

1,2,3-propanetriol: Senyawa Metabolit Sekunder Rhizobakteri Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) yang Berpotensi Sebagai Bioelisor

1,2,3-propanetriol: A Secondary Metabolite Compound of Rice (*Oryza sativa* L.) Rhizobacteria with Potential as a Bioelisor

Tirto Wahyu Widodo¹, Mahindra Dewi Nur Aisyah¹, Trisnani Alif^{*1}, Jieni Wigi Nurefendi¹

¹Politeknik Negeri Jember

*E-mail : trisnani.alif@polije.ac.id

ABSTRACT

Rhizosphere microorganisms or Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) play an important role in plant nutrient cycling, including nutrient fixation, solubilization, and availability, as well as in the production of phytostimulants and enhancement of plant resistance to pathogenic organisms. This study aimed to identify PGPR species in the rice rhizosphere and to analyze the secondary metabolites of microorganisms with potential as elicitors. Rhizosphere soil samples of inorganic rice fields were collected from Kebonsari, while rhizosphere soil samples of organic rice fields were obtained from Sumberjambe. The observed variables included morphological characterization, Gram staining, and secondary metabolite analysis using Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS). This research employed an observational approach with descriptive data analysis by comparing PGPR populations in the rhizosphere of inorganic and organic rice plants. The results showed that three bacterial species were identified in the inorganic rice rhizosphere, namely *Azotobacter* sp., *Acetobacter* sp., and *Bacillus subtilis*. Similarly, three bacterial species were also found in the organic rice rhizosphere, namely *Bacillus aerophilus*, *Acetobacter* sp., and *Azotobacter* sp. GC-MS analysis revealed that the dominant chemical compounds in PGPR from the inorganic rice rhizosphere were acetic acid (CAS) and 2-pyrrolidinone, whereas acetic acid (CAS) and 1,2,3-propanetriol were dominant in PGPR from the organic rice rhizosphere. The compound 1,2,3-propanetriol (glycerol) has potential as an elicitor, while CAS acts as an antimicrobial compound.

Keywords: Glycerol, Microorganisms, Phytostimulator, Plant Resistance. Rhizosphere.

Disubmit: 28 Juli 2025, **Diterima:** 26 November 2026, **Disetujui :** 06 Juli 2026;

PENDAHULUAN

Rhizosfer didefinisikan sebagai daerah yang dipengaruhi oleh perakaran tanaman dan merupakan tempat yang ideal untuk pertumbuhan mikroorganisme tanah (Wisnawati et al., 2019). *Rhizobakteri* berperan penting dalam siklus hara, pertumbuhan tanaman, dan pengendali hayati terhadap patogen akar (Jufri et al., 2017). *Rhizobakteri indigenous* merupakan bakteri perakaran tanaman lokal. Pemanfaatan *rhizobakteri* pada tanaman padi menjadi salah satu alternatif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. Bakteri *rhizosfer* padi memiliki kemampuan dalam meningkatkan penyerapan hara dan pertumbuhan tanaman padi (Sukmadewi et al., 2015). Didalam *rhizosfer* padi terdapat beberapa genus bakteri yang berada di *rhizosfer* tanaman padi meliputi *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Marinococcus*, *Azotobacter* sp., *Azospirillum*,



Lisensi

Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional.

Acetobacter, dan *Burkholderia* (Semiu, 2022; Yulistiana et al., 2020). Kelompok *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. dan *Rhizobium* sp. terbukti memiliki kemampuan melarutkan fosfat dan memicu pertumbuhan tanaman (Wisdawati et al., 2019). Selain itu *rhizobacteri* padi dapat memacu ketahanan tanaman seperti meningkatkan toleransi terhadap cekaman abiotik serta pertahanan terhadap fitopatogen (Kalam et al., 2017). Oleh karena itu, bakteri tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan dan diperbanyak untuk tanaman padi, dikarenakan memiliki kemampuan adaptif yang lebih tinggi dibandingkan bakteri *rhizosfer* tanaman lainnya.

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) merupakan kelompok mikroorganisme yang mampu mengolonisasi akar tanaman, mempengaruhi pertumbuhan tanaman melalui berbagai cara baik langsung maupun tidak langsung untuk meningkatkan pertumbuhan, serta melindunginya dari penyakit atau kerusakan akibat serangan serangga (Mohanty et al., 2021). PGPR mampu merangsang pertumbuhan tanaman dengan mensintesis dan mengatur konsentrasi berbagai zat pengatur tumbuh (*biostimulan*), memfasilitasi tersedianya unsur hara esensial (*biofertilizer*), dan melindungi tanaman dari patogen tanah (*bioprotectant*) (Marom et al., 2017). Selain itu, PGPR juga menghasilkan metabolit sekunder yang di sekresikan ke tanah atau media tanam.

Metabolit sekunder yang dihasilkan PGPR dapat berperan sebagai bioelisor. Bioelisor merupakan senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan mikroorganisme yang dapat menginduksi ketahanan tanaman melalui pembentukan senyawa tertentu (Kunti Setiowati, 2021). Hasil penelitian (Hutomo, 2023), terdapat perbedaan intensitas serangan hawar daun bakteri yang signifikan antara perlakuan inokulasi isolat *rhizobacteria* dengan kontrol, dimana terjadi peningkatan ketahanan tanaman terhadap infeksi bakteri *Xoo* pada perlakuan inokulasi *rhizobacteria*.

Pemanfaatan bakteri *rhizosfer* tanaman padi yang berperan sebagai bioelisor untuk menunjang ketahanan serta produktivitas tanaman padi masih jarang ditemukan. Kajian awal mengenai senyawa metabolit sekunder yang mampu dihasilkan oleh rhizobakteri tanaman padi penting dilaksanakan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis *rhizobacteria* dan kandungan metabolit sekunder yang dihasilkan mikroorganisme pada rhizosfer padi organik dan anorganik.

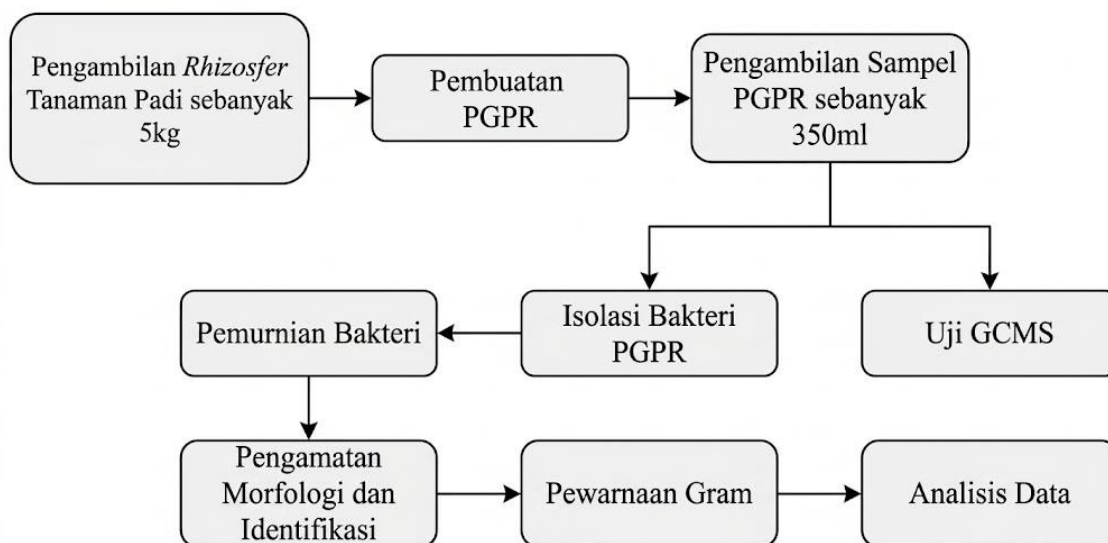
METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai September 2024 yang terdiri dari 2 tahapan. Tahap pertama yaitu pengambilan sampel tanah (tanah di sekitar *rhizosfer* padi) pada dua kondisi lahan yang berbeda, yakni lahan padi organik (Sumberjambe, Jember) dan lahan padi anorganik (Kebonsari, Jember). Tahap kedua yakni identifikasi jenis bakteri dan uji GCMS yang dilaksanakan di Laboratorium Perlindungan Tanaman dan Laboratorium Biosains, Politeknik Negeri Jember, Jawa Timur.

Alat dan Bahan. Alat yang digunakan antara lain: GC-MS, LAF (*Laminar Air Flow*), mikroskop, auto clave, *beaker glass*, timbangan digital, *erlenmeyer*, *hot plate magnetic stirrer*, cawan petri, spatula, bunsen, jarum ose, *preparat glass*, pipet tetes, plastik wrap, alumunium, kamera *handphone*, kompor, teko ukur, dandang, talenan, dan pisau. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: NA (*Nutrient Agar*), aquades, nanas, terasi, kentang, dedak, molase, spirtus, alkohol 96%, Kristal Violet, Iodine Lugol, dan safranin.

Pengambilan Sampel *Rhizosfer* Tanaman Padi. Pengambilan sampel dilakukan pada 2 tempat yaitu pada lahan produksi padi organik dan lahan produksi padi anorganik. *Rhizosfer* (akar dan tanah) lahan produksi organik diambil di Kecamatan Sumberjambe dengan riwayat lahan selama budidaya tanaman padi menggunakan bahan-bahan alami tanpa penambahan bahan kimia sama sekali baik dari pupuk maupun dari pestisidanya. Pengambilan sampel akar dan tanah lahan produksi padi anorganik diambil di Kecamatan Kebonsari yang riwayat lahan produksi menggunakan pupuk dan pestisida kimia industri. Pengambilan sampel dari petak sawah organik maupun anorganik diambil sebanyak 5 kg akar.

Pelaksanaan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian

Perbanyakan Rhizobakteri (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) Tanaman Padi. Perbanyakan PGPR terbagi ke dalam dua tahapan, yakni pembuatan media dan inokulasi sampel *rhizosfer* (mengandung bakteri) ke dalam media. Pembuatan media diawali dengan memotong kentang (bentuk dadu) sebanyak 2 kg, direbus dengan air sebanyak 10 liter hingga mendidih (dandang 1), kemudian pisahkan antara kentang dan air rebusan kentang karena yang digunakan adalah air rebusan kentang. Terasi yang sudah dipotong dadu ditambahkan molase sebanyak 2 liter dan tambahkan air 16 liter kemudian direbus hingga mendidih (dandang 2). Setelah semuanya mendidih masukkan semua rebusan ke dalam timba secara merata (jadikan 2 timba), lalu masukkan bekatul jagung sebanyak 5 kg per timba secara perlahan sambil diaduk. Setelah dingin (± 12 jam), masukkan 1 buah nanas yang sudah diblender halus ke dalam masing-masing timba dan campur hingga merata, kemudian masukkan 2,5 kg sampel *rhizosfer* tanaman padi organik dan anorganik yang sudah diambil ke dalam masing-masing timba, diamkan PGPR selama 3 minggu untuk melalui proses fermentasi dan diamati setiap minggu sekali untuk memastikan PGPR tidak membusuk atau gagal, kriteria kegagalan PGPR adalah munculnya larva dan berbau busuk, sedangkan jika berhasil beraroma tape dan tidak ada belatung.

Pengambilan Sampel PGPR. Sampel diambil dari hasil perbanyakan PGPR (baik *rhizosfer* padi organik maupun anorganik) yang sudah berhasil difermentasi sebanyak 350 ml menggunakan teko ukur kemudian dimasukkan ke dalam botol bersih. Botol yang sudah berisi sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan isolasi dan inokulasi bakteri.

Pembuatan Media Agar (NA). Media NA merupakan media kultur berbentuk agar yang mengandung ekstrak daging dan pepton yang merupakan sumber protein bagi bakteri. NA ditimbang sebanyak 14 g kemudian dilarutkan dengan aquadest sebanyak 500 ml di dalam erlenmeyer 500ml, kemudian dipanaskan di atas *hot plate magnetic stirrer* sampai larut dan homogen kemudian mulut erlenmeyer ditutup dengan aluminium foil (Rosmania dan Yanti, 2020). Setelah itu, dimasukkan ke dalam autoclave untuk disterilkan selama 30 menit dengan tekanan 15 psi dan suhu 121 °C.

Isolasi Bakteri PGPR. Isolasi bakteri adalah mengambil bakteri dari lingkungan asalnya (hasil perbanyakan) kemudian menumbuhkannya pada media buatan (media NA) dengan tujuan untuk menumbuhkan beberapa jenis bakteri yang nantinya akan diidentifikasi. Inokulasi mikroorganisme dilakukan menggunakan metode gores. Larutan PGPR *rhizosfer* padi dari lahan anorganik maupun organik yang telah

disiapkan sebelumnya, kemudian diambil menggunakan jarum ose sebanyak 1 ose kemudian digores perlahan di atas media NA (Hardiansyah et al., 2020) lalu ditutup menggunakan plastik wrap untuk mencegah udara bebas masuk yang dapat menyebabkan kontaminasi. Setiap sampel diulang sebanyak tiga kali. Pengamatan pertumbuhan bakteri dilakukan selama dua hari untuk memastikan agar tidak terjadi kontaminasi.

Pemurnian (Purifikasi) Isolat Bakteri PGPR. Purifikasi adalah pemisahan satu jenis mikroorganisme yang mungkin saja tercampur atau terdiri dari beberapa macam mikroorganisme lain yang tumbuh pada media sebelumnya atau bisa disebut juga sebagai pemurnian. Koloni bakteri yang tumbuh dan dianggap berbeda apabila kenampakan morfologi makroskopis (warna dan bentuk) koloni berbeda. Langkah pertama yang dilakukan dalam proses pemurnian bakteri adalah mengambil isolat bakteri menggunakan jarum ose yang sudah dipijarkan di atas api bunsen, kemudian bakteri diinokulasikan pada permukaan media NA dengan metode gores kuadran untuk mendapatkan koloni yang terpisah dan diinkubasi pada suhu 25°C (suhu ruangan) dan diamati pertumbuhan bakteri di hari berikutnya. Kemudian dilakukan pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis.

Identifikasi Morfologi Bakteri. Pengamatan morfologi *rhizobakteri* dilakukan setelah memperoleh isolat murni. Karakterisasi morfologi meliputi bentuk, tepi, warna, dan permukaan koloni (Nuraini et al., 2020). Pengamatan makroskopis isolat diamati setelah proses pemurnian bakteri yang sudah diinkubasi selama satu hari (24 jam) secara visual (melihat langsung) dengan memposisikan cawan petri yang berisi isolat sejajar dengan mata pengamat.

Pewarnaan Gram. Proses pewarnaan gram bertujuan untuk membedakan bakteri menjadi dua kelompok yakni, bakteri gram positif dan bakteri gram negatif. Ciri mikroskopis bakteri dapat diamati dengan melakukan pewarnaan gram terlebih dahulu (Panjaitan et al., 2023). Prosedur kerja dari pewarnaan Gram yaitu diawali dengan sterilisasi *preparat glass* dengan alkohol 96% kemudian difiksasi di atas bunsen, pijarkan jarum ose di atas api bunsen kemudian celupkan ke aquades, pijarkan lagi jarum ose dan ambil isolat bakteri dari media secara aseptik lalu letakkan di atas kaca preparate secara tipis lalu keringkan. Teteskan larutan zat warna Kristal Violet sebanyak 1 atau 2 tetes, keringkan selama 30 detik lalu bilas dengan aquades. Keringkan preparat dengan cara dianginkan, kemudian teteskan 1 atau 2 tetes larutan Iodine Lugol selama 1 menit lalu bilas dengan alkohol 96% dan bilas lagi dengan aquades, terakhir teteskan larutan Safranin sebanyak 1-2 tetes selama 30 detik, kemudian bilas dengan aquades kembali, keringkan dan diamkan, kemudian amati dibawah mikroskop (Nurhaen et al. 2016). Uji pewarnaan Gram akan memperjelas hasil visualisasi mengenai bentuk sel dan tipe Gram (Gram positif atau Gram negatif) (Panjaitan et al., 2023).

Uji GC-MS. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai senyawa kimia dari sebuah substansi yang diamati. Cara uji GC-MS yaitu dengan menyaring sampel PGPR hasil perbanyakan pada media alternatif dengan menggunakan filter membrane agar tidak ada gumpalan dalam sampel yang dapat menyumbat di saluran kolom oven yang ukurannya sangat kecil. Ekstrak hasil filter selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung vial, kemudian sampel bioelisor diambil sebanyak 1 mikro dengan menggunakan siring khusus untuk GC-MS yang bernama SHIMADZU Microliter Syringe. Sampel kemudian diinjeksikan ke alat melalui injektor dengan temperatur oven diatur 60°C dengan kenaikan rata-rata 10°C per menit dan temperatur maksimumnya 325°C yang kemudian mengalami penguapan senyawa dan akan menghasilkan senyawa volatil. Senyawa-senyawa yang melewati kolom oven akan terdeteksi yang datanya akan langsung masuk ke detector atau aplikasi yang ada pada PC dan akan muncul jenis-jenis senyawa yang terkandung serta senyawa berdasarkan *Real-time* dan berat molekul sehingga senyawa-senyawa yang terkandung tersebut dapat dengan mudah dibaca oleh detektor (Fadia, 2022).

Analisis Data. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini dianalisis secara deskriptif kualitatif yakni dengan menjelaskan hasil identifikasi bakteri dan membandingkannya dengan literatur atau referensi.

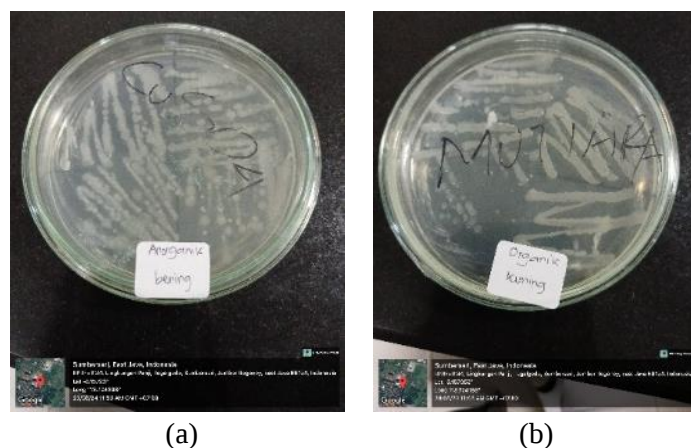
HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi bakteri dilakukan setelah proses pemurnian yang meliputi karakterisasi makroskopis dan mikroskopis. Karakter morfologi makroskopis diamati secara langsung (visual) meliputi bentuk koloni, elevasi, tepi koloni, warna koloni, dan ukuran. Sedangkan karakter morfologi mikroskopis diamati menggunakan bantuan mikroskop meliputi bentuk sel, warna sel, dan uji gram. Hasil pengamatan identifikasi bakteri pada sampel PGPR *rhizosfer* padi anorganik yang berhasil diidentifikasi terdiri atas *Azotobacter sp.*, *Acetobacter xylinum*, dan *Bacillus subtilis*. Dan pada sampel PGPR *rhizosfer* terdapat bakteri *Bacillus aeriphillus*, *Azotobacter sp.*, dan *Acetobacter xylinum*.

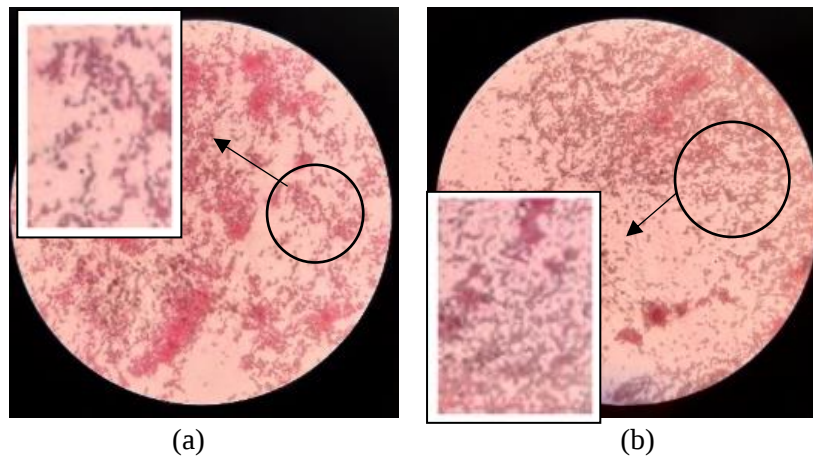
Bakteri *Azotobacter sp.* Isolat bakteri pada PGPR *rhizosfer* lahan produksi padi anorganik dan organik menunjukkan karakter morfologi yang mirip dengan bentuk sel bulat atau coccus, bakteri ini diduga merupakan bakteri *Azotobacter sp.* Karakter morfologi bakteri tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Identifikasi Morfologi Bakteri dan Ciri Bakteri *Azotobacter sp.* Menurut Referensi

Karakter Bakteri	<i>Rhizosfer</i> Anorganik	<i>Rhizosfer</i> Organik	<i>Azotobacter sp.</i> (Hermiati et al., 2021)	<i>Azotobacter sp.</i> (Maatoke et al., 2024)
Bentuk koloni	Bulat rata	Bulat rata	Bulat	-
Elevasi	Cembung rata	Cembung rata	Cembung	-
Tepi Koloni	Rata	Rata	Rata	-
Warna sel	Kuning	Putih cream	Putih susu	-
Ukuran	Sedang	Sedang	Sedang	-
Bentuk sel	Coccus	Coccus	Coccus	Coccus
Warna sel	Merah	Merah	-	Merah
Uji gram	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif



Gambar 2. Isolat bakteri *Azotobacter sp.* pada *rhizosfer* padi anorganik (a) organik (b)



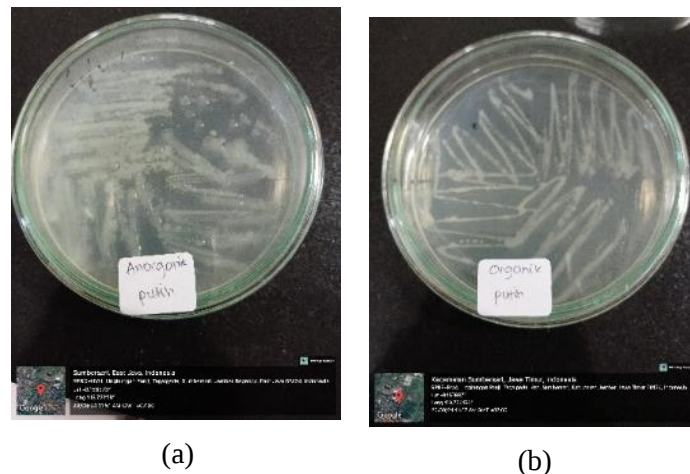
Gambar 3. Hasil pengamatan mikroskopis bakteri *Azotobacter* sp. pada pembesaran 40x: isolat PGPR *rhizosfer* padi anorganik (a) dan organik (b)

Berdasarkan Tabel 2, hasil identifikasi karakter morfologi tersebut memiliki kesamaan dengan hasil penelitian (Hermiati et al., 2021) dan (Maatoke et al., 2024). Menurut (Puspawati et al., 2021), bakteri *Azotobacter* sp. memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan akar tanaman padi yang diduga dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman padi serta mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk urea sebesar 25-50%. Bakteri *Azotobacter* sp. juga menghasilkan metabolit sekunder berupa riboflavin (vitamin) dan tiamin (asam amino) (Gurikar et al., 2022). Bakteri *Azotobacter* sp. bersifat Gram negatif berbentuk *coccus* dimana terlihat bentuk sel hasil pewarnaan yang berwarna merah. *Azotobacter* sp. dapat beradaptasi dengan stres abiotik seperti ketahanan terhadap panas (Hindersah et al., 2024).

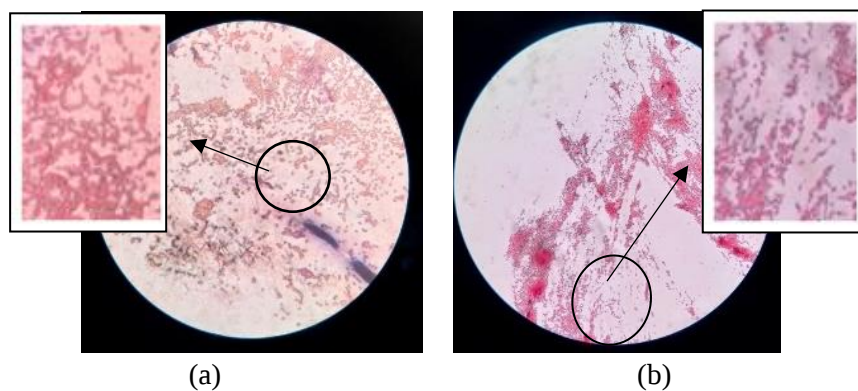
Bakteri *Acetobacter xylinum*. Isolat bakteri pada PGPR *rhizosfer* padi anorganik dan organik menunjukkan karakter morfologi yang mirip dengan *A. xylinum* dengan bentuk sel batang. Bakteri *A. xylinum* ini umumnya banyak digunakan untuk pembuatan nata karena banyak ditemukan pada air kelapa, namun bakteri ini juga dapat ditemukan di dalam tanah. *A. xylinum* merupakan bakteri aerob yang memerlukan respirasi dalam metabolismenya. Kemiripan karakter morfologi hasil pengamatan dengan hasil penelitian Ester et al. (2022) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Identifikasi Morfologi Bakteri dan Ciri Bakteri *A. xylinum* Menurut Referensi

Karakter Bakteri	<i>Rhizosfer</i> Anorganik	<i>Rhizosfer</i> Organik	<i>Acetobacter xylinum</i> (Ester & Mukarlina, 2022)
Bentuk koloni	Bulat	Bulat	Bulat
Elevasi	Cembung rata	Cembung rata	Cembung
Tepi Koloni	Rata	Rata	Rata
Warna sel	Putih	Putih	Putih susu
Ukuran	Sedang	Sedang	-
Bentuk sel	Batang	Batang	Batang
Warna sel	Merah	Merah	-
Uji gram	Negatif	Negatif	Negatif



Gambar 4. Isolat bakteri *A. xylinum* pada *rhizosfer* padi anorganik (a) dan organik (b)



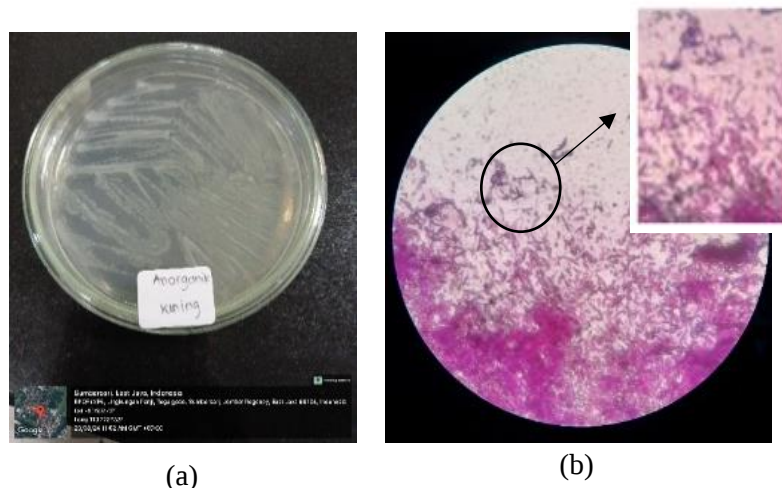
Gambar 5. Hasil pengamatan mikroskopis bakteri *A. xylinum* pada pembesaran 40x: isolat PGPR *rhizosfer* padi anorganik (a) dan organik (b)

A. xylinum memiliki kemampuan mengoksidasi etanol menjadi asam asetat serta mengoksidasi asetat dan laktat menjadi CO_2 dan H_2O . Kemampuan *A. xylinum* dalam mensintesis gula dapat menghasilkan asam glukonat dan oksidasi alkohol menjadi asam asetat (Santoso, 2021).

Bakteri *Bacillus subtilis*. Pada PGPR *rhizosfer* padi anorganik terdapat isolat yang diduga adalah bakteri dari genus *Bacillus* spesies *Bacillus subtilis* yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Identifikasi Morfologi dan Ciri Bakteri *B. subtilis* Menurut Referensi

Karakter Bakteri	<i>Rhizosfer</i> Anorganik	<i>B. subtilis</i> (Diarti et al., 2017)	<i>B. subtilis</i> (Elhany & Husnudin, 2023)
Bentuk koloni	Bulat	-	Bulat
Elevasi	Rata	Datar	Datar
Tepi Koloni	Gelombang	Tidak rata	Tidak rata
Warna sel	Kuning	Putih	Putih kusam
Ukuran	Sedang	-	-
Bentuk sel	Batang	Batang	Batang
Warna sel	Ungu	Ungu	-
Uji gram	Positif	Positif	Positif



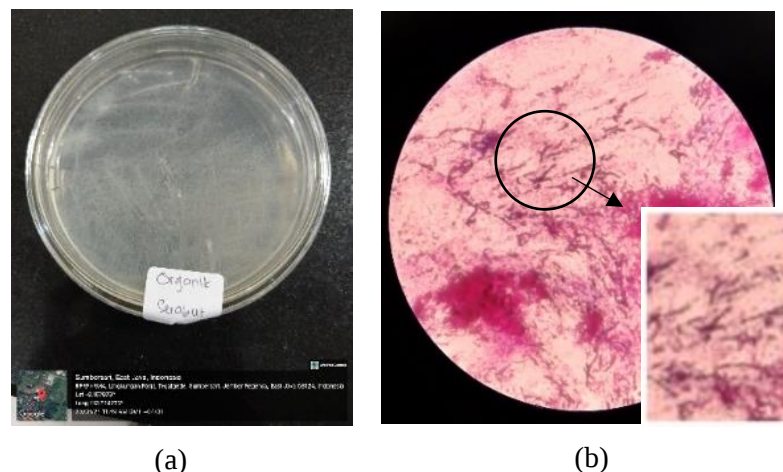
Gambar 6. Isolat bakteri *B. subtilis* pada *rhizosfer* padi organik (a) dan hasil pengamatan mikroskopis bakteri *B. subtilis* pada pembesaran 40x (b)

Genus *Bacillus* memiliki keragaman spesies dan tingkat kelimpahan pada agroekosistem yang lebih tinggi dibandingkan dengan genus lainnya (Saxena et al., 2020). Tingkat keberlangsungan hidup yang tinggi dan adaptif terhadap kondisi cekaman tertentu juga menjadi keunggulan lain genus *Bacillus* tersebut (Gingichashvili et al., 2019). Bakteri ini memiliki produk metabolit yang beragam dan potensial sebagai antibiotik (Sumi et al., 2015). Menurut (Pratama & Sarmila, 2022), *B. subtilis* dikatakan mampu membantu meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman padi dari fase vegetatif hingga fase generatif. *B. subtilis* merupakan bakteri yang sering diperbanyak sebagai PGPR karena mampu mempengaruhi peningkatan persentase perkecambahan biji, vigor tanaman, pertumbuhan akar, dan biomassa tanaman (Muis et al., 2015). Metabolit yang diproduksi oleh *B. subtilis* diklasifikasikan ke dalam lima kelas yaitu peptide non-ribosomal (NRP) dan poliketida (PK) yang dapat berfungsi sebagai antibakterial; antifungal; dan antiviral, kemudian peptide ribosomal (RP) sebagai antibakterial dan antifungal, metabolit hibrida sebagai herbisida; antibakterial; antiviral; dan antifungal, serta terdapat metabolit volatil sebagai biostimulan dan antibakterial (Iqbal et al., 2023).

Bakteri *Bacillus aeriphillus*. Pada PGPR *rhizosfer* organik, terdapat karakter morfologi bakteri yang paling berbeda dibandingkan karakter morfologi bakteri lainnya. Bakteri tersebut diduga dari genus *Bacillus* yaitu *Bacillus aerophillus*. Berikut ini adalah karakter morfologi bakteri hasil pengamatan beserta referensinya (Tabel 5).

Tabel 5. Identifikasi Morfologi dan Ciri Bakteri *B. aeriphillus* Menurut Referensi

Karakter Bakteri	<i>Rhizosfer</i> Organik	<i>B. aerophillus</i> (Prabawati & Susilowati, 2019)
Bentuk koloni	Seperti akar menyebar	Seperti akar menyebar
Elevasi	Rata	Rata
Tepi Koloni	Benang	-
Warna sel	Putih	Putih kelabu
Ukuran	Kecil	-
Bentuk sel	Batang	Batang
Warna sel	Ungu muda	Ungu
Uji gram	Positif	Positif



Gambar 7. Isolat baketri *B. aerophilus* pada *rhizosfer* padi anorganik (a) dan hasil pengamatan mikroskopis bakteri *B. aerophilus* pada pembesaran 40x (b)

Bacillus banyak berkembangbiak di *rhizosfer*, bersifat kosmopolitan, dan membentuk endospora untuk bertahan hidup dalam kondisi yang keras (Hindersah et al., 2024). Hasil penelitian (Primastoeti, 2020) menunjukkan bahwa isolat *B. aerophilus* memiliki kemampuan menghasilkan *Indole Acetic Acid* (IAA), melarutkan fosfat, menambat nitrogen (N_2), dan memiliki sifat antagonis terhadap *F. oxysporum*. *B. aerophilus* endofit menghasilkan metabolit sekunder bioaktif, termasuk saponin, flavonoid, terpenoid, dan alkaloid (Mwendwa et al., 2023).

Uji GC-MS. Adapun untuk mengkaji perbedaan metabolit sekunder yang disekresikan oleh bakteri pada PGPR *rhizosfer* padi anorganik dan organik, maka melalui uji GC-MS. Berikut adalah kandungan metabolit sekunder dari kedua sampel tersebut (Tabel 6 dan Tabel 7).

Tabel 6. Hasil Uji GC-MS PGPR *Rhizosfer* Padi Anorganik

	R.Time	Area%	Name	Golongan
1	1.782	0.76	Methane, trinitro- (CAS)	Alkaloid
2	2.060	0.19	Propanamide, N-methyl-2-amino-	Flavonoid
3	2.406	3.70	2-Propanamine, 1-methoxy-	Flavonoid
4	3.281	5.84	Acetic acid (CAS)	Fenolik
5	3.979	3.04	N-ETHYLPYRROLIDINE	Alkaloid
6	5.361	5.13	1,2-Propanediol (CAS)	Flavonoid
7	7.401	1.55	N-methyl-7,8-diazatetracyclo[3.3.0.0 ^{2,4} .0 ^{1,3}]	Alkaloid
8	8.925	1.29	Pyrazine, 2,5-dimethyl- (CAS)	Alkaloid
9	10.296	1.34	4-T-BUTOXY-1-METHYL-1,2,3,6-TETRAH	-
10	13.807	0.81	2(3H)-Furanone, dihydro- (CAS)	-
11	15.426	0.72	3-Methyl-3-butenic acid	Alkaloid
12	16.745	1.74	2(5H)-Furanone, 3-methyl- (CAS)	-
13	18.440	0.40	5,5-DIETHYL-6,6-DIMETHYL-SPIRO [231	Alkaloid
14	19.153	0.75	15N-ANILINE	Alkaloid
15	21.526	4.42	2-Nonanol (CAS)	Fenolik
16	22.309	2.56	Ethylphosphonic acid, fluoroanhydride, 2-meth	Terpenoid
17	23.537	12.86	2-Pyrrolidinone (CAS)	Alkaloid
18	26.264	3.47	1-AMINO-PYRROLIDINE	Alkaloid
19	27.222	2.17	2-PIPERIDINONE	Alkaloid

20	28.085	1.99	Phenol, 2-methyl-5-1-methylethyl)- (CAS)	Fenolik
21	28.947	1.17	Acetamide, 2,2,2-trifluoro-N-pentyl-(CAS)	Fenolik
22	29.764	2.17	Piperazine, 2,5-dimethyl-3-propyl (CAS)	Alkaloid
23	30.541	1.33	Isosorbide	Fenolik
24	32.916	1.89	Pyridine, 4-phenyl- (CAS)	Alkaloid
25	34.102	2.61	d-Gala-l-do-octomc amide	Fenolik
26	35.974	4.12	p-Tolyloxy-acetic acid (2-propoxy-benzyliden	Fenolik
27	37.710	4.91	Hexahydropyrrolizin-3-one	Fenolik
28	39.169	2.95	3,6-Dimethylpiperazine-2,5-dione	Alkaloid
29	40.269	2.15	Hexadecanoic acid, ethyl ester (CAS)	Fenolik
30	40.889	4.64	2,5-dioxo-3-isopropyl-6-methylpiperazine	Fenolik
31	42.941	4.21	Azacyclononan-2-one, 5,5,8,8-tetramethyl-	Alkaloid
32	44.480	2.51	1,4-diaza-2,5-dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]m	Alkaloid
33	45.527	2.12	Ethyl linoleate	Terpenoid
34	46.258	2.25	Glycyl-L-prolime	Alkaloid
35	47.720	1.08	1,4-diaza-2,5-dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]m	Alkaloid
36	48.558	1.63	1,4-diaza-2,5-dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]m	Alkaloid
37	50.288	3.52	1,4-diaza-2,5-dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]m	Alkaloid
100.00				

Pada hasil uji GC-MS PGPR organik (Tabel 7), kandungan senyawa terbesar adalah 1,2,3-propanetriol sebesar 17,28%. Senyawa 1,2,3-propanetriol atau disebut juga sebagai gliserol merupakan metabolit sekunder hasil dari aktivitas bakteri di dalam tanah (Yuan et al., 2024), termasuk bakteri genus *Bacillus*. *Bacillus* sp. mensekresikan beberapa metabolit yang memicu pertumbuhan tanaman dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres biotik dan abiotik (Etesami et al., 2023). Gliserol bersifat *hidrolifik* sehingga mudah larut di dalam air. Gliserol merupakan jenis senyawa untuk melindungi sel atau jaringan dari kerusakan (Stevenson et al., 2017), karena mampu mengaktifkan sinyal ketahanan tanaman terhadap patogen. Gliserol yang diaplikasikan pada zona perakaran atau daun tanaman akan mengalami difosforilasi (penambahan gugus fosfat) menjadi gliserol-3-fosfat (G3P) oleh gliserol kinase di sitosol (cairan yang terdapat di dalam sel yang mengisi sebagian sitoplasma) (Adigun et al., 2021). G3P atau sinyal turunannya merupakan sinyal (elisitor) yang dapat menginduksi SAR (*Systemic Acquired Resistance*) atau respon tanaman untuk melawan patogen (Vlot et al., 2021). Hal ini didukung oleh hasil penelitian dari (Zhang et al., 2015) bahwa aplikasi gliserol pada daun tanaman *Theobroma cacao* ternyata dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit melalui aktivasi sistem pertahanan. Oleh karena itu, senyawa 1,2,3-propanetriol atau gliserol yang disekresikan oleh bakteri perakaran khususnya genus *Bacillus* berpotensi sebagai bioelisitor.

Acetic acid merupakan metabolit terbesar kedua pada sampel PGPR *rhizosfer* padi anorganik dan organik. Asam asetat diproduksi dan diekskresikan oleh bakteri asam asetat (*Acetobacter* sp.). Asam asetat bersifat antimikroba, dimana bakteri ini dapat merusak dinding sel mikroorganisme patogen tanaman karena senyawa golongan asam asetat dapat menyebabkan denaturasi enzim dan menggoyahkan permeabilitas membran sel, dengan demikian dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan viabilitas dari sel patogen

(Muriady et al., 2022). Selain itu, asam asetat dapat mengaktifkan sinyal jasmonat dari akar hingga pucuk tanaman padi (Ogawa et al., 2021), sehingga berperan dalam mempertahankan tanaman pada kondisi kekeringan.

Tabel 7. Hasil Uji GC-MS PGPR *Rhizosfer* Padi Organik

Peak#	R.Time	Area%	Name	Golongan
1	0.088	0.05	2,4(1H3H)-Pyrimidinedione, 5-nitro-	Alkaloid
2	1.595	0.18	Carbon dioxide (CAS)	Flavonoid
3	1.796	0.19	Methane, trinitro- (CAS)	Alkaloid
4	2.419	1.66	2-Propanamine, 1-methoxy-	Alkaloid
5	3.041	10.20	Acetic acid (CAS)	Fenolik
6	5.281	4.71	1,2-Propanediol (CAS)	Terpenoid
7	7.464	0.18	3-Methoxy-1-cyclohexene	Terpenoid
8	8.927	0.11	Pyrazine, 2,5-dimethyl- (CAS)	Alkaloid
9	10.099	1.07	1,3-Propanediol (CAS)	Flavonoid
10	13.800	0.23	Pyrazine, trimethyl- (CAS)	Alkaloid
11	16.790	1.08	2(5H)-Furanone, 3-methyl- (CAS)	-
12	23.610	4.25	5-Ethylpyrrolidone	Alkaloid
13	25.097	17.28	1,2,3-Propanetriol (CAS)	Fenolik
14	28.062	3.37	2-Methoxy-4-vinylphenol	Fenolik
15	29.720	2.54	Deferoxamine	Alkaloid
16	30.744	3.08	Isosorbide	Flavonoid
17	32.950	3.66	Pyridine, 4-phenyl- (CAS)	Alkaloid
18	34.092	5.31	Piperidin-4-one, 1,2,5-trimethyl-, thiosemicar	Alkaloid
19	35.553	4.53	3-Acetyl-2,4,4-trimethylcyclohex-2-en-1-one	Fenolik
20	37.729	5.09	Hexahydropyrrolizin-3-one	Fenolik
21	39.140	3.44	1-Butanamine, 3-methyl-N-(3-methylbutyl)-	Alkaloid
22	40.282	1.27	Hexadecanoic acid, ethyl ester (CAS)	Fenolik
23	40.924	4.92	2,5-dioxo-3-sopropyl-6-methylpiperazine	Fenolik
24	42.970	5.27	Azacyclononan-2-one, 5,5,8,8-tetramethyl-	Alkaloid
25	44.488	2.72	1,4-diaza-2,5-dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]	Alkaloid
26	45.536	2.72	Ethyl linoleate	Alkaloid
27	46.285	2.58	Glycyl-L-proline	Alkaloid
28	47.720	1.21	1,4-diaza-2,5-dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]	Alkaloid
29	48.571	2.20	1,4-diaza-2,5-dioxo-3-isobutyl bicyclo[4.3.0]	Alkaloid
30	50.404	4.89	5,10-Diethoxy-2,3,7,8-tetrahydro-1H,6H-dipy	Alkaloid
		100.00		

Kandungan senyawa kimia tertinggi yang didapatkan melalui uji GC-MS pada PGPR padi anorganik adalah 2-pyrrolidinone (12,86%). Senyawa 2-pyrrolidinone merupakan senyawa organik industrial yang biasanya digunakan dalam produk industri. Senyawa ini bukanlah sekresi bakteri tanah, namun merupakan residu dari penggunaan produk industri kimia seperti pupuk dan pestisida. 2-pyrrolidinone mudah larut dalam air sehingga dapat berfungsi sebagai pelarut atau bahan tambahan dalam produk pupuk atau pestisida (Basma et al., 2018). Penggunaan 2-pyrrolidinone dalam tanah dapat membantu meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman atau meningkatkan ketersediaan unsur hara, namun penggunaan senyawa

ini harus dipertimbangkan karena jika berlebihan dapat menyebabkan toksisitas atau keracunan pada tanah walaupun mudah terurai secara hayati (Kim et al., 2021).

KESIMPULAN

Jenis-jenis bakteri yang terdapat di dalam PGPR *rhizosfer* padi anorganik meliputi *Azotobacter* sp., *Acetobacter xylinum*, dan *Bacillus subtilis*, sedangkan pada *rhizosfer* padi organik meliputi *Acetobacter xylinum*, *Bacillus aerophilus*, dan *Azotobacter* sp. Kandungan metabolit sekunder yang dapat berpotensi sebagai bioelisor adalah 1,2,3-propanetriol atau gliserol yang merupakan hasil katabolisme lipid oleh bakteri *Bacillus* sp. kemudian senyawa tersebut diubah menjadi G3P yang merupakan molekul penting dalam signal ketahanan tanaman (peningkatan aktivasi SAR dan ekspresi gen.) Selain itu, terdapat juga *acetic acid* yang merupakan hasil sekresi dari bakteri *Acetobacter* sp. yang berperan sebagai anti mikroba. Kandungan senyawa kimia lain pada *rhizosfer* padi anorganik adalah 2-pyrrolidone yang merupakan residu pupuk dan pestisida kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adigun, O. A., Nadeem, M., Pham, T. H., Jewell, L. E., Cheema, M., & Thomas, R. (2021). Recent advances in bio-chemical, molecular and physiological aspects of membrane lipid derivatives in plant pathology. *Plant, Cell & Environment*, 44(1), 1–16. <https://doi.org/10.1111/pce.13904>
- Diarti, M. W., Yuri, S., & Yunan, J. (2017). Karakteristik morfologi, koloni dan biokimia bakteri yang diisolasi dari sedimen laguna perindukan nyamuk. *Jurnal Kesehatan Prima*, 11(2), 124–136.
- Elhany, N. A., & Husnudin, U. B. (2023). Isolasi dan karakterisasi bakteri tahan logam berat pada perairan sungai Driyorejo Gresik. *Jurnal Biogenic*, 1(1), 28–33. <https://doi.org/10.36841/biogenic.v1i1.2899>
- Ester, S. R., & Mukarlina, M. (2022). Bakteri asam asetat yang diisolasi dari cuka daging buah pisang mas (*Musa acuminata* L.). *Biologica Samudra*, 4(2), 76–87. <https://doi.org/10.33059/jbs.v4i2.4230>
- Fadia, A. A. (2022). *Pengaruh Asap Cair Sekam Padi Terhadap Hama Ulat Grayak (Spodoptera Frugiperda) Pada Tanaman Jagung (Zea Mays)*.
- Gingichashvili, S., Duanis-Assaf, D., Shemesh, M., Featherstone, J. D., Feuerstein, O., & Steinberg, D. (2019). The adaptive morphology of *Bacillus subtilis* biofilms: a defense mechanism against bacterial starvation. *Microorganisms*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010062>
- Gurikar, C., Sreenivasa, M. Y., Gowda, N. N., & Lokesh, A. C. (2022). *Azotobacter* sp.—A potential symbiotic rhizosphere engineer. In *Rhizosphere Engineering*. Pp 97-112. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89973-4.00010-7>
- Hardiansyah, M. Y., Musa, Y., & Jaya, A. M. (2020). Identifikasi plant growth promoting rhizobacteria pada rhizosfer bambu duri dengan gram KOH 3%. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 41–46. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v4i1.40875>
- Hermiati, H., Nurtjahya, E., & Mansur, I. (2021). Abundance and potency of Non-Symbiotic Nitrogen-Fixing Bacteria in Padang Sapu-sapu, Pejem Village, Bangka. *Berkala Sainstek*, 9(2), 95–102. <https://doi.org/10.19184/bst.v9i2.20057>
- Hindersah, R., Suryatmana, P., Fitriatin, B. N., Asmiran, P., Nurbaity, A., & Setiawati, M. R. (2024). Bacterial-coated urea to reduce the use of urea fertilizer in potato cultivation. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 24(1), 78–84. <https://doi.org/10.25181/jppt.v24i1.2750>
- Hutomo, P. A. B. (2023). Karakter agronomi dan fisiologi tanaman padi (*Oryza sativa* L. Cv inpari unsoed 79 agritan) yang terinfeksi *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae* dan diinokulasi rhizobacteria

- indigenous lahan salin. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 23(1), 13–24. <https://doi.org/10.25181/jppt.v23i1.2215>
- Iqbal, S., Begum, F., Rabaan, A. A., Aljeldah, M., Al Shammari, B. R., Alawfi, A., Alshengeti, A., Sulaiman, T., & Khan, A. (2023). Classification and multifaceted potential of secondary metabolites produced by *Bacillus subtilis*. Group: A Comprehensive Review. *Molecules*, 28(3). <https://doi.org/10.3390/molecules28030927>
- Jufri, S. W., Restu, M., & Gusmiaty, G. (2017). *Identifikasi dan karakterisasi mikroorganisme rhizosfer pada hutan rakyat tanaman bitti (Vitexcofassus reinw), jati (Tectona grandis) dan jabon merah (Anthocephalus macrophyllus)*. Universitas Hasanuddin.
- Kalam, S., Das, S. N., Basu, A., & Podile, A. R. (2017). “Population densities of indigenous Acidobacteria change in the presence of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in rhizosphere.” *Journal of Basic Microbiology*, 57(5), 376–385. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600588>
- Kunti Setiowati, F. (2021). *Produksi dan profil komponen senyawa bioaktif organosulfur pada kultur suspensi sel bawang putih (Allium sativum L.) Tunggul sebagai respon terhadap pemberian prekursor dan elisitor*. (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Maatoke, C. D., Dewani, Z., & Suciati, F. (2024). Karakterisasi morfologi dan fisiologi mikrob pelarut fosfat dan mikrob penambat n2 (*Azotobacter* sp.) dari rhizosfer tanaman padi dan tanah hutan cifor dramaga bogor. *Bio-Lectura: Jurnal Pendidikan Biologi*, 11(1), 115–117. <https://doi.org/10.31849/bl.v11i1.19518>
- Marom, N., Rizal, F., & Bintoro, M. (2017). Uji efektivitas saat pemberian dan konsentrasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) terhadap produksi dan mutu benih kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*, 1(2), pp 174–184. *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*, 1(2), 174–184. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v1i2.43>
- Mohanty, P., Singh, P. K., Chakraborty, D. M., & S. Pattnaik, R. (2021). Insight into the role of PGPR in sustainable agriculture and environment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.667150>
- Muis, A., Nonci, N., & Djaenuddin, N. (2015). Evaluasi lima jenis inert carrier dan formulasi *Bacillus subtilis* untuk pengendalian hawar pelepah jagung (*Rhizoctonia solani* Kuhn). *J. HPT Tropika*, 15(2), 164–169. <https://doi.org/10.23960/j.hppt.215164-169>
- Mwendwa, P. K., Karanja, A. W., & Maingi, J. M. (2023). Endophytic *Bacillus aerophilus* from the Leaves of *Azadirachta indica* as a Potential Biocontrol against *Staphylococcus aureus*. *Journal of Advances in Microbiology*, 23(10), 116–127. <https://doi.org/10.9734/jamb/2023/v23i10762>
- Nuraini, C., Saida, S., Suryanti, S., & Nontji, M. (2020). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Rhizosfer Tanaman Jagung Pada Fase Vegetatif Dan Generatif. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 1(1), 24–30. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v1i1.103>
- Panjaitan, D., Wardhana, V. W., Hadi, R., Tsuraya, F., & Naibaho, F. G. (2023). Pelatihan karakterisasi morfologi bakteri dan fungi sebagai pengayaan praktikum biologi bagi guru sekolah menengah atas. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(1), 556–565. <https://doi.org/10.31764/jmm.v7i1.12355>
- Prabawati, A., & Susilowati, A. S. (2019). *Bakteri filosfer padi sebagai kandidat agen biokontrol terhadap Xanthomonas oryzae pv. oryzae (Xoo) penyebab penyakit hawar daun bakteri*. In *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia Vol. 5, No. 2, pp. 256-262*. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050219>

- Pratama, T., & Sarmila, S. (2022). Potensi *Bacillus subtilis* dalam mengendalikan penyakit busuk bulir bakteri (*Bulkholderia glumae*) tanaman padi (*Oryza Sativa* L.). *Tarjih Agriculture System Journal*, 2(1), 95–100.
- Primastoeti, T. (2020). *Identifikasi Dan Analisis Potensi Isolat Bakteri Endofit Sebagai Mikrobial Pendukung Pertumbuhan Tanaman Dari Tanaman Padi (Oryza sativa)*. (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Puspawati, N. M. I., Khalimi, K., & Wirya, G. N. A. S. (2021). Pemanfaatan Bakteri *Azotobacter* sp. untuk Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Pupuk Urea pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 10(4), 338–398.
- Saxena, A. K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N., & Bagyaraj, D. J. (2020). *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology*, 128(6), 1583–1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>
- Semiun, C. G. (2022). Karakterisasi Bakteri Akar Padi Sawah (*Oryza Sativa* L.) Desa Noelbaki, Kabupaten Kupang. *Indigenous Biologi: Jurnal Pendidikan Dan Sains Biologi*, 5(1), 15–24. <https://doi.org/10.33323/indigenous.v5i1.293>
- Stevenson, A., Hamill, P. G., Medina, Á., Kminek, G., Rummel, J. D., Dijksterhuis, J., & Hallsworth, J. E. (2017).). Glycerol enhances fungal germination at the water-activity limit for life. *Environmental Microbiology*, 19(3), 947–967. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13530>
- Sukmadewi, D. K. T., Suharjono, & Antonius, S. (2015). Uji Potensi Bakteri Penghasil Hormon IAA (Indole Acetic Acid) dari Tanah Rhizosfer Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.). *Jurnal Biotropika*, 3(2), 91–94.
- Sumi, C. D., Yang, B. W., Yeo, I. C., & Hahm, Y. T. (2015). Antimicrobial peptides of the genus *Bacillus* a new era for antibiotics. *Canadian Journal of Microbiology*, 61(2), 93–103. <https://doi.org/10.1139/cjm-2014-0613>
- Wisdawati, E., Kuswinanti, T., Rosmana, A., & Nasruddin, A. (2019). Keanekaragaman cendawan rizosfer pada tanaman talas satoimo. *Agroplantae: Jurnal Ilmiah Terapan Budidaya Dan Pengelolaan Tanaman Pertanian Dan Perkebunan*, 8(2), 51–57.
- Yuan, A., Kumar, S. D., Wang, H., Wang, S., Impa, S., Wang, H., & Shao, R. (2024). Dynamic interplay among soil nutrients, rhizosphere metabolites, and microbes shape drought and heat stress responses in summer maize. *Soil Biology and Biochemistry*, 191, 109357. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109357>
- Yulistiana, E., Widowati, H., & Sutanto, A. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) dari akar bambu apus (*Gigantochloa apus*) meningkatkan pertumbuhan tanaman. *Biolova*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.24127/biolova.v1i1.23>
- Zhang, Y., Smith, P., Maximova, S. N., & Gultinan, M. J. (2015). Application of glycerol as a foliar spray activates the defence response and enhances disease resistance of *Theobroma cacao*. *Molecular Plant Pathology*, 16(1), 27–37. <https://doi.org/10.1111/mpp.12158>