

ISOLASI DAN IDENTIFIKASI BAKTERI PADA PUPUK ORGANIK CAIR DENGAN BIOAKTIVATOR B-8 TERNAK UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS TANAH

Ikhsan Gatot Aji Prasetyo*, Nur'aini, Afina Nazma Fauziah, Putri Meliyaningsih, Ugo Fiqih Wahyudin

Program Studi Biologi, Universitas Pamulang, Jl. Raya Serang-Jakarta Kelodran Walantaka, Kota Serang, Banten 42183, Indonesia

Email korespondensi: ikhlangatotajiprasetyo@gmail.com

Abstract. Using synthetic compounds in agriculture that can affect ecosystems demands innovation in solutions. Liquid Organic Fertilizer (LOF) has become a hope for sustainable agriculture. This research aims to isolate and identify bacteria in liquid organic fertilizer using the B-8 livestock bioactivator. The isolation method was carried out using culture techniques, and identification was performed using colony morphology techniques. The research results show success in isolating and identifying three main types of bacteria: *Rhizobium*, *Bacillus*, and *Azotobacter*. *Rhizobium*. Bacteria are identified by the colour and shape of their colonies. The three bacteria are recognized for their ability to form a mutualistic symbiosis with leguminous plants, increasing the availability of nitrogen for the plants. *Bacillus* was found to have the potential to produce plant growth hormones and increase the availability of phosphorus in the soil. Meanwhile, *Azotobacter* has been proven capable of nitrogen fixation and producing organic compounds that support plant health. The results of this discovery have essential implications for developing microbe-based liquid organic fertilizers for sustainable agriculture.

Keywords: Bioactivator; *Azotobacter*; Identification.

Abstrak. Penggunaan senyawa sintetis dalam pertanian dapat mempengaruhi ekosistem, sehingga menuntut adanya inovasi pertanian. Pupuk Organik Cair (POC) menjadi harapan untuk pertanian berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri yang terdapat dalam pupuk organik cair menggunakan bioaktivator B-8 ternak. Metode isolasi dilakukan dengan menggunakan teknik kultur dan identifikasi dilakukan dengan menggunakan teknik morfologi koloni. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan dalam isolasi dan identifikasi tiga jenis bakteri utama, yaitu *Rhizobium*, *Bacillus*, dan *Azotobacter*. *Rhizobium*. Bakteri diidentifikasi dengan warna dan bentuk koloni. Ketiga bakteri dikenali karena kemampuannya membentuk simbiosis mutualisme dengan tanaman leguminosa, meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tanaman. *Bacillus* ditemukan memiliki potensi untuk memproduksi hormon pertumbuhan tanaman dan meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah. Sementara itu, *Azotobacter* terbukti mampu melakukan fiksasi nitrogen dan menghasilkan senyawa organik yang mendukung kesehatan tanaman. Hasil penemuan ini memberikan implikasi penting dalam pengembangan pupuk organik cair berbasis mikroba untuk pertanian berkelanjutan.

Kata Kunci: Bioaktivator; *Azotobacter*; Identifikasi.

© hak cipta dilindungi undang-undang

PENDAHULUAN

Kesadaran Petani terhadap meningkatnya penggunaan senyawa sintetik, meskipun senyawa sintetik dapat meningkatkan produktifitas hasil pertanian, namun berbahaya bagi lingkungan sebab menurunkan kualitas tanah (Prasetio et al., 2020). Penggunaan pupuk kimia NPK setelah 30 tahun aplikasi pupuk kimia NPK, pengurangan keanekaragaman bakteri di tanah dapat dibalikkan dengan aplikasi kombinasi NPK dan pupuk kandang, yang disebabkan oleh netralisasi pH pupuk kandang. Sebuah meta-analisis global dari 64 percobaan pemupukan mengaitkan pengurangan biomassa tanah dan aktivitas mikroba dengan perubahan pH tanah yang disebabkan oleh pemupukan kimia (Nugroho & Setiawan, 2021).

Penggunaan senyawa sintetik pada pertanian secara berlebihan dapat mengakibatkan pengapuran tanah dan pencemaran air, mengganggu keseimbangan alam. Penggunaan pupuk kimia yang terus-menerus juga menyebabkan kelelahan tanah dan penurunan bahan organik, yang mengurangi efisiensi pemupukan (Ramli et al., 2024). Selain itu, penggunaan pupuk organik dan ameliorant seperti pupuk hayati dapat membantu mengembalikan kesuburan tanah, menawarkan solusi untuk masalah yang ditimbulkan oleh pupuk kimia (Ammurabi et al., 2020).

Pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari alam dan mengandung unsur hara seperti nitrogen dan karbon. Keseimbangan unsur-unsur ini penting untuk menjaga kesuburan tanah dan menghasilkan produk bebas bahan kimia (Huda & Prasetya, 2013). Kelebihan pupuk organik meliputi peningkatan kesuburan tanah secara kimia, fisik, dan biologi, serta menyediakan zat pengatur tumbuh yang bermanfaat bagi tanaman.

Salah satu strategi dalam pertanian modern adalah pengembangan pupuk organik cair (POC) yang berkolaborasi dengan mikroorganisme lokal. POC adalah teknologi ramah lingkungan yang mengurangi penggunaan pupuk kimia dan menghasilkan produk aman untuk konsumsi (Ng et al., 2024). Pupuk ini, yang berasal dari pembusukkan bahan organik, mengandung unsur penting untuk pertumbuhan tanaman dan dapat meningkatkan hasil produksi. Penggunaan POC juga membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, yang dapat merusak tanah dan organisme bermanfaat (Anggraeni et al., 2024).

Pupuk Organik Cair (POC) dibuat lebih cepat daripada pupuk padat dan mudah diaplikasikan dengan cara disemprotkan (Erickson Sarjono Siboro et al., 2013). POC

dapat diproduksi sendiri menggunakan mikroorganisme lokal (MOL) yang berasal dari fermentasi bahan lokal, baik tumbuhan maupun hewan. Larutan MOL mengandung unsur hara dan mikroorganisme yang berfungsi sebagai perombak bahan organik, perangsang pertumbuhan, serta pengendali hama, sehingga efektif sebagai dekomposer, pupuk hayati, dan pestisida organik (Indasah & Muhith, 2020).

Pada penelitian ini dilakukan percobaan pembuatan pupuk cair dengan memanfaatkan mikroorganisme yang dikembangkan pada B-8 ternak. Setelah menjadi pupuk organik cair selanjutnya akan dilakukan isolasi dan identifikasi bakteri yang terdapat pada produk tersebut, dilakukan isolasi dan indentifikasi bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman bakteri serta mengetahui apakah ada patogen pada produk pupuk organik cair yang dihasilkan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif acuan untuk pembuatan dan penggunaan pupuk organik cair dengan menggunakan bioaktivator B-8 ternak. dipahami bahwa peran pupuk organik tidak mungkin secara ekonomis dan praktis menggantikan seluruh nutrisi tanaman yang ada di dalam pupuk an-organik. Hal terpenting dari POC bagi lingkungan diharapkan dapat memberikan inovasi pupuk organik yang aman bagi lingkungan dan ekosistem pertanian.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Biologi, Universitas Pamulang PSDKU Serang, dari November 2023 hingga Juli 2024. Bahan yang digunakan mencakup sampel pupuk organik cair (POC), dedak, tepung ikan, ragi roti, molase, dan media *Mannitol Salt Agar* (MSA). Alat yang digunakan antara lain botol plastik, autoklaf, pH meter, inkubator, dan mikropipet. Penelitian ini adalah deskriptif kualitatif dengan observasi untuk mengumpulkan data primer mengenai populasi bakteri dari POC dengan bioaktivator B-8 Ternak, dilanjutkan dengan identifikasi morfologi bakteri.

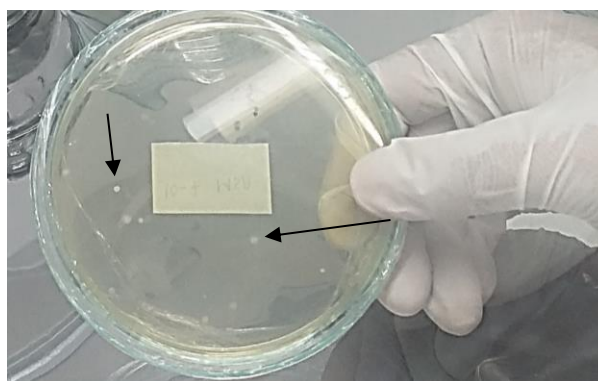
Pembuatan POC dengan langkah bahan seperti dedak dan tepung ikan dimasak dalam air, dicampur ragi dan molase, kemudian didinginkan dan ditambahkan bakteri dari POC B-8 Ternak, lalu didiamkan selama 4-5 hari. Kemudian alat disterilkan dengan autoklaf, dan media MSA disiapkan dengan melarutkan agar dalam air, dipanaskan, disterilkan, dan dituangkan ke cawan petri. Proses isolasi bakteri dilakukan dengan cara sampel pupuk cair diencerkan, ditanam di media MSA, dan diinkubasi selama 1-2 hari.

Setelah itu, koloni bakteri diamati dan dimurnikan untuk mendapatkan biakan murni. Sampel bakteri diinkubasi pada media nutrisi, kemudian dilakukan pewarnaan Gram untuk mengidentifikasi jenis bakteri berdasarkan warna yang dihasilkan. Data morfologi dan hasil pewarnaan Gram dianalisis untuk mengidentifikasi bakteri hingga tingkat genus atau spesies, dengan membandingkan karakteristik yang diperoleh dengan database mikrobiologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Bakteri

Penelitian ini berhasil mengisolasi dan menumbuhkan koloni bakteri *Rhizobium* sp. dari sampel pupuk organik cair yang telah diproduksi. Pupuk organik cair ini diperkaya dengan bioaktivator B-8 ternak untuk meningkatkan potensi mikrobiologisnya. *Rhizobium* sp., sebagai bagian dari mikroflora yang berkembang dalam pupuk organik cair, memiliki peran penting dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tanaman melalui proses fiksasi nitrogen yang simbiotik.



Gambar 1. Koloni Bakteri *Rhizobium* sp.

Pengamatan morfologi koloni *Rhizobium* dilakukan setelah inkubasi pada media agar nutrisi MSA selama 2 hari pada suhu 37°C, kondisi yang mendukung pertumbuhan optimal bakteri *Rhizobium*. Media pertumbuhan media nutrisi agar (MSA) mengandung pepton, ekstrak daging sapi, nilai pH 7,4, phenol red, manitol, serta agar. Pepton yang berfungsi sebagai sumber nitrogen bagi pertumbuhan mikroorganisme bersama dengan ekstrak daging sapi, NaCl berperan sebagai bahan penyeleksi bakteri yang bersifat non halofilik (Rafika et al., 2024). Koloni yang tumbuh diamati untuk karakteristik yang khas dari genus *Rhizobium*, termasuk bentuk, warna,

dan struktur mikroskopisnya. Karakteristik bakteri *Rhizobium* secara makroskopis yaitu koloni berwarna putih susu, tidak transparan, bentuk koloni sirkuler, konveks, semitranslusen terlihat pada gambar 1. (Liem et al., 2019).

Tabel 1. Karakteristik Pertumbuhan Bakteri

Karaktersitik	Deskripsi
Bentuk Koloni	Umumnya bulat atau berbentuk oval Warna Koloni
Tekstur Koloni	Lunak atau sedikit kenyal dengan tepi yang kurang terdefinisi
Tepi Koloni	Tepi koloni tidak terlalu jelas atau memanjang Evelansi Koloni
Bentuk Koloni	Umumnya bulat atau berbentuk oval Warna Koloni
Tekstur Koloni	Lunak atau sedikit kenyal dengan tepi yang kurang terdefinisi

Penelitian ini juga berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi koloni bakteri *Bacillus* sp. dari sampel pupuk organik cair yang telah berhasil dibuat. Pupuk organik cair ini diperkaya dengan bioaktivator B-8 ternak untuk meningkatkan aktivitas mikrobiologisnya. *Bacillus*, sebagai bagian dari mikroflora yang berkembang dalam pupuk organik cair, memiliki peran penting dalam dekomposisi bahan organik kompleks dan produksi enzim yang bermanfaat bagi tanaman. Mikroorganisme tanah seperti *Bacillus* sp. memiliki peranan penting dalam ekosistem tanah sebagai pemulihan serta keberlanjutan suatu ekosistem (Nugroho & Setiawan, 2021).



Gambar 2. Koloni Bakteri *Bacillus* sp.

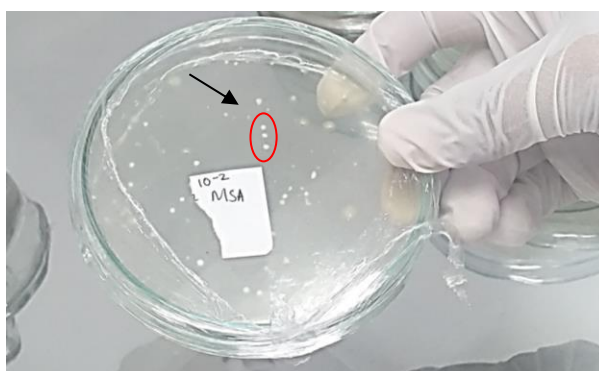
Pengamatan morfologi koloni *Bacillus* dilakukan setelah inkubasi pada media agar nutrisi MSA selama 24-48 jam pada suhu 37°C, yang mendukung pertumbuhan optimal bakteri *Bacillus*. Koloni yang tumbuh diamati untuk karakteristik yang khas

dari genus *Bacillus*, termasuk bentuk, warna, dan struktur mikroskopisnya. Koloni bakteri *Bacillus* dapat diamati pada Gambar 2.

Tabel 2. Karakteristik Koloni Bakteri *Bacillus* sp.

Karakteristik	Deskripsi
Bentuk Koloni	Umumnya bulat atau memanjang (batang)
Warna Koloni	Biasanya putih, krem, atau keabu-abuan
Tekstur Koloni	Padat dengan tepi yang terdefinisi dengan baik
Tepi Koloni	Tepi koloni rata atau kadang-kadang bergelombang
Elevansi Koloni	Koloni cembung atau menonjol sedikit di tengah

Penelitian ini berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi koloni bakteri *Azotobacter* dari sampel pupuk organik cair yang berhasil dibuat. Pupuk organik cair ini diperkaya dengan bioaktivator untuk meningkatkan potensi mikrobiologisnya. *Azotobacter* memiliki peran sebagai penambat nitrogen di alam. Nitrogen merupakan unsur yang diperlukan tanah dalam ekosistem. *Azotobacter*, sebagai bagian dari mikroflora yang berkembang dalam pupuk organik cair, memiliki peran penting dalam siklus nitrogen tanah melalui proses fiksasi nitrogen.



Gambar 3. Koloni Bakteri *Azotobacter* sp.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa inkubasi pada media yang sesuai dengan kondisi aerobik dan suhu optimal telah berhasil menumbuhkan koloni *Azotobacter* yang khas. Koloni ini kemudian diamati untuk karakteristik morfologi seperti bentuk, ukuran, dan warna, yang sesuai dengan ciri-ciri *Azotobacter* yang diketahui.

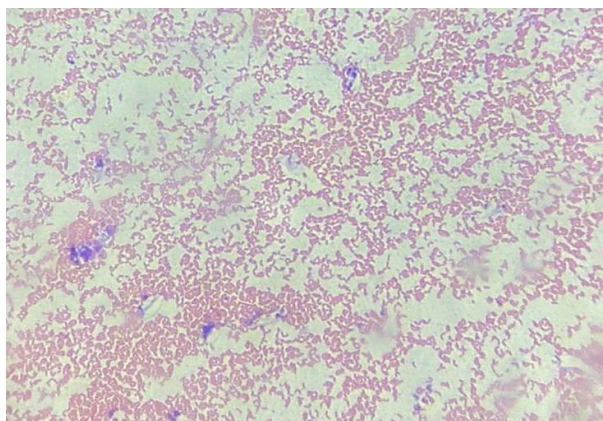
Tabel 3. Karakteristik Koloni Bakteri *Azotobacter* sp.

Karakteristik	Deskripsi
Bentuk Koloni	Umumnya bulat atau oval, kadang-kadang berbentuk batang
Warna Koloni	Biasanya putih atau abu-abu
Tekstur Koloni	Lunak, tidak terlalu padat dengan tepi yang kurang terdefinisi

Tepi Koloni	Tepi koloni biasanya rata atau sedikit bergelombang
Elevansi Koloni	Koloni cembung atau menonjol sedikit di tengah

Identifikasi Bakteri

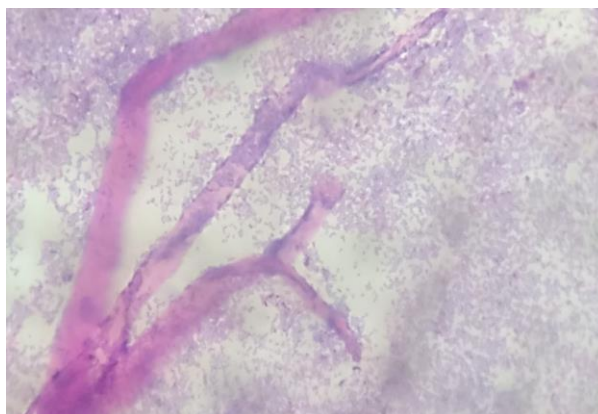
Hasil identifikasi melalui pengamatan warna Gram dan mikroskopis, telah berhasil diidentifikasi bakteri dari genus *Rhizobium* dari sampel Pupuk Organik Cair (POC). Pengamatan warna Gram menunjukkan bahwa bakteri *Rhizobium* ini adalah bakteri Gram-negatif, yang ditandai dengan warna merah atau pink setelah proses pewarnaan menggunakan metode Gram.



Gambar 4. Hasil Pewarnaan gram bakteri *Rhizobium* sp.

Secara mikroskopis, bakteri *Rhizobium* ini memiliki bentuk sel yang umumnya bulat atau memanjang, sering kali berbentuk batang kecil. Mereka tidak memiliki flagela yang memungkinkan pergerakan aktif, dan tidak membentuk spora. Ukuran selnya berkisar antara 0,5 hingga 2,0 mikrometer. Dari hasil identifikasi melalui pengamatan warna Gram dan mikroskopis, telah berhasil diidentifikasi bakteri dari genus *Bacillus* dari sampel yang diambil dari lingkungan pupuk organik cair. *Bacillus* ini teridentifikasi sebagai bakteri Gram-positif, yang ditandai dengan warna ungu atau biru pada dinding sel mereka setelah proses pewarnaan menggunakan metode Gram.

Saat dilakukan pewarnaan Gram, *Azotobacter* akan tampak berwarna merah atau pink setelah proses pewarnaan, menunjukkan bahwa dinding selnya tidak menyerap pewarnaan kristal violet dan cenderung lebih menerima pewarnaan dengan safranin atau fuchsin pada langkah selanjutnya dalam proses pewarnaan Gram.



Gambar 5. Hasil Pewarnaan gram bakteri *Azotobacter* sp.

Bakteri *Azotobacter*, yang telah diamati melalui mikroskop, menunjukkan karakteristik morfologi yang khas. Mereka umumnya berbentuk bulat atau memanjang dengan ukuran sekitar 1,0 hingga 2,0 mikrometer. Bakteri ini memiliki flagela yang memungkinkan mereka bergerak aktif dalam lingkungan tanah atau media pertumbuhan. Saat diamati lebih dekat, *Azotobacter* biasanya terlihat sebagai sel tunggal atau kadang-kadang membentuk gugus kecil. Mereka memiliki dinding sel yang tipis dan tidak membentuk spora. Selain itu, dalam proses pewarnaan Gram, *Azotobacter* tampak berwarna merah atau pink, menandakan bahwa mereka termasuk dalam kelompok bakteri Gram- negatif. Pemahaman tentang morfologi ini penting untuk mengidentifikasi dan memahami peran *Azotobacter* dalam siklus nitrogen tanah dan aplikasinya dalam praktik pertanian berkelanjutan.

Tabel 4. Karakteristik Morfologi Bakteri *Rhizobium*, *Bacillus*, *Azotobacter*.

Ciri-ciri Morfologi	<i>Rhizobium</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Azotobacter</i> sp.
Reaksi Gram	Gram-negatif	Gram-positif	Gram-negatif
Bentuk Sel	Bulat atau memanjang, biasanya Berbentuk batang kecil	Batang atau kadang-kadang berbentuk bintang	bulat, Bulat atau memanjang, sering berbentuk batang kecil
Ukuran sel	Mikroskopis, umumnya 0,5 – 2,0 mikrometer	Mikroskopis, umumnya 1,0 – 3,0 mikrometer	Mikroskopis, umumnya 1,0 – 2,0 mikrometer
Pigmen	Tidak menghasilkan pigmen khusus	Dapat menghasilkan pigmen macam	Tidak menghasilkan pigmen khusus
Formasi Spora	Tidak memiliki spora	Membentuk spora (sporulasi)	Tidak membentuk spora
Tepi Sel	Rata atau bergelombang	Rata	Rata atau sedikit bergelombang

Pembahasan

Penelitian ini berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi tiga jenis bakteri penting dalam pupuk organik cair yang menggunakan bioaktivator B-8 ternak, yaitu *Rhizobium*, *Bacillus*, dan *Azotobacter*. Dalam ekosistem, keanekaragaman suatu mikroba perlu diketahui total populasi ataupun keanekaragamannya, sebab mikroba dapat menjadi salah satu indikator kesuburan tanah. Hal ini apabila ada terjadi penurunan total dan keanekaragaman mikroba tanah dapat digunakan sebagai indikasi awal dari gangguan pada kualitas ekosistem serta dapat dimanfaatkan sebagai landasan pengembangan teknologi. Alasan tersebut yang mendasari ketiga bakteri yang di temukan dalam penelitian ini memiliki peran yang signifikan dalam meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman secara alami.

a) *Rhizobium* sp.

Rhizobium dikenal karena kemampuannya membentuk simbiosis mutualisme dengan akar tanaman leguminosa. Bakteri ini membentuk nodul di akar tanaman dan mengubah nitrogen bebas dari udara menjadi senyawa yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Dengan demikian, *Rhizobium* membantu dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tanaman, yang merupakan unsur esensial untuk sintesis protein dan pertumbuhan tanaman yang optimal (Mng'ong'o et al., 2023). Pada proses rhizobium membantu pembentukan nodul akar melewati 4 tahap, Tahap pertama dimulai dengan kolonisasi rhizobia di daerah rhizosfer, kemudian penempelan di permukaan akar, penyabangan rambut akar, dan terakhir adalah pembengkokan rambut akar. Setelah infeksi terjadi, bakteri akan melakukan proses bakteroid yang merupakan proses memperbanyak diri bakteri dalam sel akar (Liem et al., 2019).

b) *Bacillus* sp.

Bacillus merupakan genus bakteri yang umumnya ditemukan dalam tanah dan memiliki berbagai mekanisme biologis yang menguntungkan bagi tanaman. *Bacillus* ini dikenal dengan keanekaragaman genetik dan metabolisme yang luar biasa, yang memungkinkan spesies *Bacillus* untuk melayani berbagai fungsi ekologis dan beradaptasi dengan berbagai lingkungan (Sales & Rigobelo, 2024). Selain itu *Bacillus* sp. dapat berperan dalam berbagai cara, seperti sebagai pelarut fosfat, melarutkan unsur hara mikro lainnya, menekan patogen tanaman, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui sekresi fitohormon, seperti auksin, serta enzim yang dapat

meningkatkan solubilitas fosfat dalam tanah (Ortiz & Sansinenea, 2024). Hal ini membantu dalam meningkatkan ketersediaan fosfor, yang penting untuk pertumbuhan akar dan perkembangan tanaman secara keseluruhan (Rani et al., 2019).

c) *Azotobacter* sp.

Azotobacter adalah bakteri bebas tanah yang juga mampu melakukan fiksasi nitrogen atmosfer menjadi senyawa nitrogen yang dapat diserap oleh tanaman. Selain itu, *Azotobacter* juga memproduksi senyawa organik tambahan seperti vitamin dan hormon pertumbuhan tanaman, yang berkontribusi pada kesehatan dan produktivitas tanaman (Chennappa et al., 2017). *Azotobacter* memiliki kemampuan untuk memulihkan tanah yang telah terkontaminasi bahan kimia berbahaya seperti tanah yang terdampak limbah tekstil (Kulkarni et al., 2024) *Azotobacter* sangat ideal untuk digunakan sebagai pupuk hayati, sebab *Azotobacter* dapat digunakan sebagai pupuk hayati dengan membuat konsorsium mikroba berbahan dedak (Akashdeep et al., 2024).

Implikasi Penelitian

Penemuan bakteri *Rhizobium*, *Bacillus*, dan *Azotobacter* dalam pupuk organik cair dengan bioaktivator B-8 ternak memiliki implikasi yang penting dalam pengembangan pertanian berkelanjutan:

a) Pengurangan Ketergantungan pada Pupuk Kimia

Penggunaan pupuk organik cair yang mengandung *Rhizobium*, *Bacillus*, dan *Azotobacter* dapat membantu mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia sintetis yang mahal dan berpotensi merusak lingkungan.

b) Peningkatan Kualitas Tanah

Kehadiran bakteri-bakteri ini dapat memperbaiki struktur dan kesuburan tanah secara alami, meningkatkan retensi air dan nutrisi, serta meningkatkan resistensi tanaman terhadap penyakit dan kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Keanekaragaman bakteri dan jumlah koloni bakteri dapat dijadikan sebagai indikator kualitas tanah pada suatu ekosistem.

KESIMPULAN

Proses isolasi bakteri dari pupuk organik cair yang diaktivasi dengan bioaktivator B-8 ternak berhasil memperoleh berbagai strain bakteri yang berpotensi meningkatkan kualitas pupuk. Bakteri yang berhasil diisolasi dan diidentifikasi termasuk dalam

beberapa genus penting, seperti *Bacillus* sp., *Azotobacter* sp., dan *Rhizobium* sp. Identifikasi dilakukan berdasarkan ciri morfologi, seperti bentuk sel dan hasil pewarnaan Gram, serta ciri koloni seperti bentuk, tepi, permukaan, warna, dan konsistensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akashdeep, Kumari, S., & Rani, N. (2024). Novel cereal bran based low-cost liquid medium for enhanced growth, multifunctional traits and shelf life of consortium biofertilizer containing *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas* sp. *Journal of Microbiological Methods*, 222, 106952. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2024.106952>
- Ammurabi, S. D., Anas, I., & Nugroho, B. (2020). Substitusi Sebagian Pupuk Kimia dengan Pupuk Organik Hayati pada Jagung (*Zea mays*). *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 22(1), 10–15. <https://doi.org/10.29244/jitl.22.1.10-15>
- Anggraeni, L., Robi`in, R., Zubaidi, T., Anwar, N. A., & Damanhuri, D. (2024). Pengaruh Pupuk Organik Cair dari Limbah Kulit Buah dan Daun Sebagai Substitusi Pupuk Kimia Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kedelai. *Vegetalika*, 13(2), 145. <https://doi.org/10.22146/veg.84697>
- Chennappa, G., Naik, M. K., Amaresh, Y. S., Nagaraja, H., & Sreenivasa, M. Y. (2017). *Azotobacter: A Potential Biofertilizer and Bioinoculants for Sustainable Agriculture* (pp. 87–106). https://doi.org/10.1007/978-981-10-6241-4_5
- Erickson Sarjono Siboro, Edu Surya, & Netti Herlina. (2013). Pembuatan Pupuk Cair Dan Biogas Dari Campuran Limbah Sayuran. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(3), 40–43. <https://doi.org/10.32734/jtk.v2i3.1448>
- Indasah, I., & Muhith, A. (2020). Local Microorganism From “Tape” (Fermented Cassava) In Composition and Its Effect on Physical, Chemical And Biological Quality in Environmental. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 519, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/519/1/012003>
- Kulkarni, K., Manujendra Kumar, P., Kulkarni, A., & Satpute, S. (2024). Bioremediation of hazardous Metanil yellow dye by using *Trichoderma* and *Azotobacter* biofertilizers. *Ecological Frontiers*, 44(3), 605–617. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.11.007>
- Liem, J. L., Arianita, B. A., Sugiarti, S., & Handoko, Y. A. (2019). Optimalisasi Bakteri *Rhizobium Japonicum* Sebagai Penambat Nitrogen Dalam Upaya Peningkatan Produksi Jagung. *Jurnal Galung Tropika*, 8(1), 64. <https://doi.org/10.31850/jgt.v8i1.413>

- Mng'ong'o, M. E., Ojija, F., & Aloo, B. N. (2023). The role of Rhizobia toward food production, food and soil security through microbial agro-input utilization in developing countries. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100404>
- Ng, Z. Y., Ajeng, A. A., Cheah, W. Y., Ng, E.-P., Abdullah, R., & Ling, T. C. (2024). Towards circular economy: Potential of microalgae – bacterial-based biofertilizer on plants. *Journal of Environmental Management*, 349, 119445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119445>
- Ortiz, A., & Sansinenea, E. (2024). *Bacillus* sp. as biofertilizers applied in horticultural crops. In *Bio-Inoculants in Horticultural Crops* (pp. 97–108). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96005-2.00007-6>
- Prasetio, I. G. A., Hermawan, W., Miranti, M., Panatarani, C., Joni, I. M., Kasmara, H., & Melanie. (2020). The Effect of Nanozeolite Concentration in a Delivery System of HaNPV1 to the Lethal Time against *Crocidolomia pavonana*. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 43(4). <https://doi.org/10.47836/pjtas.43.4.09>
- Rafika, R., Pratama, R., Djasang, S., Mursalim, M., & Salsabila Andini, Z. (2024). Pemanfaatan Ikan Penja (*Awaous melanocephalus*) Sebagai Media Alternatif Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Media Analisis Kesehatan*, 15(2), 179–190. <https://doi.org/10.32382/jmak.v15i2.1191>
- Ramli, Ramli, A., Adrianto, B., & Rachmat, R. (2024). Aplikasi Pupuk Organik Biosaka dan NPK Terhadap Peningkatan Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agrisistem*, 20(1), 24–30. <https://doi.org/10.52625/j-agr.v20i1.318>
- Rani, U., Sharma, S., & Kumar, V. (2019). *Bacillus Species: A Potential Plant Growth Regulator* (pp. 29–47). https://doi.org/10.1007/978-3-030-15175-1_2
- Sales, L. R., & Rigobelo, E. C. (2024). The Role of *Bacillus* sp. in Reducing Chemical Inputs for Sustainable Crop Production. *Agronomy*, 14(11), 2723. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112723>
- Tri Nugroho, F., & Setiawan, A. W. (2021). Isolasi dan karakterisasi bakteri pada tanah organik dan anorganik di Kec.Kopeng dan Kec.Magelang. *AGRILAND Jurnal Ilmu Pertanian* (Vol. 8, Issue 1). <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/agriland>