculoides* L. as new source of beneficial microorganisms', *Applied Sciences*, vol. 9, no. 10, 2143. doi:10.3390/app9102143.
- Barbaś, P, Sawicka, B, Marczak, BK, & Pszczołkowski, P 2020, 'Effect of mechanical and herbicide treatments on weed densities and biomass in two potato cultivars', *Agriculture*, vol. 10, no. 10, 455. doi:10.3390/agriculture10100455.
- Barnawal, D, Singh, R, & Singh, RP 2019, *Chapter Six - Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Drought Tolerance: Regulating Growth Hormones and Osmolytes*. In A. K. Singh, A. Kumar, & P. K. Singh (Eds.), *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture* (pp. 107-128): Woodhead Publishing.
- Berestetskiy, A 2023, Modern approaches for the development of new herbicides based on natural compounds, *Plants*, vol. 12, no. 2, 234. doi:10.3390/plants12020234.
- Bouremani, N, Cherif-Silini, H, Silini, A, Bouket, AC, Luptakova, L, Alenezi, FN, Baranov, O, & Belbahri, L 2023, 'Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): a rampart against the adverse effects of drought stress', *Water*, vol. 15, no. 3, 418. doi:10.3390/w15030418.
- Badan Pusat Statistik 2022, *Produksi tanaman sayuran 2021*, diunduh 5 Februari 2023, <<https://www.bps.go.id/indicator/55/61/1/produksi-tanaman-sayuran.html>>.
- Brown, A, & Smith, H 2015, *Benson's Microbiological Application: Laboratory Manual in General Microbiology, Short Version* (13th ed.), McGraw-Hill Education, New York.
- Cabrera-Pérez, C, Royo-Esnal, A, & Recasens, J 2022, 'Herbicidal effect of different alternative compounds to control *Conyza bonariensis* in Vineyards', *Agronomy*, vol. 12, no.4, 960. doi:10.3390/agronomy12040960.
- Carlson, R, Tugizimana, F, Steenkamp, PA, Dubery, IA, Hassen, AI, & Labuschagne, N 2020, 'Rhizobacteria-induced systemic resilience in *Sorghum bicolor* (L.) moench against Fusarium pseudograminearum crown rot under drought stress conditions', *Biological Control*, 151, 104395. doi:10.1016/j.biocontrol.2020.104395.
- Chandran, H, Meena, M, & Swapnil, P 2021, 'Plant Growth-Promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture', *Sustainability*, vol. 13, no. 19, 10986. doi:10.3390/su131910986.
- Chaniago, I, Anwar, A, & Azhari, R 2023, 'Soil tillage affected weed community and the growth and yield of soybean for edamame production. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 26-35. doi:10.55043/jaast.v7i1.131.
- Chaniago, I, Warnita, & Resti, Z 2019, 'Exploration of indigenous rhizobacteria: in search for their potential as plant growth promoting bacteria at two potato producing areas in West Sumatra', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 347 no. 1, 012022. doi:10.1088/1755-1315/347/1/012022.
- Chen, J, Zhang, H, Wei, Q, Farooq, U, Zhang, Q, Lu, T, Wang, X, Chen, W, & Qi, Z 2022, 'Mobility of water-soluble aerosol organic matters (WSAOMs) and their effects on soil colloid-mediated transport of heavy metal ions in saturated porous media', *Journal of Hazardous Materials*, 440, 129733. doi:10.1016/j.jhazmat.2022.129733.
- Dukare, A, & Paul, S 2021, 'Biological control of Fusarium wilt and growth promotion in pigeon pea (*Cajanus cajan*) by antagonistic rhizobacteria, displaying multiple modes of pathogen inhibition', *Rhizosphere*, 17, 100278. doi:10.1016/j.rhisph.2020.100278.

- Elbagory, M, El-Nahrawy, S, & Omara, AED. 2022. Synergistic Interaction between Symbiotic N₂ Fixing Bacteria and *Bacillus* strains to Improve Growth, Physiological Parameters, Antioxidant Enzymes and Ni Accumulation in Faba Bean Plants (*Vicia faba*) under Nickel Stress. *Plants*, 11(14), 1812. doi:10.3390/plants11141812.
- Fadiji, AE, Orozco-Mosqueda, MdC, Santos-Villalobos, Sdl, Santoyo, G, & Babalola, OO 2022, 'Recent developments in the application of plant growth-promoting drought adaptive rhizobacteria for drought mitigation', *Plants*, vol. 11, no. 22, 3090. doi:10.3390/plants11223090.
- Fang, W, Liu, F, Wu, Z, Zhang, Z., & Wang, K 2022, 'Plant-associated bacteria as sources for the development of bioherbicides', *Plants*, vol. 11, no. 23, 3404. doi:10.3390/plants11233404.
- Feledyn-Szewczyk, B, Smagacz, J, Kwiatkowski, CA., Harasim, E, & Woźniak, A 2020, 'Weed flora and soil seed bank composition as affected by tillage system in three-year crop rotation', *Agriculture*, vol. 10 no. 5, 186. doi:10.3390/agriculture10050186.
- Gopalakrishnan, V, Burdman, S, Jurkevitch, E, & Helman, Y 2022, 'From the lab to the field: combined application of plant-growth-promoting bacteria for mitigation of salinity stress in melon plants', *Agronomy*, vol. 12, no. 2, 408. doi:10.3390/agronomy12020408.
- Gul, S, Javed, S, Azeem, M, Aftab, A., Anwaar, N, Mehmood, T, & Zeshan, B 2023, 'Application of *Bacillus subtilis* for the alleviation of salinity stress in different cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.)', *Agronomy*, vol. 13, no. 2, 437. doi:10.3390/agronomy13020437.
- Gupta, S, Stirk, WA, Plačková, L, Kulkarni, MG, Doležal, K, & Van Staden, J 2021, 'Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and a seaweed extract on the growth and physiology of *Allium cepa* L. (onion)', *Journal of Plant Physiology*, 262, 153437. doi:10.1016/j.jplph.2021.153437.
- Han, L, Zhang, M, Du, L, Zhang, L, & Li, B 2022, 'Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 on photosynthesis and antioxidant characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under drought stress', *Agronomy*, vol. 12, no. 9, 2177. doi:10.3390/agronomy12092177.
- He, H, Liu, Y, You, S, Liu, J, Xiao, H, & Tu, Z 2019, 'A review on recent treatment technology for herbicide atrazine in contaminated environment', *Int J Environ Res Public Health*, vol. 16 no. 24, 5129. doi:10.3390/ijerph16245129
- Heo, AY, Koo, YM, & Choi, HW 2022, 'Biological control activity of plant growth promoting rhizobacteria burkholderia contaminans AY001 against Tomato Fusarium Wilt and Bacterial Speck Diseases', *Biology*, vol. 11, no. 4, 619. doi:10.3390/biology11040619.
- Hong, J, Boussetta, N, Enderlin, G, Merlier, F, & Grimi, N 2022, 'Degradation of residual herbicide atrazine in agri-food and washing water', *Foods*, vol. 11, no. 16, 2416. doi:10.3390/foods11162416.
- Hussain, N, Farooque, AA, Schumann, AW, Abbas, F, Acharya, B, McKenzie-Gopsill, A, Barrett, R, Afzaal, H, Zaman, QU, & Cheema, MJM 2021, 'Application of deep learning to detect Lamb's quarters (*Chenopodium album* L.) in potato fields of Atlantic Canada', *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106040. doi:10.1016/j.compag.2021.106040.
- Idaszkin, YL, Polifroni, R, & Mesa-Marín, J 2021, 'Isolation of Plant Growth Promoting Rhizobacteria from *Spartina densiflora* and *Sarcocornia perennis* in San Antonio polluted salt marsh, Patagonian Argentina', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 260, 107488. doi:10.1016/j.ecss.2021.107488.
- Jabran, K, Ahmad, T, Siddiqui, AO, Üremiş, İ, & Doğan, MN 2023, *Chapter 7 - Weed management in potato*, In M. E. Çalışkan, A. Bakhsh, & K. Jabran (Eds.), *Potato Production Worldwide* Academic Press, Cambridge.
- Jamroo, NA, Umor, NA, & Kamsani 2015, 'Isolation and screening of thermo-stable cellulose enzyme fungal producer at different temperature', *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, vol. 19, no.4, 860-865.
- Janiya, JD, & Moody, K 1989, 'Weed population in transplanted wet-seeded rice as affected by weed control method', *Trop Pest Manag*, vol. 35, no. 1, pp. 8-11.
- Kalkhoran, ES, Alebrahim, MT, Abad, HRMC, Streibig, JC, Ghavidel, A, & Tseng, TMP. 2021. The Joint Action of Some Broadleaf Herbicides on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Weeds and Photosynthetic Performance of Potato. *Agriculture*, 11(11), 1103, doi:10.3390/agriculture11111103.
- Komendová, R, Židek, J, Berka, M, Jemelková, M, Řezáčová, V, Conte, P, & Kučerík, J 2019, 'Small-sized platinum nanoparticles in soil organic matter: Influence on water holding capacity, evaporation and structural rigidity', *Science of The Total Environment*, 694, 133822, doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133822.

- Kumar, R, Swapnil, P, Meena, M, Selpair, S, & Yadav, BG 2022, 'Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): approaches to alleviate abiotic stresses for enhancement of growth and development of medicinal plants', *Sustainability*, vol. 14, no. 23, 15514, doi:10.3390/su142315514.
- Kurniadie, D, Widiyanto, R, Widayat, D, Umiyati, U, Nasahi, C, & Kato-Noguchi, H 2021, 'Herbicide-resistant invasive plant species *Ludwigia decurrens* Walter', *Plants*, vol. 10, no. 9, 1973, doi:10.3390/plants10091973.
- Kwonpongsagoon, S, Katasila, C, Kongtip, P, & Woskie, S 2021, 'Application intensity and spatial distribution of three major herbicides from agricultural and nonagricultural practices in the central plain of Thailand', *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 6, 3046, doi:10.3390/ijerph18063046.
- Li, Y, Wang, J, Chen, R, Wang, E, Wang, B, Yu, Q, Hu, Q, Pan, Z, & Pan, X 2022, 'Climate-smart planting for potato to balance economic return and environmental impact across China', *Science of The Total Environment*, 850, 158013, doi:10.1016/j.scitotenv.2022.158013.
- Liebhart, G, Klik, A, Neugschwandtner, RW, & Nolz, R 2022, 'Effects of tillage systems on soil water distribution, crop development, and evaporation and transpiration rates of soybean', *Agricultural Water Management*, 269, 107719, doi:10.1016/j.agwat.2022.107719.
- Liu, F, Ma, H, Liu, B, Du, Z, Ma, B, & Jing, D 2023, 'Effects of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on the physioecological characteristics and growth of walnut seedlings under drought stress,' *Agronomy*, vol. 13, no. 2, 290. doi:10.3390/agronomy13020290.
- Macri, IN, Vázquez, DE, Pagano, EA, Zavala, JA, & Farina, WM 2021, 'Evaluating the impact of post-emergence weed control in honeybee colonies located in different agricultural surroundings', *Insects*, vol. 12, no. 2, 163, doi:10.3390/insects12020163.
- Manikandan, A, Jaivel, N, Johnson, I, Krishnamoorthy, R, Senthilkumar, M, Raghu, R, Gopal, NO, Mukherjee, PK, & Anandham, R 2022, 'Suppression of macrophomina root rot, fusarium wilt and growth promotion of some pulses by antagonistic rhizobacteria', *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 121, 101876, doi:10.1016/j.pmpp.2022.101876.
- Matozzo, V, Fabrello, J, & Marin, MG 2020, 'The effects of glyphosate and its commercial formulations to marine invertebrates: A review', *J Marine Sci Eng*, vol. 8, no.6, 399, doi:10.3390/jmse8060399.
- McKenzie-Gopsill, A, Graham, G, Laforest, M, Ibarra, S, Hann, S, & Wagg, C 2020, 'Occurrence and management of PSII-Inhibitor-Resistant *Chenopodium album* L. in Atlantic Canadian Potato Production. *Agronomy*, vol. 10, no. 9, 1369, doi:10.3390/agronomy10091369
- Meno, L, Escuredo, O, Rodríguez-Flores, MS, & Seijo, MC 2021, 'Looking for a sustainable potato crop: field assessment of early blight management', *Agricultural and Forest Meteorology*, 308-309, 108617, doi:10.1016/j.agrformet.2021.108617.
- Mestre, MC, Severino, ME, & Fontenla, S 2021, 'Evaluation and selection of culture media for the detection of auxin-like compounds and phosphate solubilization on soil yeasts', *Revista Argentina de Microbiología*, vol. 53, no. 1, 78-83. doi:10.1016/j.ram.2020.06.008.
- O'Shaughnessy, SA., Rho, H, Colaizzi, PD., Workneh, F, & Rush, CM 2022. Impact of zebra chip disease and irrigation levels on potato production. *Agricultural Water Management*, 269, 107647. doi:10.1016/j.agwat.2022.107647.
- Ojeda, JJ, Rezaei, EE, Remenyi, TA, Webb, MA, Webber, HA., Kamali, B, Harris, RMB., Brown, JN, Kidd, DB, Mohammed, CL, Siebert, S, Ewert, F, & Meinke, H 2020, 'Effects of soil- and climate data aggregation on simulated potato yield and irrigation water requirement', *Science of The Total Environment*, 710, 135589, doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135589.
- Ouhaddou, R, Ben-Laouane, R, Lahlali, R, Anli, M, Ikan, C, Boutasknit, A, Slimani, A., Oufdou, K, Baslam, M, Ait Barka, E, & Meddich, A 2022, 'Application of indigenous rhizospheric microorganisms and local compost as enhancers of lettuce growth, development, and salt stress tolerance', *Microorganisms*, vol.10, no. 8, 1625, doi:10.3390/microorganisms10081625.
- Paff, K, Fleisher, D, & Timlin, D 2022, 'Changes in the effects of water and nitrogen management for potato under current and future climate conditions in the U.S', *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106980, doi:10.1016/j.compag.2022.106980.
- Pandey, AK, Zorić, L, Sun, T, Karanović, D, Fang, P, Borišev, M, Wu, X, Luković, J, & Xu, P 2022, 'The anatomical basis of heavy metal responses in legumes and their impact on plant - rhizosphere interactions', *Plants*, vol.11, no. 19, 2554, doi:10.3390/plants11192554.
- Piasecki, C, Carvalho, IR, Avila, LA, Agostinetto, D, & Vargas, L 2020, 'Glyphosate and saflufenacil: elucidating their combined action on the control of glyphosate-resistant *Conyza bonariensis*', *Agric*, vol.10, no.6, 236, doi:10.3390/agriculture10060236.

- Pszczółkowski, P, Barbaś, P, Sawicka, B, & Krochmal-Marczak, B 2020, 'Biological and agrotechnical aspects of weed control in the cultivation of early potato cultivars under cover', *Agriculture*, vol.10, no.9, 373. doi:10.3390/agriculture10090373.
- Qiao, J, Peng, B, Zhang, R, Liu, Y, & Liu, Y 2023, 'Evaluation of the biocontrol efficiency of *Bacillus subtilis* wettable powder on pepper root rot caused by *Fusarium solani*', *Pathogens*, vol.12, no.2, 225. doi:10.3390/pathogens12020225.
- Qolby, FH 2020, 'Karakterisasi fisiologis rizobakteri indigenus pertanian kentang dan pengaruhnya terhadap perkecambahan dan pertumbuhan awal gulma *Amaranthus spinosus* L. dan *Ageratum conyzoides* L.', Tesis, Universitas Andalas, Padang.
- Qolby, FH, Chaniago, I, Dwipa, I, & Resti, Z 2020, 'Pengaruh introduksi isolat rizobakteri indigen terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) dan dinamika populasi gulma di Alahan Panjang, Sumatera Barat', *Jurnal Agroteknologi*, vol. 11, no.1, pp 1-10.
- Rahmadi, R, Sriyani, N, Yusnita, PujiSiswanto, H, Hapsoro, D 2021, 'Resistance status and physiological activity test of *Spenochlea zeylanica* and *Ludwigia octovalvis* in paddy field to 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicides', *Biodiversitas*, vol.22, no.5, pp 2829-2838. doi:10.13057/biodiv/d220547.
- Saberi Riseh, R, Tamanadar, E, Hajabdollahi, N, Vatankhah, M, Thakur, VK, & Skorik, YA 2022, 'Chitosan microencapsulation of rhizobacteria for biological control of plant pests and diseases: Recent advances and applications', *Rhizosphere*, 23, 100565. doi:10.1016/j.rhisph.2022.100565.
- Singh, H, Bhat, JA, Singh, VP, Corpas, FJ, & Yadav, SR 2021, 'Auxin metabolic network regulates the plant response to metalloids stress', *Journal of Hazardous Materials*, 405, 124250, doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124250.
- Singh, K, Chandra, R, & Purchase, D 2022, 'Unraveling the secrets of rhizobacteria signaling in rhizosphere', *Rhizosphere*, 21, 100484, doi:10.1016/j.rhisph.2022.100484.
- Skiba, D, Sawicka, B, Pszczółkowski, P, Barbaś, P, & Krochmal-Marczak, B 2021, 'The impact of cultivation management and weed control systems of very early potato on weed infestation, biodiversity, and health safety of tubers', *Life*, vol.11, no.8, 826, doi:10.3390/life11080826.
- Sousa, AJS, Silva, CFB, Sousa, JS, Monteiro, JE, Freire, JEC, Sousa, BL, Lobo, MDP, Monteiro-Moreira, ACO, & Grangeiro, TB 2019, 'A thermostable chitinase from the antagonistic *Chromobacterium violaceum* that inhibits the development of phytopathogenic fungi', *Enzyme and Microbial Technology*, 126, pp.50-61, doi:10.1016/j.enzmictec.2019.03.009.
- Sylwestrzak, Z, Zgrundo, A, & Pniewski, F 2021, 'Ecotoxicological studies on the effect of Roundup® (glyphosate formulation) on marine benthic microalgae', *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 3, 884, doi:10.3390/ijerph18030884.
- Takahashi, Y, & Katoh, M 2022, 'Root response and phosphorus uptake with enhancement in available phosphorus level in soil in the presence of water-soluble organic matter deriving from organic material', *Journal of Environmental Management*, 322, 116038, doi:10.1016/j.jenvman.2022.116038.
- Thapa, VR, Ghimire, R, VanLeeuwen, D, Acosta-Martínez, V, & Shukla, M 2022, 'Response of soil organic matter to cover cropping in water-limited environments' *Geoderma*, 406, 115497, doi:10.1016/j.geoderma.2021.115497.
- Tirry, N, Kouchou, A, Laghmari, G, Lemjereb, M, Hnadi, H, Amrani, K, Bahafid, W, & El Ghachtouli, N 2021, 'Improved salinity tolerance of *Medicago sativa* and soil enzyme activities by PGPR', *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 31, 101914, doi:10.1016/j.bcab.2021.101914.
- Tsukanova, KA, Chebotar, VK., Meyer, JJM, & Bibikova, TN 2017, 'Effect of plant growth-promoting Rhizobacteria on plant hormone homeostasis', *South African Journal of Botany*, 113, pp.91-102, doi:10.1016/j.sajb.2017.07.007.
- Vaghela, B, Vashi, R, Rajput, K, & Joshi, R 2022, 'Plant chitinases and their role in plant defense: A comprehensive review', *Enzyme and Microbial Technology*, 159, 110055, doi:10.1016/j.enzmictec.2022.110055.
- Vulchi, R, Bagavathiannan, M, & Nolte, SA 2022, 'History of herbicide-resistant traits in cotton in the U.S. and the importance of integrated weed management for technology stewardship', *Plants*, vol. 11, no. 9, 1189, doi:10.3390/plants11091189.
- Weerarathne, LVY, Marambe, B, & Chauhan, BS 2017, 'Intercropping as an effective component of integrated weed management in tropical root and tuber crops: A review', *Crop Protection*, 95, pp. 89-100, doi:10.1016/j.cropro.2016.08.010.

- Whittaker, J, Nyiraneza, J, Zebarth, BJ, Jiang, Y, & Burton, DL 2023, 'The effects of forage grasses and legumes on subsequent potato yield, nitrogen cycling, and soil properties', *Field Crops Research*, 290, 108747, doi:10.1016/j.fcr.2022.108747.
- Yu, YY, Xu, JD, Gao, MZ, Huang, TX, Zheng, Y, Zhang, YY, Wang, YP, Luo, YM, Zhang, Y, Hu, YH, Guo, JH, & Jiang, CH 2023, 'Exploring plant growth promoting rhizobacteria potential for green agriculture system to optimize sweet potato productivity and soil sustainability in northern Jiangsu, China', *European Journal of Agronomy*, 142, 126661. doi:10.1016/j.eja.2022.126661.

