

STATUS KESEHATAN TANAH PERTANIAN CABAI ORGANIK DAN KONVENSIONAL: TINJAUAN PADA KELIMPAHAN BAKTERI TANAH, POTENSI RPPT (RHIZOBAKTERI PEMACU PERTUMBUHAN TANAMAN) DAN AKTIVITAS ENZIM TANAH

[Soil Health Status of Organic and Conventional Chillies Agriculture: Study on the Soil Bacteria Abundance, Its PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) Potential and Soil Enzyme Activities]

Agung Adi Nugroho^{1✉*}, Tirta Kumala Dewi^{1*}, Risa Okiana Safitri^{2*}, Sapto Nugroho Hadi², Entis Sutisna¹, Nani Mulyani¹, Sarjiya Antonius^{1*}

¹Pusat Riset Biologi – Pusat Riset Biologi - Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Raya Jakarta - Bogor KM. 46 Cibinong, Jl. Raya Jakarta – Bogor Km. 46 Cibinong Science Center, West Java, 16911

²Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 53122
email: agungadinugroho8@gmail.com

ABSTRACT

Chili is an agricultural commodity with high economic value. Conventional chili cultivation tends to use excessive agrochemicals, which can have a negative impact. The purpose of this study was to compare soil health in organic and conventional chili cultivation based on PGPR population parameters and soil biochemical activity and identify potential PGPR as a candidate for biofertilizer. The population of PGPR and the biochemical activity of organic chili farming soil were higher than conventional ones. The population of PGPR in organic chili soils, including total bacteria, P solubilizing bacteria, producing IAA, proteolytic and N₂ fixing, was higher in the range of 1,06 x 10⁶–25,15 x 10⁶ cfu/g compared to conventional chili soil 0,34 x 10⁶–7,46 x 10⁶ cfu/g. The activities of organic chili soil enzymes such as phosphomonoesterase, urease, and respiration enzymes were 130,73 g pNP g⁻¹ hour⁻¹; 165,65 g N-NH₄ g⁻¹ hour⁻¹; 0,14 CO₂ mg soil/hour, respectively. The activity of PGPR from organic chili soil has a high potential for P solubilizing and IAA-producing agents. The N content of organic and conventional agricultural soils did not differ much, but the C and P contents were higher in organic chili farms, while the K content tended to be lower. Overall, soil health based on bacterial population, soil biochemistry, and soil chemical properties of organic chili was better than conventional.

Keywords: Chili, soil biochemistry, conventional farming, organic farming, PGPR.

ABSTRAK

Cabai merupakan komoditas pertanian dengan nilai ekonomi cukup tinggi. Budidaya cabai konvensional cenderung menggunakan bahan agrokimia berlebihan yang dapat menimbulkan dampak negatif. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan kesehatan tanah pada budidaya tanaman cabai organik dan konvensional berdasarkan parameter populasi bakteri RPPT dan aktivitas biokimia tanah serta mengidentifikasi potensi RPPT sebagai kandidat pupuk hayati. Populasi bakteri RPPT dan aktivitas biokimia tanah pertanian cabai organik lebih tinggi dibandingkan konvensional. Populasi bakteri RPPT tanah cabai organik meliputi total bakteri, bakteri pelarut P, penghasil IAA, proteolitik dan penambat N₂ lebih tinggi yaitu berkisar 1,06 x 10⁶–25,15 x 10⁶ cfu/g dibandingkan tanah cabai konvensional 0,34 x 10⁶–7,46 x 10⁶ cfu/g. Aktivitas enzim tanah cabai organik seperti enzim fosfomonoesterase, urease dan respirasi yaitu 130,73 µg pNP g⁻¹ jam⁻¹; 165,65 µg N-NH₄ g⁻¹ jam⁻¹; 0,14 CO₂ mg tanah/jam, secara berurutan. Aktivitas RPPT dari tanah cabai organik memiliki potensi pelarut P dan penghasil IAA yang cukup tinggi. Kandungan N tanah pertanian organik dan konvensional tidak banyak berbeda, tetapi kandungan C dan P lebih tinggi pada tanah pertanian cabai organik, sedangkan kandungan K cenderung lebih rendah. Secara keseluruhan kesehatan tanah berdasarkan populasi bakteri, biokimia tanah dan sifat kimia tanah cabai organik lebih baik dibandingkan konvensional.

Kata Kunci: Cabai, biokimia tanah, pertanian konvensional, pertanian organik, RPPT.

PENDAHULUAN

Cabai merupakan tanaman sayuran yang memiliki nilai ekonomi cukup tinggi. Nilai ekonomi yang cukup tinggi tersebut dibuktikan dengan fokus pemerintah dalam penanganan harga cabai yang fluktuatif sehingga memicu inflasi (Malahayati dan Puspitasari, 2020). Selain itu potensi ekspor cabai juga naik 7,42 % selama tahun 2000–2019 sehingga tidak salah jika pemerintah mengelompokkan cabai sebagai salah satu komoditas strategis (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2020; Rencana Strategis

Kementerian Pertanian Tahun 2020–2024, 2020). Melihat potensi nilai ekonomi dan ancaman inflasi diperlukan perhatian khusus pada faktor pemicu kenaikan harga cabai. Menurut (Nurvitasari *et al.*, 2018), salah satu faktor yang mempengaruhi kenaikan harga cabai adalah kapasitas produksi yang bergantung dengan musim dan ancaman gangguan penyakit. Program intensifikasi pertanian cabai menjadi salah satu solusi dalam peningkatan produksi namun jika dalam praktiknya tidak diatur secara ketat akan timbul dampak negatif seperti pencemaran akibat pupuk kimia dan pestisida

*Kontributor Utama

*Diterima: 3 September 2021 - Diperbaiki: 24 November 2021 - Disetujui: 11 Desember 2021

berlebih. Keinginan untuk meningkatkan hasil produksi cabai secara singkat, mendorong petani untuk menggunakan bahan kimia sintetik berlebih. Penggunaan bahan kimia sintetik dalam dosis tinggi pada waktu lama dapat menimbulkan dampak negatif. Dampak negatif yang ditimbulkan antara lain pencemaran air, pencemaran tanah yang berakibat menurunnya tingkat kesuburan tanah, rendahnya keragaman hayati, meningkatnya serangan hama, penyakit dan gulma, meningkatnya emisi gas rumah kaca, kompaksi tanah, reduksi karbon dan bahan organik tanah (Ongley, 1996; Lestari, 2009; Farhadinejad *et al.*, 2014; Chai *et al.*, 2019; Chandini *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2019). Di dalam bahan kimia sintetik seperti pupuk kimia dan pestisida terkandung logam berat seperti As, Pb, Cd, Hg, Cu (Alloway, 1995) sehingga berpotensi mencemari lingkungan dan produk pertanian. Konsentrasi logam berat Cd dan As setelah pemberian pupuk kimia berdasarkan penelitian (Atafar *et al.*, 2010) menunjukkan peningkatan secara signifikan. Selain itu menurut (Uddin dan Kurosawa, 2011) aplikasi pupuk nitrogen dalam pertanian dapat memicu lepasnya As dalam suatu sedimen. Di beberapa daerah di Indonesia telah dilaporkan adanya perubahan kualitas tanah dan ditemukannya cemaran residu baik pada tanah atau air permukaan akibat penggunaan pupuk kimia dan pestisida berlebih (Komarawidjaja, 2011; Joko *et al.*, 2017; Panjaitan *et al.*, 2020).

Cukup banyaknya efek negatif dari penggunaan bahan kimia sintetik membuka kesadaran petani untuk menerapkan sistem pertanian organik. Pertanian organik adalah suatu upaya mengoptimalkan penggunaan bahan organik di lahan-lahan pertanian untuk menjaga kesehatan dan kesuburan tanah (Darmadji, 2011). Tinggi rendahnya produksi tanaman cabai tentunya dipengaruhi oleh kualitas tanah tempat budidaya. Ada banyak kendala dalam meningkatkan hasil produksi tanaman diantaranya kesuburan tanah, ketersediaan unsur hara esensial seperti fosfat, keberadaan mikrob pelarut fosfat yang berperan penting dalam proses pelarutan fosfat di dalam tanah (Ilham *et al.*, 2014). Pengurangan penggunaan bahan kimia sintetik dan beralih ke pupuk organik pada pertanian banyak membawa manfaat untuk memperbaiki sifat tanah khususnya aspek biologi tanah.

Aplikasi bahan organik atau pupuk organik dapat meningkatkan komposisi bakteri bermanfaat untuk tanaman, meningkatkan kualitas hasil panen dan meningkatkan aktivitas respirasi serta enzimatik tanah yang berperan dalam siklus hara di dalam tanah (Antonius *et al.*, 2007; Rahmansyah *et al.*, 2009; Lin *et al.*, 2019). Enzim tanah dapat digunakan sebagai parameter untuk mendeteksi perubahan kualitas atau kesehatan tanah. Aktivitas enzim tanah berperan dalam proses biokimia yang

ada di dalam tanah.

Bioindikator seperti aktivitas enzim tanah ini dapat yang menggambarkan proses reaksi transformasi suatu substrat di dalam tanah (González *et al.*, 2007). Terdapat beberapa enzim yang berperan dalam siklus unsur hara dan sebagai bioindikator kesehatan tanah diantaranya *Dehydrogenase*; β -*Glucosidase*; *Cellulase*; *Arylsulphatase*; *Urease*; *Phospatase*; *Protease*; α -*Amilase*; β -*Amilase*; *Endo-1,4- β -glucanase*; *Exo-1,4- β -glucanase*; *Phenol oxidase* dan *Chitinase* (Utobo dan Tewari, 2015; Rao *et al.*, 2017). Dua dari enzim – enzim tersebut merupakan katalis dalam reaksi untuk menyediakan unsur hara N dan P yaitu *urease* dan *phospatase*. *Urease* merupakan enzim hidrolitik sebagai katalis dalam siklus N (degradasi dan mineralisasi) dengan salah satu produk akhir yaitu amonia (Lloyd dan Sheaffe, 1973; Cordero *et al.*, 2019; Mazzei *et al.*, 2020). Salah satu kelompok enzim *phospatase* yaitu *phosphomonesterase* berperan dalam hidrolisis P organik menjadi P anorganik melalui reaksi pembentukan asam organik (Rejsek *et al.*, 2012; Anti *et al.*, 2020).

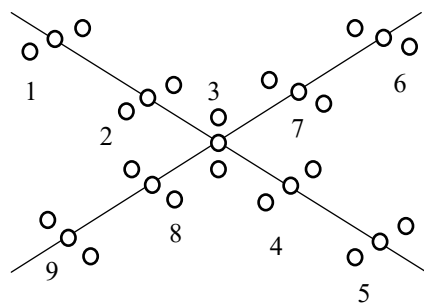
Selain aktivitas enzim tanah, kelimpahan mikroorganisme juga mempengaruhi tingkat kesuburan tanah. Mikroorganisme memegang peran penting dalam rantai makanan dan keseimbangan siklus biologi dalam kehidupan. Bakteri sangat penting dalam siklus geokimia sebagai contoh: siklus karbon, nitrogen, sulfur, dan fosfat. Bakteri perakaran yang sering disebut sebagai *Rhizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman* (RPPT) memiliki peran yang mempengaruhi sifat biologi-kimia tanah, ketersediaan nutrisi/hara dan pada akhirnya menentukan pertumbuhan dan hasil panen (Antonius *et al.*, 2007). Bakteri RPPT memiliki aktivitas sebagai penambat nitrogen, pelarut fosfat, penghasil hormon tumbuh dan agen biokontrol yang dapat menyediakan nutrisi bagi tanaman serta melindungi dari patogen tertentu (Van Loon, 2007; Yang *et al.*, 2009).

Penelitian yang berkaitan dengan pertumbuhan tanaman, enzim tanah dan sifat kimia tanah antara pertanian organik dan konvensional cukup banyak dilakukan (Legaspi *et al.*, 2007; Aziz *et al.*, 2016; Aziz *et al.*, 2018), namun belum banyak dilakukan penelitian terkait perbandingan sifat biokimia dan kimia tanah pada sistem pertanian organik dan konvensional cabai. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kesehatan tanah pada budidaya tanaman cabai organik dan konvensional berdasarkan parameter kelimpahan populasi bakteri RPPT dan aktivitas biokimia tanah serta mengidentifikasi potensi bakteri RPPT pada lahan cabai sistem pertanian organik dan konvensional.

BAHAN DAN CARA KERJA

Pengambilan sampel tanah

Sampel tanah diambil dari kebun cabai petani dengan sistem pertanian organik di Desa Melung, Kecamatan Baturraden Kabupaten Banyumas dengan metode diagonal. Terdapat sembilan titik sampling dan pada setiap titik sampling, tanah diambil dari tiga sisi di dekat perakaran tanaman cabai dan dikompositkan. Sampel tanah diambil secara aseptis pada kedalaman 15–20 cm dari permukaan tanah. Berat tanah yang diambil sebanyak ± 600 g untuk setiap titik sampling. Sebanyak sembilan sampel tanah organik dan sembilan sampel tanah konvensional disimpan di dalam kotak pendingin dan selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium. Metode yang sama dilakukan untuk pengambilan sampel tanah pertanian konvensional di Desa Rakit Kecamatan Rakit Kabupaten Banjarnegara.



Gambar 1. Denah pengambilan sampel tanah (*Layout of the soil sampling*)

Total bakteri dan jumlah bakteri RPPT pada media selektif

Total jumlah bakteri dan jumlah bakteri RPPT dihitung berdasarkan *Total Plate Count* dengan satuan CFU/ g tanah (Cappuccino dan Sherman, 2004). Bakteri ditumbuhkan di media *Nutrient Agar* (total jumlah bakteri), *Pikovskaya* (bakteri pelarut fosfat), *Tryptic Soy Agar* yang diperkaya dengan L-triptofan (bakteri penghasil hormon tumbuh IAA), *Skim Milk Agar* (bakteri penghasil enzim protease) dan *Nitrogen-free bromthymol blue* (bakteri penambat N).

Enzim Phosphomonoesterase (PME-ase)

Sampel tanah sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 1 mL substrat p-Nitrophenilphosphat (10,63 mM) dan 4 mL buffer (pH 6,5) dikocok, ditutup dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 1 jam di dalam *waterbath shaker*. Kemudian ke dalam tabung reaksi ditambahkan 1 mL CaCl₂ 0,5 M dan 4 mL NaOH

0,5 M. Selanjutnya dilakukan homogenisasi dengan *vortex* lalu disaring. Sebanyak 1 mL filtrat dipipet ke dalam tabung reaksi dan diencerkan dengan 9 mL akuades. Filtrat diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm. Pengukuran aktivitas enzim diulang sebanyak dua kali dan blanko (kontrol) menggunakan sampel tanah tanpa penambahan p-Nitrophenilphosphat (Margesin, 1996).

Aktivitas PME-ase ($\mu\text{g NP} \cdot \text{g}^{-1} \text{dm} \cdot \text{h}^{-1}$) =

$$\frac{(S - C) \cdot 10 \cdot 100}{\% \text{ dm} \cdot a \cdot b}$$

Keterangan :

- S = Konsentrasi sampel ($\mu\text{g p-NP}$)
- C = Konsentrasi kontrol ($\mu\text{g p-NP}$)
- 10 = Faktor pengenceran
- 100%-1 dm = Faktor bobot berat kering tanah
- a = Bobot molekul p-Nitrophenilphosphat (g/mol)
- b = Waktu inkubasi (jam)

Enzim Urease

Sampel tanah sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditambahkan 2,5 mL substrat urea 720 mM dan 20 mL buffer borat 0,1 M (pH 10). Sampel diinkubasi selama 2 jam pada suhu 37 °C. Selanjutnya ditambahkan 50 mL larutan KCl 1M ke dalam Erlenmeyer dan dikocok selama 30 menit kemudian disaring. Sebanyak 1 mL filtrat diambil kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 0,2 mL pereaksi Nessler serta 9 mL akuades. Larutan dihomogenkan dengan *vortex* selanjutnya didiamkan selama 10 menit. Larutan tersebut selanjutnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm. Larutan kontrol dilakukan seperti cara kerja diatas tanpa penambahan substrat urea (Kandeler, 1996).

Aktivitas Enzim Urease ($\mu\text{g N/mL}$) =

$$\frac{(S - C) \cdot 10 \cdot A \cdot 100}{5 \cdot \% \text{ dm} \cdot a \cdot b}$$

Keterangan :

- S = Konsentrasi sampel ($\mu\text{g N}$)
- C = Konsentrasi kontrol ($\mu\text{g N}$)
- 10 = Faktor pengenceran
- A = Volume ekstrak (mL)
- 5 = Bobot tanah (g)
- 100%-1 dm = Faktor untuk bobot kering tanah
- a = Bobot molekul NH₄⁺ (g/mol)
- b = Waktu inkubasi

Respirasi mikroba tanah

Sebanyak 20 gram sampel tanah dimasukkan ke dalam kain tipis dan digantungkan di dalam botol uji yang telah berisi 20 mL larutan KOH 0,05 N kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah inkubasi selesai kemudian botol dibuka dan sampel dikeluarkan. Ke dalam larutan di botol uji ditambahkan indikator fenolftalein dan dititrasi dengan HCl 0,2 N sampai larutan tidak berwarna. Selanjutnya ditambahkan indikator metil jingga ke dalam larutan di botol uji dan dititrasi kembali dengan HCl 0,2 N hingga larutan berwarna jingga. Pada pengukuran kontrol menggunakan tanah steril (Ohlinger, 1996).

Respirasi ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{dm} \cdot 24\text{h}^{-1}$) =

$$\frac{(C - S) \cdot 2,2 \cdot 100}{SW \cdot \% \text{ dm}}$$

Keterangan :

- C = Volume HCl sampel (mL)
- S = Volume HCl kontrol (mL)
- 2,2 = Faktor konversi (1 mL HCl 0,2 N ~ 2,2 mg CO₂)
- SW = Bobot tanah (g)
- 100.%-1dm = Faktor untuk bobot kering tanah

Uji Kualitatif dan Kuantitatif Isolat Kandidat RPPT

Uji pelarutan fosfat secara kualitatif

Sebanyak satu ose isolat diinokulasikan pada cawan petri berisi medium *Pikovskaya agar* dengan cara inokulasi titik. Cawan petri kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari. Zona jernih yang muncul disekitar koloni bakteri menunjukkan kemampuan pelarutan fosfat. Isolat dengan zona jernih paling lebar diremajakan untuk diuji secara kuantitatif (Pikovskaya, 1948).

Uji kemampuan produksi IAA secara kualitatif

Sebanyak satu ose isolat diinokulasikan pada cawan petri berisi medium *Tryptic Soy Agar* (TSA) dengan cara digores. Isolat diinokulasikan di dua cawan petri yang berbeda. Cawan petri kemudian diinkubasi di suhu ruang selama 48 jam. Setelah itu diteteskan pereaksi Salkowski diatas permukaan koloni yang tumbuh di salah satu cawan petri. Selanjutnya diinkubasi di suhu ruang selama 1 jam dalam ruang gelap. Isolat yang menghasilkan warna merah muda menunjukkan kemampuan menghasilkan hormon IAA. Isolat dengan warna merah muda paling pekat diremajakan dengan

mengambil isolat dengan kode yang sama di cawan petri yang tidak ditetesi pereaksi untuk selanjutnya dilakukan pengujian kuantitatif (Patten dan Glick, 2002).

Uji kemampuan produksi enzim protease secara kualitatif

Kemampuan isolat bakteri dalam menghasilkan enzim protease di uji secara kualitatif menggunakan metode yang dimodifikasi dari (Ni *et al.*, 2018). Satu ose isolat diinokulasikan ke dalam cawan petri yang berisi media *Skim Milk Agar* (SMA) dengan cara inokulasi titik. Cawan petri kemudian diinkubasi di suhu ruang selama 48 jam. Zona jernih disekitar koloni bakteri menunjukkan kemampuan produksi enzim protease.

Uji pelarutan fosfat secara kuantitatif

Sebanyak empat persen isolate dengan kepadatan OD₆₀₀ = 0,600–0,650 diinokulasikan ke dalam 50 mL media *Pikovskaya* cair. Media tersebut diinkubasi di *rotary shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 7 hari. Pengambilan sampel dilakukan masa awal dan akhir inkubasi. Sampel sebanyak 10 mL diambil kemudian disentrifus selama 20 menit dengan kecepatan 10000 rpm. Supernatan sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL kemudian ditambahkan 10 mL reagen *Chromomolybdic acid* selanjutnya dihomogenkan. Kemudian ditambahkan 100 µL reagen *Chlorostannouse* lalu dihomogenkan dan ditambahkan akuades hingga volume mencapai 50 mL. Pengukuran absorbansi sampel dilakukan dengan spektrofotometer panjang gelombang 600 nm. Selain mengukur absorbansi sampel dilakukan juga pengukuran pH medium di awal dan akhir masa inkubasi dan penghitungan total bakteri dengan metode *Total Plate Count* dengan satuan CFU/mL (Ahmad *et al.*, 2008).

Uji kemampuan produksi IAA secara Kuantitatif

Sebanyak satu ose isolat diinokulasikan ke dalam erlenmeyer berisi media *Tryptic Soy Broth* (TSB) *Half-Strength* yang diperkaya dengan L-Triptofan. Erlenmeyer kemudian ditutup plastik hitam dan diinkubasi di *shaker incubator* kecepatan 150 rpm suhu ruang. Sebanyak 4 mL kultur diambil dan disentrifugasi dengan kecepatan 8000 rpm selama 10 menit. Supernatan sebanyak 0,5 mL diambil lalu ditambahkan 1 mL reagen Salkowski kemudian diinkubasi di ruang gelap selama 30 menit. Absorbansi sampel diukur dengan panjang

530 nm dan penentuan konsentrasi IAA menggunakan kurva standar. Pengambilan sampel dilakukan pada inkubasi ke 0, 24, 48 dan 72 jam (Patten dan Glick, 2002).

Uji antagonisme isolat terseleksi dengan jamur patogen *Fusarium oxysporum*

Uji antagonisme menggunakan modifikasi dari metode Bivi et al., (2010). Jamur patogen *F. oxysporum* ditumbuhkan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan diinkubasi pada suhu ruang. Pada hari inkubasi kelima jamur (*agar disc*) yang telah tumbuh diambil untuk selanjutnya diinokulasikan pada media NA. Satu ose isolat bakteri terseleksi kemudian ditumbuhkan dengan cara inokulasi titik di samping kanan dan kiri *agar disc* jamur. Jamur yang mengalami penghambatan pertumbuhan oleh isolat bakteri kemudian diamati dan dicatat

Analisis kimia tanah

Sampel tanah dari lahan pertanian cabai organik dan konvensional dilakukan analisa kimia tanah di Laboratorium Ekologi Bidang Botani Pusat Penelitian Biologi-LIPI. Persentase C dan N diukur menggunakan *CN Analyzer*, P menggunakan spektrofotometer dan K dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

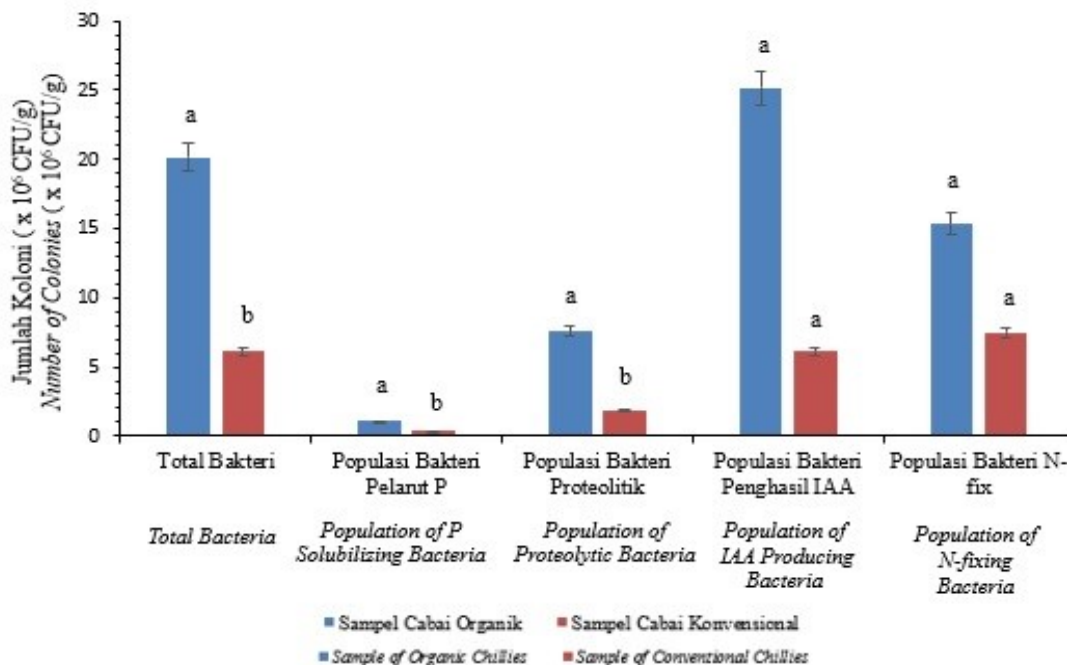
Analisis statistik

Penelitian ini dilakukan secara eksploratif dengan analisis statistik uji t (*t-test independent sample test*) menggunakan *software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) v.25.0* yang membandingkan antara parameter populasi mikroba, enzim PME-ase, enzim urease dan respirasi kelompok sampel pertanian organik dan pertanian konvensional. Berbeda signifikan antara kelompok sampel pertanian organik dan konvensional ditunjukkan ketika nilai $P < 0,05$.

HASIL

Populasi bakteri

Populasi bakteri baik total bakteri dan bakteri yang tumbuh di media selektif RPPT (pelarut P, Proteolitik, penghasil IAA dan penambat N) dihitung berdasarkan metode *Total Plate Count* (TPC) dengan satuan CFU/ g sampel. Secara umum jumlah koloni bakteri dari sampel lahan pertanian cabai organik lebih tinggi dibandingkan konvensional. Kelimpahan populasi bakteri penghasil IAA dari sampel lahan cabai organik merupakan jumlah koloni bakteri paling tinggi yaitu $25,15 \times 10^6$ CFU/g. Kelimpahan populasi bakteri di lahan pertanian cabai organik secara berturut-turut adalah total bakteri $20,13 \times 10^6$ CFU/g; populasi bakteri pelarut P $1,06 \times 10^6$ CFU/g;



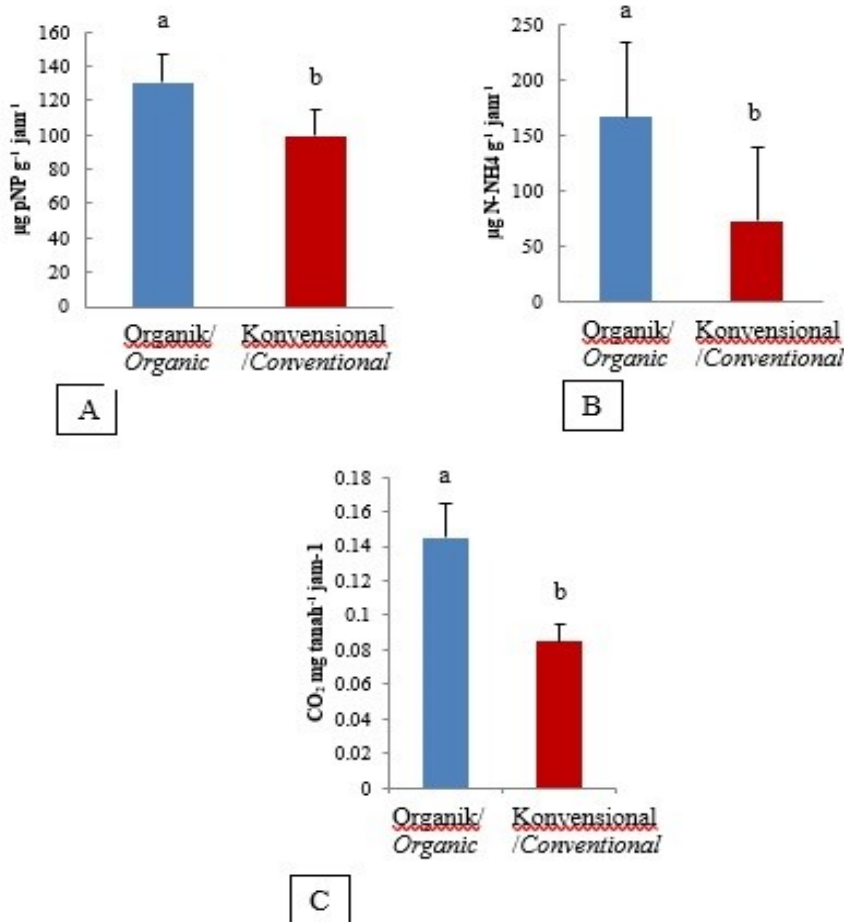
Gambar 2. Populasi bakteri lahan pertanian cabai organik dan konvensional (*Bacterial population of organic and conventional chili farming*)

Keterangan : Huruf yang berbeda dalam satu kelompok menunjukkan berbeda signifikan secara statistik $P < 0,05$ (Note : Different letters in one group showed a statistically significant difference $P < 0.05$)

populasi bakteri proteolitik $7,5 \times 10^6$ CFU/g; populasi bakteri penghasil IAA $25,15 \times 10^6$ CFU/g dan populasi bakteri penambat N $15,34 \times 10^6$ CFU/g. Pada sampel lahan pertanian cabai konvensional kelimpahan populasi bakteri secara berturut-turut adalah total bakteri $6,13 \times 10^6$ CFU/g; populasi bakteri pelarut P $0,34 \times 10^6$ CFU/g; populasi bakteri proteolitik $1,87 \times 10^6$ CFU/g; populasi bakteri penghasil IAA $6,08 \times 10^6$ dan populasi bakteri penambat N $7,46 \times 10^6$ CFU/g. Populasi bakteri pada tiga kelompok yaitu total bakteri, bakteri pelarut P dan bakteri proteolitik menunjukkan perbedaan yang signifikan antara lahan pertanian cabai organik dan konvensional. Pada dua kelompok bakteri penghasil IAA dan penambat N populasinya tidak menunjukkan perbedaan signifikan antara lahan pertanian cabai organik dan konvensional.

Aktivitas Enzim dan Respirasi Tanah

Aktivitas enzim dan respirasi tanah diukur dari sembilan titik sampling pada masing-masing lahan cabai organik dan konvensional. Berdasarkan rerata aktivitas PME-ase, sampel tanah lahan pertanian cabai organik menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan lahan cabai konvensional. Aktivitas PME-ase pada sampel lahan cabai organik yaitu $130,73 \pm 17,17 \mu\text{g pNP g}^{-1}\text{jam}^{-1}$ dan pada sampel lahan cabai konvensional yaitu $99,67 \pm 15,76 \mu\text{g pNP g}^{-1}\text{jam}^{-1}$. Hasil statistik dari kedua kelompok berdasarkan aktivitas PME-ase menunjukkan perbedaan signifikan antara lahan cabai organik dan konvensional. Hasil pengukuran aktivitas enzim urease menunjukkan rerata dari sampel lahan pertanian cabai organik lebih tinggi dibandingkan konvensional. Aktivitas urease pada lahan pertanian cabai organik yaitu $165,65 \pm 72,56 \mu\text{g N-NH}_4 \text{g}^{-1}\text{jam}^{-1}$ sedangkan pada lahan pertanian cabai konvensional yaitu $82,72 \pm 67,37 \mu\text{g N-NH}_4 \text{g}^{-1}\text{jam}^{-1}$. Berdasarkan analisis statistik per-



Gambar 3. Aktivitas A.) Enzim PME-ase, B.) Enzim Urease dan C.) Respirasi Mikroba Tanah (*Activity of A.) PME-ase Enzyme, B.) Urease Enzyme and C.) Soil Microbial Respiration*) Keterangan : Huruf yang berbeda antara dua kelompok menunjukkan berbeda signifikan secara statistik $P < 0,05$. (Note : Different letters between the two groups showed a statistically significant difference $P < 0.05$).

bandingan nilai rerata aktivitas urease antara lahan pertanian cabai organik dan konvensional menunjukkan perbedaan signifikan ($P < 0,05$). Pada sampel lahan pertanian cabai organik aktivitas respirasi mikroba tanah lebih tinggi dibandingkan lahan pertanian cabai konvensional. Respirasi tanah pada lahan pertanian cabai organik yaitu $0,14 \pm 0,02$ mg CO_2 tanah⁻¹ jam⁻¹ sedangkan pada lahan cabai konvensional yaitu $0,08 \pm 0,009$ mg CO_2 tanah⁻¹ jam⁻¹. Analisis statistik untuk menunjukkan perbedaan signifikan pada respirasi tanah antara kelompok lahan pertanian cabai organik dan konvensional ($P < 0,05$).

Potensi isolat bakteri sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan biokontrol

Uji aktivitas RPPT secara kuantitatif meliputi aktivitas pelarut fosfat dan penghasil hormon tumbuh IAA. Pada uji aktivitas kemampuan

pelarutan fosfat secara kuantitatif dipilih masing-masing empat isolat pada setiap kelompok sampel lahan pertanian cabai organik dan konvensional. Total delapan isolat tersebut adalah yang mampu menghasilkan zona jernih pada media Pikovskaya. Isolat yang dipilih memiliki diameter zona jernih > 0,4 cm. Berdasarkan hasil uji kuantitatif yang dilakukan aktivitas kemampuan pelarutan P paling tinggi ada pada isolat SO.9A.1 yaitu 960 ppm yang diisolasi dari sampel lahan cabai organik. Isolat dengan kemampuan pelarutan paling rendah adalah SK.1A.1 (lahan cabai konvensional) dan SO.5G (lahan cabai organik) yaitu 226,67 ppm. Perubahan pH medium selama masa inkubasi terjadi di semua isolat yang diuji. Perubahan pH medium yang paling besar terjadi pada isolat SO.9A.1 yaitu sebesar 11,64 %. Jumlah koloni bakteri pada seluruh isolat saat akhir masa inkubasi meningkat rata-rata 120 kali lipat dibandingkan awal inkubasi.

Tabel 1. Hasil analisis aktivitas pelarutan fosfat (*Result of analysis P solubilization acitivity*)

Isolat* <i>Isolate</i>	Aktivitas Pelarutan P <i>P Solubilizing Activity</i>		Populasi Bakteri <i>Bacterial Population (CFU/ mL)</i>		pH Medium	
	Kualitatif <i>Qualitative</i> (cm)	Kuantitatif <i>Quantitative</i> (ppm)	Awal	Akhir	Awal	Awal
			Inkubasi <i>Early Incu- bation</i>	Inkubasi <i>Final Incu- bation</i>	Inkubasi <i>Early Incu- bation</i>	Inkubasi <i>Final Incu- bation</i>
SO.5A	0,55	293,33	375×10^5	58×10^7	5,91	5,88
SO.5G	1,00	226,67	$7,5 \times 10^5$	$34,5 \times 10^7$	6,25	6,06
SO.5H	0,83	326,67	$17,5 \times 10^5$	$15,2 \times 10^7$	6,20	5,98
SO.9A.1	0,85	960,00	$58,8 \times 10^5$	$4,33 \times 10^7$	6,01	5,31
SK.1A.1	0,73	226,67	120×10^5	$63,3 \times 10^7$	6,08	5,93
SK.1A.2	0,73	260,00	$63,8 \times 10^5$	$8,98 \times 10^7$	6,10	6,05
SK.4A.2	0,68	293,33	70×10^5	110×10^7	5,92	5,82
SK.4D.2	0,45	360,00	35×10^5	$76,3 \times 10^7$	6,05	5,97

*Keterangan: SO = sampel organik; SK = sampel konvensional
 *Note: SO = Organic Samples; SK = Conventional Samples

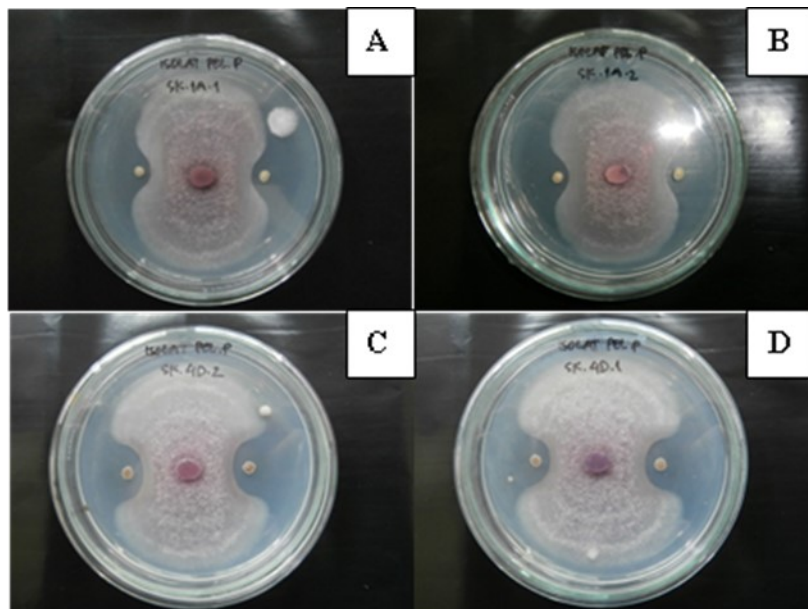
Kemampuan bakteri dalam menghasilkan hormon tumbuh (IAA) diketahui dengan penapisan awal (kualitatif) yaitu menumbuhkan isolat di media *Tryptic Soy Agar* (TSA) yang telah diperkaya dengan *L-Tryptophan*. Isolat yang menghasilkan warna merah muda disekeliling koloninya setelah ditetesi reagen Salkowski dikelompokkan berdasarkan kepekatan warna. Isolat yang menghasilkan warna merah muda yang pekat dipilih untuk pengujian kuantitatif. Dipilih tiga

isolat dari sampel lahan cabai organik dan dua isolat dari lahan cabai konvensional. Berdasarkan hasil pengujian kuantitatif isolat SO.21.1 yang diisolasi dari sampel lahan cabai organik mampu menghasilkan IAA dengan konsentrasi tertinggi yaitu 8,61 ppm dalam waktu inkubasi 48 jam. Isolat dengan konsentrasi IAA paling rendah yaitu SK.5D.1a. yaitu 5,87 (inkubasi 48 jam) ppm yang diisolasi dari lahan pertanian cabai konvensional.

Tabel 2. Hasil Analisis Kuantitatif IAA (*IAA Quantitative Analysis Results*)

Isolat* <i>Isolates</i>	Konsentrasi IAA (ppm) <i>IAA Concentration (ppm)</i>		
	0 jam	24 jam	48 jam
SO.21.1	2,40	4,59	8,61
SO.6I.2a	2,00	4,11	7,83
SO.6I.2b	1,97	3,84	7,64
SK.1H	1,93	4,31	7,95
SK.5D.1a	1,97	3,39	5,87

*Keterangan: SO = sampel organik; SK = sampel konvensional (**Note: SO = Organic Samples; SK = Conventional Samples*)



Gambar 4. Uji antagonisme antara isolat bakteri terseleksi dengan jamur patogen *Fusarium oxysporum*. (*Antagonism test between selected bacterial isolates and plant pathogenic fungi Fusarium oxysporum*).

Selain uji kemampuan isolat untuk melarutkan fosfat dan menghasilkan IAA dilakukan juga pengujian lain yaitu antagonisme dengan jamur patogen tanaman. Sebelum pengujian antagonisme terlebih dahulu dilakukan karakterisasi kemampuan menghasilkan enzim protease secara kualitatif. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa terdapat empat isolat yang cukup baik dalam menghasilkan zona jernih. Zona jernih dapat

mengindikasikan kemampuan menghasilkan enzim protease atau proteolitik. Keempat isolat tersebut yaitu SK.1A.1, SK.1A.2, SK.4D.1 dan SK.4D.2. Berdasarkan uji kemampuan proteolitik selanjutnya dilakukan uji antagonisme dengan patogen tanaman. Keempat isolat menunjukkan kemampuan untuk menghambat pertumbuhan patogen tanaman

Tabel 3. Hasil Analisis Kimia Tanah Lahan Cabai Organik dan Konvensional (*Result of Soil Chemical Analysis of Organic and Conventional Chilies*)

No	Sampel*	C (%)	N (%)	C/N	P (%)	K (%)
No	Samples*	C (%)	N (%)	C/N	P (%)	K (%)
1	K1	4,55	0,72	6,34	0,41	0,46
2	K2	4,60	0,70	6,53	0,35	0,40
3	K3	4,68	0,72	6,49	0,33	0,37
4	O1	5,86	0,68	8,60	1,05	0,21
5	O2	6,39	0,74	8,62	1,46	0,21
6	O3	5,97	0,68	8,82	1,04	0,22

Keterangan : K = Konvensional, O = Organik (*Note: SO = Organic Samples; SK = Conventional Samples*)

Sifat kimia tanah

Analisis kimia tanah dari sampel lahan pertanian cabai organik menunjukkan kadar C, N, C/N dan P persentase yang lebih tinggi dibandingkan sampel lahan pertanian cabai konvensional. Terkecuali persentase kadar K pada sampel lahan pertanian cabai konvensional lebih tinggi dibandingkan organik.

PEMBAHASAN

Populasi bakteri

Populasi dan aktivitas mikroba tanah dapat dijadikan sebagai salah satu parameter dalam evaluasi kualitas tanah. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Valdez-Nuñez *et al.*, 2019), yang menyimpulkan bahwa indikator mikrobiologi seperti populasi mikroba dan aktivitasnya dapat menggambarkan kualitas tanah pada dua ekosistem. Mikroba tanah sangat berperan dalam daur biogeokimia yang dapat menyediakan unsur hara bagi tanaman. Pada Gambar 2. menunjukkan populasi bakteri pada sampel lahan cabai organik lebih tinggi dibandingkan sampel lahan cabai konvensional. Hal tersebut seperti apa yang didapatkan oleh (Nakhro dan Dkhar, 2010) bahwa populasi bakteri fungsional pada tanah sistem pertanian organik lebih tinggi jika dibandingkan populasi bakteri pada sistem pertanian konvensional. Populasi bakteri yang lebih tinggi pada lahan organik cabai diduga kuat karena adanya penambahan bahan-bahan organik yang digunakan sebagai sumber nutrisi untuk perkembangan bakteri dalam tanah. Penggunaan bahan agrokimia yang berlebihan dapat menurunkan kandungan C organik di dalam tanah sehingga dapat berdampak pada populasi bakteri di dalamnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Khulillah *et al.*, 2019) dan (Sulistinah *et al.*, 2011) menjelaskan bahwa populasi mikroba cenderung lebih rendah pada tanah yang menerima paparan fungisida dan pestisida selain itu penambahan bahan organik pada tanah yang terpapar tersebut

dapat meningkatkan populasi mikroba secara signifikan. Sistem pertanian organik yang menggunakan agen hayati berupa mikroba kelompok RPPT dapat membantu meningkatkan kesuburan tanaman melalui proses penyerapan nutrisi. Dalam penelitian (Castillo-Aguilar *et al.*, 2017), perlakuan menggunakan mikroba dapat meningkatkan serapan unsur hara N, P dan K. Berdasarkan parameter populasi bakteri pada penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. dan didukung oleh penelitian sebelumnya dapat dijelaskan bahwa dampak penggunaan bahan agrokimia baik itu penggunaan pupuk kimia, pestisida atau fungisida yang berlebihan dapat menurunkan populasi mikroba sehingga menyebabkan penurunan kesuburan tanah.

Aktivitas enzim respirasi dan kimia tanah

Penerapan sistem pertanian organik dan konvensional selain mempengaruhi populasi mikroba juga menyebabkan perbedaan aktivitas enzim tanah. Aktivitas enzim tanah menjadi parameter penting dalam menentukan kesehatan atau kesuburan tanah karena berperan sebagai deteksi dini akibat perubahan yang terjadi di dalam tanah baik itu penggunaan atau pengolahan tanah (Rao *et al.*, 2017). Enzim tanah berperan sebagai biokatalis proses degradasi bahan organik, mineralisasi dan siklus unsur hara (Selvakumar *et al.*, 2018). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3A berdasarkan hasil yang diperoleh aktivitas PME-ase pada sampel lahan cabai organik lebih tinggi dan berbeda signifikan dibandingkan sampel lahan cabai konvensional. Mineralisasi fosfat organik melibatkan peran mikroba tanah melalui produksi enzim *phosphatase* seperti *phosphatase* asam dan basa. Beberapa enzim *phosphatase* seperti *phosphomonoesterase*, *phosphodiesterase*, *triphosphomonoesterase* dan *phosphoamidase* pada umumnya terdapat di dalam tanah. Enzim-enzim tersebut bertanggung jawab pada proses hidrolisis P organik menjadi fosfat anorganik ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) yang tersedia

bagi tanaman (Pang, 1986; Mearyard, 1999; Lal, 2002). Pada sistem pertanian organik yang diterapkan memungkinkan mikroba yang digunakan dapat menyediakan unsur hara termasuk P. Penelitian yang dilakukan oleh (Fitriatin *et al.*, 2009), mengemukakan bahwa bakteri pelarut fosfat yang diaplikasikan sebagai pupuk hayati dapat meningkatkan aktivitas enzim *phosphatase* di dalam tanah secara signifikan dibandingkan dengan tanah yang tidak diaplikasi. Tingginya aktivitas enzim urease pada lahan pertanaman cabai sistem organik seperti ditunjukkan pada Gambar 3B diduga karena populasi bakteri penambat N pada sampel tanah organik lebih tinggi. Selain itu aktivitas respirasi pada sampel tersebut yang lebih tinggi juga berperan dalam peningkatan aktivitas urease. Seperti dijelaskan (Tisdale *et al.*, 1985), aktivitas urease meningkat seiring dengan meningkatnya populasi mikroba dan respirasi tanah. Rendahnya nilai aktivitas enzim urease pada sampel tanah sistem pertanian konvensional diduga karena terganggunya siklus hidup mikroba tanah akibat paparan bahan agrokimia yang berlebihan. Aktivitas urease tidak baik ketika ketersediaan organisme tanah terganggu (Nadgorska-Socha *et al.*, 2006), dan (Saliha *et al.*, 2005), menegaskan bahwa aktivitas urease terus meningkat seiring dengan penambahan populasi mikroba tanah dengan cara penambahan substrat organik cair.

Aktivitas respirasi mikroba tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3C menunjukkan bahwa sampel lahan cabai organik lebih tinggi dan berbeda signifikan dibandingkan sampel tanah lahan cabai konvensional. Hal ini memperlihatkan bahwa populasi mikroba pada sampel lahan cabai organik memang lebih tinggi dibandingkan lahan cabai konvensional seperti yang ditunjukkan pada parameter populasi mikroba tanah. Meningkatnya aktivitas respirasi mikroba tanah dan enzim-enzim tanah menunjukkan proses perbaikan sifat biokimia tanah (Antonius *et al.*, 2007). Pertanian organik pada umumnya dicirikan dengan penggunaan pupuk organik berbasis proses fermentasi limbah organik (sumber karbon organik tanah) dan kotoran hewan. Sejalan dengan praktek organik tersebut dapat dilihat bahwa hasil analisis sifat kimia tanah menunjukkan bahwa persentase kandungan C nya lebih tinggi dan N yang lebih rendah maka otomatis C/N menjadi lebih tinggi. Demikian juga kandungan P pada tanah tanaman cabai organik lebih tinggi, berbeda dengan kandungan K pada tanah pertanian konvensional lebih tinggi di bandingkan dengan tanaman cabai organik.

Potensi isolat bakteri sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan biokontrol

Isolat bakteri yang diisolasi dari sampel tanah lahan pertanian cabai organik dan konvensional

dikarakterisasi berdasarkan kemampuan untuk memacu pertumbuhan tanaman terutama pelarutan P dan produksi hormon tumbuh IAA. Terdapat total delapan isolat yang memiliki kemampuan pelarutan P paling tinggi berdasarkan uji kualitatif. Selanjutnya dilakukan uji kuantitatif kemampuan pelarutan P dengan aktivitas seperti yang terdapat pada Tabel 1. Menurut (Fankem *et al.*, 2006), aktivitas pelarutan fosfat pada media padat dan cair tidak mutlak sama. Pengamatan zona bening tidak cukup untuk menentukan kemampuan pelarutan fosfat, namun metode ini umumnya digunakan dalam isolasi dan karakterisasi awal bakteri pelarut fosfat. Selama masa inkubasi populasi bakteri semakin bertambah, hal ini di jelaskan (Lestari *et al.*, 2011), bahwa selama inkubasi bakteri mengalami pertumbuhan. Perbedaan jumlah sel bakteri selama inkubasi dikarenakan adanya perbedaan kemampuan tumbuh dari tiap jenis bakteri dan daya adaptasi dengan medium pertumbuhannya. Peningkatan kadar fosfat terlarut diduga karena adanya penurunan pH pada medium. Menurut (Dewanti *et al.*, 2016), aktivitas bakteri pelarut fosfat digolongkan dalam dua kelompok pH optimum enzim yaitu asam dan basa. Kemasaman atau pH sangat mempengaruhi aktivitas *phosphatase*. Perubahan pH pada medium pertumbuhan ini dijelaskan oleh (Sharma *et al.*, 2011), bahwa mekanisme bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan fosfat selain dengan produksi asam organik (asam glukonat dan keto glukonat) adalah menurunkan pH melalui keseimbangan anion dan kation serta pertukaran gas CO₂ dan O₂.

Bakteri yang mampu menghasilkan IAA diuji secara kualitatif menggunakan reagen Salkowski (Gordon dan Weber, 1951). Adanya perubahan warna pada isolat bakteri setelah ditetesi reagen Salkowski menjadi berwarna merah muda, karena adanya interaksi antara IAA dan Fe membentuk senyawa kompleks $[Fe_2(OH)_2(IAA)_4]$. Warna merah muda yang semakin pekat menunjukkan konsentrasi IAA yang dihasilkan bakteri semakin tinggi (Kovacs, 2009). Peningkatan konsentrasi IAA pada waktu 48 jam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. diduga karena pada saat itu, pertumbuhan sel pada akhir fase log menuju fase stasioner. Dijelaskan oleh (Wahyudi *et al.*, 2011), bahwa kadar atau konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh bakteri akan semakin tinggi pada saat fase stasioner. Produksi IAA meningkat pada saat kondisi pertumbuhan bakteri menurun, ketersediaan karbon yang terbatas dan terjadi dalam kondisi pH asam (Ona *et al.*, 2005).

Berdasarkan pengamatan hasil analisis biokontrol, isolat bakteri SK.1A.1, SK.1A.2, SK.4D.1 dan SK.4D.2 dapat menghambat pertumbuhan patogen *Fusarium oxysporum* (Gambar 4). Penghambatan pertumbuhan

F. oxysporum oleh bakteri biokontrol dilakukan melalui mekanisme kompetisi nutrisi, oksigen dan habitat; sintesis enzim hidrolase, seperti kitinase, protease, dan β -1-3 glucanase, serta ekskresi senyawa antibiotik atau senyawa anti cendawan lainnya (De Azeredo *et al.*, 2004; Nourozian *et al.*, 2006; Rodas-Junco *et al.*, 2009 dalam Agustiyani *et al.*, 2014). Analisis aktivitas enzim protease bakteri secara kualitatif dilakukan dengan menumbuhkan isolat bakteri pada medium *skim milk agar* yang mengandung protein berupa kasein, yaitu protein susu yang tidak bersifat permeable terhadap sistem transportasi sel mikroorganisme. Oleh karena itu, mikroorganisme menghasilkan protease ekstraseluler agar dapat menghidrolisis kasein menjadi asam amino, mentransportasikannya masuk ke dalam sel, dan menggunakannya di dalam sel (Harley dan Prescott, 2002).

KESIMPULAN

Populasi bakteri dan sifat biokimia tanah yang meliputi parameter aktivitas respirasi, enzim fosfomonoesterase dan urease pada tanah pertanian cabai organik lebih tinggi dibandingkan tanah pertanian cabai konvensional. Kandungan C organik, rasio C/N dan P pada tanah pertanian cabai organik lebih tinggi di bandingkan dengan konvensional. Berdasarkan parameter tersebut kualitas kesehatan tanah pada lahan pertanian cabai organik lebih baik dibandingkan konvensional. Oleh karena itu sistem pertanian organik lebih direkomendasikan untuk menjaga keberlanjutan hasil produksi pertanian. Aktivitas RPPT (kuantitatif) untuk kemampuan pelarutan P tertinggi yaitu pelarutan fosfat 960 ppm sedangkan aktivitas bakteri penghasil IAA tertinggi yaitu 13,54 ppm. Didapatkan empat isolat kandidat agen biokontrol dari bakteri tanah pertanian konvensional. Potensi aktivitas pelarutan P, penghasil IAA dan biokontrol pada isolat terpilih selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai kandidat pupuk organik hayati.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari kegiatan DIPA tematik Pusat Penelitian Biologi LIPI tahun anggaran 2017 dan Kegiatan RISPRO MANDATORI PRN-LPDP Tahun 2020. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dekan Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman dan Kepala Pusat Penelitian Biologi LIPI yang telah memberikan ijin untuk pelaksanaan penelitian bersama.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiyani, D., Nditasari, A., Laili, N. dan Antonius, S., 2014. Penapisan dan identifikasi bakteri agens biokontrol penyakit layu fusarium hasil isolasi dari rizosfer Pisang. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 10(1), pp. 23–30. <https://doi.org/10.14692/jfi.10.1.23>
- Ahmad, F., Ahmad, I. and Khan, M.S., 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163(2), pp. 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.04.001>
- Alloway, B.J., 1995. *Heavy Metals in Soil* (2nd ed.). Blackie Academic and Professional.
- Anti, M.W., Oedjijono, O. and Proklamaşiningsih, E., 2020. Inoculation of rhizobacteria to red chili plant (*Capsicum annum* L.) in saline sandy soil. *Bioeksakta : Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(2), pp. 261. <https://doi.org/10.20884/1.bioe.2020.2.2.2140>
- Antonius, S., Agustiyani, D., Rahmansyah, M. and Martono, B., 2007. Development of sustainable agriculture: Soil microorganisms enzymatic activity of organic farming on jabopuncur Catchment's Area treated with agricultural wastes as biofertilizer. In A.P. Nugroho (Ed.), *Contribution Towards a Better Human Prosperity. Proceedings of the International Conference on Biological Sciences Faculty of Biology-UGM. Yogyakarta -Indonesia* (pp. 340–341).
- Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadi-moghaddam, M. and Mahvi, A.H., 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1–4), pp. 83–89. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0659-x>
- Aziz, M.A., Hazra, F., Salma, S. and Nursyamsi, D., 2018. Soil enzyme activities and their relationship to total soil bacteria, soil microbial biomass and soil chemical characteristics of organic and conventional farming. *Journal of Tropical Soils*, 23(3), pp. 133–141. <https://doi.org/10.5400/jts.2018.v23i3.%p>
- Aziz, M. A., Hazra, F., Salma, S. and Nursyamsi, D.N., 2016. Soil chemical characteristics of organic and conventional agriculture. *Journal of Tropical Soils*, 21(1), pp. 19–25. <https://doi.org/10.5400/jts.2016.v21i1.19-25>
- Bivi, M.R., Farhana, M.S., Khairulmazmi, A. and Idris, A., 2010. Control of ganoderma boninense: A causal agent of basal stem rot disease in oil palm with endophyte bacteria in vitro. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(6), pp. 833–839.

- Cappuccino, J.G. and Sherman, N., 2004. Microbiology a laboratory manual. In *Pearson* (10th ed.).
- Castillo-Aguilar, C. de la C., Zuniga-Aguilar, J.J., Guzman-Antonio, A. and Garruna, R., 2017. PGPR inoculation improves growth, nutrient uptake and physiological parameters of *Capsicum chinense* plants. *Phyton*, 86(1), pp. 199–204. <https://doi.org/10.32604/phyton.2017.86.199>
- Chai, R., Ye, X., Ma, C., Wang, Q., Tu, R., Zhang, L. and Gao, H., 2019. Greenhouse gas emissions from synthetic nitrogen manufacture and fertilization for main upland crops in China. *Carbon Balance and Management*, 14 (1), pp. 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0133-9>
- Chandini, Kumar, R., Kumar, R. and Prakash, O., 2019. The impact of chemical fertilizers on our environment and ecosystem. *Research Trends in Environmental Sciences*, February, pp. 69–86.
- Cordero, I., Snell, H. and Bardgett, R.D., 2019. High throughput method for measuring urease activity in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 134(January), pp. 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.014>
- Darmadji., 2011. Analisis kinerja usahatani padi dengan metode system of rice intensification (SRI) di Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Widya Agrika*, 9(3), pp. 1–18.
- De Azeredo, L.A.I., Freire, D.M.G., Soares, R.M. A., Leite, S.G.F. and Coelho, R.R.R., 2004. Production and partial characterization of thermophilic proteases from *Streptomyces* sp. isolated from Brazilian cerrado soil. *Enzyme and Microbial Technology*, 34(3–4), pp. 354–358. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2003.11.015>
- Dewanti, A.W., Pratiwi, E. dan Nuraini, Y., 2016. Viabilitas dan aktivitas enzim fosfatase serta produksi asam organik bakteri pelarut fosfat pada beberapa suhu simpan. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 3(1), pp. 311–318. <https://jtsl.ub.ac.id/index.php/jtsl/article/view/143>
- Fankem, H., Nwaga, D., Deubel, A., Dieng, L., Merbach, W. and Etoa, F.X., 2006. Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African Journal of Biotechnology*. <https://doi.org/10.4314/ajb.v5i24.56044>
- Farhadinejad, T., Khakzad, A., Jafari, M., Shoaee, Z., Khosrotehrani, K., Nobari, R. and Shahrokhi, V., 2014. The study of environmental effects of chemical fertilizers and domestic sewage on water quality of Taft region, Central Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), pp. 221–229. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0717-0>
- Fitriatin, B.N., Yuniarti, A., Mulyani, O., Fauziah, F.S. dan Tiara, M.D., 2009. Pengaruh mikroba pelarut fosfat dan pupuk P terhadap P tersedia, aktivitas fosfatase, P tanaman dan hasil padi gogo (*Oryza sativa*. L.) pada Ultisol. *Agrikultura*, 20(3). <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v20i3.961>
- González, M.G., Gallardo, J.F., Gómez, E., Masciandro, G., Ceccanti, B. and Pajares, S., 2007. Potential universal applicability of soil bioindicators: Evaluation in three temperate ecosystems. *Ciencia Del Suelo*, 25(2).
- Gordon, S. A. and Weber, R.P., 1951. Colorimetric estimation of indoleacetic acid. *Plant Physiology*, 26(1), pp. 192–195. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90514-5](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90514-5)
- Harley, J.P. and Prescott, L.M., 2002. Harley-Prescott: Laboratory exercise in microbiology, Fifth Edition. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Ilham, Darmayasa, I.B.G., Nurjaya, I.G.M.O. dan Kawuri, R., 2014. Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat potensial pada tanah konvensional dan tanah organik. *Simbiosis*, 2 (1), pp. 173–183. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/simbiosis/article/view/9499>
- Joko, T., Anggoro, S., Sunoko, H.R. and Rachmawati, S., 2017. Pesticides usage in the soil quality degradation potential in Wanasari Subdistrict, Brebes, Indonesia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5896191>
- Kandeler, E., 1996. Enzymes involved in nitrogen metabolism : Urease activity by colorimetric. In Fransz Schinner, E. Kandeler, R. Ohlinger. and R. Margesin. eds. *Methods in Soil Biology* (pp. 171–174). Springer-Verlag.
- Khulillah, I.N., Abadi, A.L. dan Aini, L.Q., 2019. Pengaruh fungisida terhadap keanekaragaman bakteri tanah di Kota Batu. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 6(2), pp. 1209–1218. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2019.006.2.1>
- Komarawidjaja, W., 2011. Dampak budidaya pertanian intensif terhadap kualitas air permukaan Desa Kanigoro Kecamatan Ngablak Kabupaten Magelang. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(1), pp. 75–84.
- Kovacs, K., 2009. *Applications of mössbauer spectroscopy in plant physiology*.
- Legaspi, J.C., Gardner, C., Queeley, G., Leppla, N., Cuda, J. and Legaspi, B.C., 2007. Effect of organic and chemical fertilizers on growth and yield of hot pepper, and insect pests and their natural enemies. *Subtropical Plant Science*, 59, pp. 75–84.

- Lestari, A.P., 2009. Pengembangan pertanian berkelanjutan melalui substitusi pupuk anorganik dengan pupuk organik. *Agronomi*, 13 (1), pp. 38–44. <https://adoc.pub/pengembangan-pertanian-berkelanjutan-melalui-substitusi-pupuk.html>
- Lestari, W., Linda, M. dan Martina, A., 2011. Kemampuan bakteri pelarut fosfat isolat asal sei garo dalam penyediaan fosfat terlarut dan serapannya pada tanaman kedelai (Capability of Phosphate Solubilizing Bacteria from Sei Garo in Soluble Phosphate and its Uptake by Soybean). *Biospecies*, 4(2), pp. 15.
- Lin, W., Lin, M., Zhou, H., Wu, H., Li, Z. and Lin, W., 2019. The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. *PLoS ONE*, 14(5), pp. 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217018>
- Lloyd, A.B. and Sheaffe, M.J., 1973. Urease activity in soils. *Plant and Soil*, 39(1), pp. 71–80. <https://doi.org/10.1007/BF00018046>
- Malahayati, N. dan Puspitasari, D.A., 2020. *Distribusi Perdagangan Komoditas Cabai Merah Indonesia 2020*.
- Margesin, R., 1996. Enzymes involved in phosphorus metabolisms : Acid and alkaline *phosphomonoesterase* activity with the substrate *p-Nitrophenyl Phosphate*. In Franz Schinner, E. Kandeler, R. Ohlinger, and R. Margesin (Eds.), *Methods in Soil Biology* (pp. 213–217). Springer-Verlag.
- Mazzei, L., Musiani, F. and Ciurli, S., 2020. The structure-based reaction mechanism of urease, a nickel dependent enzyme: tale of a long debate. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 25 (6), pp. 829–845. <https://doi.org/10.1007/s00775-020-01808-w>
- Nadgorska-Socha, A., Lukasik, I., Ciepala, R. and Pomierny, S., 2006. Activity of selected enzymes in soil loaded with varied levels of heavy metals. *Acta Agrophysica*, 8(3), pp. 713–725.
- Nakhro, N. and Dkhar, M.S., 2010. Impact of organic and inorganic fertilizers on microbial populations and biomass carbon in paddy field soil. *Journal of Agronomy*, 9(3), pp. 102–110. <https://doi.org/10.3923/ja.2010.102.110>
- Ni, M., Wu, Q., Wang, J., Liu, W.C., Ren, J.H., Zhang, D.P., Zhao, J., Liu, D.E.W., Rao, Y.H. and Lu, C.G., 2018. Identification and comprehensive evaluation of a novel biocontrol agent *Bacillus atrophaeus* JZB120050. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 53(12), pp. 777–785. <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1505072>
- Nourozian, J., Etebarian, H.R. and Khodakaramian, G., 2006. Biological control of fusarium graminearum on wheat by antagonistic bacteria. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*, 28(SUPPL. 1), pp. 29–38.
- Nurvitasari, M.E., Suwandari, A. dan Suciati, L.P., 2018. Dinamika perkembangan harga komoditas cabai merah (*Capsicum annuum* L), di Kabupaten Jember. *JSEP (Journal of Social and Agricultural Economics)*, 11(1), pp. 1. <https://doi.org/10.19184/jsep.v11i3.5802>
- Ohlinger, R., 1996. Soil respiration: Soil respiration by titration. In Franz Schinner, E. Kandeler, R. Ohlinger. and R. Margesin (Eds.), *Methods in Soil Biology* (pp. 95–98). Springer-Verlag.
- Ona, O., Van Impe, J., Prinsen, E. and Vanderleyden, J., 2005. Growth and indole-3-acetic acid biosynthesis of *Azospirillum brasilense* Sp245 is environmentally controlled. *FEMS Microbiology Letters*, 246(1), pp. 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.03.048>
- Ongley, E.D., 1996. *Control of water pollution from agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, PP-Roma :
- Panjaitan, E., Sidauruk, L., Indradewa, D., Martono, E. and Sartohadi, J., 2020. Impact of agriculture on water pollution in Deli Serdang Regency, North Sumatra Province, Indonesia. *Organic Agriculture*, 10(4), pp. 419–427. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00282-7>
- Patten, C.L. and Glick, B.R., 2002. Role of pseudomonas putida indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (8), pp. 3795–3801. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>
- Pikovskaya, R.I., 1948. Mobilization of phosphorus in soil in connection with vital activity of some microbial species. *Mikrobiologiya*, 17, pp. 362–370.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian., 2020. Outlook cabai - komoditas pertanian subsektor hortikultura. In *pusat data dan sistem informasi pertanian*. <http://epublikasi.pertanian.go.id/download/file/536-outlook-cabai-2019>
- Rahmansyah, M., Antonius, S. and Sulistinah, N., 2009. Phosphatase and urease instability caused by pesticides present in soil improved by grounded rice straw. *ARN Journal of Agricultural and Biological Science*, 4(2), pp. 56–62. http://www.arnjournals.com/jabs/research_papers/rp_2009/jabs_0309_121.pdf
- Rao, C.S., Grover, M., Kundu, S. and Desai, S., 2017. Soil enzymes. In *Encyclopedia of Soil Science, Third Edition* (Issue November, pp. 2100–2107). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.1081/e-ess3-120052906>

- Rejsek, K., Vranova, V., Pavelka, M. and Formanek, P., 2012. Acid phosphomonoesterase (E.C. 3.1.3.2) location in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(2), pp. 196–211. <https://doi.org/10.1002/jpln.201000139>
- Rencana Strategis Kementerian Pertanian Tahun 2020-2024, Pub. L. No. 259/Kpts/RC.020/M/05/2020 (2020).
- Rodas-Junco, B., Magana Sevilla, H., Tun Suarez, J. and Reyes Ramirez, A., 2009. Antifungal activity in vitro of *Native Bacillus* sp. Strains against macrophomina phaseolina (Tassi) goid. *In Research Journal of Biological Sciences* (Vol. 4, Issue 9, pp. 985–989). <http://www.medwelljournals.com/fulltext/?doi=rjbsci.2009.985.989>
- Saliha, B.B., Krishnakumar, S., Saravanan, A. and Natarajan, S.K., 2005. Microbial and enzyme dynamics in distillery spentwash treated soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 1(2), pp. 166–169.
- Selvakumar, G., Yi, P.H., Lee, S.E. and Han, S.G., 2018. Influence of organic and inorganic fertilizer application on red pepper yield, soil chemical properties, and soil enzyme activities. *Horticultural Science and Technology*, 36(6), pp. 789–798. <https://doi.org/10.12972/KJHST.20180077>
- Sharma, S., Kumar, V. and Tripathi, R.B., 2011. Isolation of phosphate solubilizing microorganism (PSMs) from soil isolation of phosphate solubilizing microorganism (PSMs) from soil. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 1(2), pp. 90–95.
- Sulistinah, N., Antonius, S. dan Rahmansyah, M., 2011. Pengaruh residu pestisida terhadap pola populasi bakteri dan fungi tanah di Rumah kaca. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(1), pp. 43. <https://doi.org/10.29122/jtl.v12i1.1261>
- Uddin, M.S. and Kurosawa, K., 2011. Effect of chemical nitrogen fertilizer application on the release of arsenic from sediment to groundwater in Bangladesh. *Procedia Environmental Sciences*, 4, pp. 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.03.034>
- Utobo, E.B. and Tewari, L., 2015. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(1), pp. 147–169. https://doi.org/10.15666/aeer/1301_147169
- Valdez-Nuñez, R.A., Rojas-García, J.C. and Ríos-Ruiz, W.F., 2019. Microbiological indicators of tropical soils quality in ecosystems of the north-east area of Peru. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), pp. 217–227. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.07>
- van Loon, L.C., 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 119(3), pp. 243–254. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9165-1>
- Wahyudi, A.T., Astuti, R.P., Widyawati, A., Meryandini, A. and Nawangsih, A.A., 2011. Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting Rhizobacteria. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 3(2), pp. 34–40.
- Yang, J., Kloepper, J.W. and Ryu, C.-M., 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science*, 14(1), pp. 1–4. <https://doi.org/10.1038/458702c>