

ISOLASI DAN KARAKTERISASI BAKTERI PELARUT POSFAT DAN PEMFIKSASI NITROGEN RIZOSFER GULMA *AGERATUM CONYZOIDES* DARI LAHAN KERING LOMBOK UTARA

[Isolation and Characterization Of Phosphate-Solubilizing Bacteria and
Nitrogen-Fixing Bacteria from *Ageratum Conyzoides* Rhizosphere Found
in North Lombok Dryland Area]

Novita Hidayatun Nufus^{1)*}, Nihla Farida²⁾, Bq. Faras Sukma A.³⁾, Lilik Apriani⁴⁾

Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Mataram

novitahnufus@unram.ac.id (corresponding)

ABSTRAK

Pengembangan pertanian pada lahan kering di Lombok Utara menghadapi kendala utama berupa keterbatasan air dan rendahnya ketersediaan nitrogen (N) serta fosfor (P). Pemanfaatan bakteri fungsional indigenus, khususnya bakteri pelarut fosfat (BPF) dan bakteri pemfiksasi nitrogen (BPN), berpotensi mendukung peningkatan kesuburan tanah dalam sistem pertanian berkelanjutan. Rizosfer gulma pada lahan kering seperti *Ageratum conyzoides* merupakan habitat potensial bagi kedua kelompok bakteri tersebut karena adanya adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang miskin hara dan terbatas air. Penelitian bertujuan untuk mengisolasi dan memperoleh kandidat BPF dan BPN dari gulma *Ageratum conyzoides* yang tumbuh di lahan kering Desa Selengen, Lombok Utara. Penelitian dilaksanakan dengan metode deskriptif melalui isolasi bakteri dari sampel tanah rizosfer *Ageratum conyzoides* yang kemudian ditumbuhkan pada media selektif Pikovskaya untuk uji pelarutan posfat dan media selektif Jensen untuk uji fiksasi nitrogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 7 isolat BPF yakni isolat 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.7, 4.8, dan 4.10. Uji fiksasi nitrogen menghasilkan 5 BPN dari rizosfer gulma *A. conyzoides* yaitu isolat 4.1, 4.3, 4.6, 4.8, dan 4.9.

Kata kunci: *Ageratum conyzoides*; Bakteri Pelarut Posfat (BPF); Bakteri Pemfiksasi Nitrogen (BPN); lahan kering; Lombok Utara

ABSTRACT

Agricultural development in the drylands of North Lombok is constrained by limited water availability and low levels of essential nutrients, particularly nitrogen (N) and phosphorus (P). The utilization of indigenous functional bacteria, especially phosphate-solubilizing bacteria and nitrogen-fixing bacteria represents a promising strategy for enhancing soil fertility within sustainable agricultural systems. The rhizosphere of dryland weeds, such as *Ageratum conyzoides*, may serve as a potential reservoir of these beneficial bacteria due to their adaptation to nutrient-deficient and water-limited environments. This study aimed to isolate and identify potential PSB and NFB candidates from *Ageratum conyzoides* growing in the drylands of Selengen Village, North Lombok. The research was conducted by isolating the rhizobacteria from *Ageratum conyzoides* rhizosphere. The isolates then transferred into Pikovskaya medium for phosphate solubilizing test and Jensen medium for Nitrogen fixation test. The results revealed seven PSB isolates, designated as isolates 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.7, 4.8, and 4.10. Nitrogen fixation screening identified five NFB isolates from the rhizosphere of *A. conyzoides*, namely isolates 4.1, 4.3, 4.6, 4.8, and 4.9.

Keywords: *Ageratum conyzoides*; Phosphate-solubilizing bacteria; Nitrogen-fixing bacteria; Dryland; North Lombok

PENDAHULUAN

Berkurangnya luas area tanam akibat alih fungsi lahan pertanian merupakan salah satu faktor yang mengancam berkurangnya produksi pertanian, terutama di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Dinas Pertanian dan Perkebunan NTB melaporkan bahwa sekitar 10.000 ha lahan pertanian mengalami penyusutan setiap tahun, terutama akibat konversi menjadi kawasan permukiman dan infrastruktur. Di sisi lain, BPS Provinsi NTB mencatat luas panen padi tahun 2024 mengalami penurunan sebesar 7,49 ribu ha (2,60%) dibandingkan tahun 2023. Ekstensifikasi lahan pertanian melalui pemanfaatan lahan marginal seperti lahan kering dapat menjadi upaya alternatif untuk menghadapi persoalan tersebut.

Kabupaten Lombok Utara merupakan salah satu wilayah di Provinsi Nusa Tenggara Barat yang memiliki potensi cukup besar dalam pengembangan sektor pertanian. Namun, optimalisasi pemanfaatan sumber daya lahan di wilayah ini masih menghadapi berbagai kendala akibat dominasi lahan marginal berupa lahan kering. Data Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Utara menunjukkan bahwa luas lahan kering di wilayah ini mencapai sekitar 72.649 ha (BPS KLU, 2023). Selain keterbatasan sumber daya air, rendahnya kandungan bahan organik tanah serta terbatasnya ketersediaan unsur hara esensial, terutama nitrogen (N) dan fosfor (P), menjadi faktor pembatas utama dalam mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Nitrogen dan fosfor adalah unsur hara makro yang sangat penting bagi proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Nitrogen berperan penting dalam sintesis asam amino, protein, asam nukleat, dan klorofil sehingga sangat menentukan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kekurangan nitrogen menyebabkan gangguan metabolisme tanaman yang ditandai dengan klorosis daun, pertumbuhan terhambat, serta penurunan produktivitas (Havlin *et al.*, 2019, dan Taiz *et al.*, 2022). Fosfor berperan sebagai bagian dari makromolekul esensial, termasuk sebagai elemen utama dalam struktur asam nukleat, penyusun molekul energi (ATP), serta bagian dari rantai samping pada beberapa jenis asam amino. Kekurangan fosfor pada tanaman dapat mengganggu proses biosintesis asam nukleat, fosfolipid, dan nukleotida trifosfat, yang berdampak pada terganggunya pembelahan sel, proses konversi energi, serta respirasi seluler yang berdampak pada penurunan laju fotosintesis tanaman secara signifikan (Maulidan dan Putra, 2024).

Sebagai upaya meningkatkan produktivitas pertanian pada lahan marginal, eksplorasi mikroorganisme rizosfer dari tanaman yang mampu tumbuh adaptif pada kondisi lingkungan ekstrem menjadi pendekatan yang menjanjikan. Salah satu tanaman yang berpotensi sebagai sumber mikroorganisme fungsional adalah *Ageratum conyzoides* L. (bandotan), yaitu gulma yang banyak ditemukan tumbuh alami pada berbagai kondisi lahan, termasuk lahan kering, miskin hara, dan lingkungan dengan tingkat gangguan tinggi. Kemampuan *A. conyzoides* untuk tumbuh dan berkembang pada kondisi tanah yang kurang subur mengindikasikan adanya interaksi yang kuat antara tanaman tersebut dengan komunitas mikroorganisme di daerah rizosfernya (Kumar *et al.*, 2014). Rizosfer tanaman diketahui merupakan habitat dengan aktivitas biologis tinggi akibat adanya eksudat akar yang menyediakan berbagai senyawa organik sebagai sumber nutrisi bagi mikroorganisme tanah (Perez-jaramillo *et al.* 2015). Kondisi ini menjadikan rizosfer *A. conyzoides* berpotensi sebagai sumber isolat *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) yang memiliki kemampuan mendukung pertumbuhan tanaman (Bhattacharyya & Jha, 2022).

Di antara kelompok PGPR yang memiliki nilai penting dalam pengelolaan lahan marginal adalah bakteri pelarut fosfat dan bakteri pemfiksasi nitrogen. Bakteri pelarut fosfat berperan dalam meningkatkan ketersediaan fosfor melalui mekanisme pelarutan senyawa fosfat tidak larut menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman, sedangkan bakteri pemfiksasi nitrogen mampu mengonversi nitrogen atmosfer menjadi bentuk nitrogen tersedia melalui proses fiksasi biologis. Kehadiran kedua kelompok bakteri tersebut menjadi sangat relevan pada lahan pertanian Lombok Utara yang dicirikan oleh rendahnya ketersediaan unsur hara P dan N. Oleh karena itu, eksplorasi bakteri rizosfer dari *A. conyzoides* berpotensi menghasilkan isolat PGPR lokal yang adaptif terhadap kondisi lahan marginal serta dapat dikembangkan sebagai kandidat biofertilizer untuk meningkatkan kesuburan tanah, efisiensi pemupukan, dan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilaksanakan merupakan penelitian deskriptif yang terdiri atas 2 tahapan umum yaitu pengambilan sampel dan analisis sampel. Pengambilan sampel tanah rizosfir *Ageratum conyzoides* dilakukan pada lahan kering di dataran rendah dan dataran tinggi, desa Selengen Kabupaten Lombok Utara. Pada masing-masing wilayah ditetapkan 5 (lima) titik sampling yang distribusinya ditentukan secara proporsive sampling berdasarkan luas hamparan lahan dengan jarak lintasan 1 – 2 km. Isolasi bakteri dan analisis potensi bakteri dalam pengikatan nitrogen dan pelarutan posfat dilaksanakan di laboratorium mikrobiologi, Fakultas Pertanian Unram.

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain; alat gelas, laminar air flow, autoclave, mikroskop, colony counter, plastik klip, pinset, scalpel, pipet mikro, neraca analitik, neraca digital, inkubator, oven, haemocytometer, alat ukur pH tanah (Digital soil analyzer), tanah rizosfir, media Nutrient Agar (NA), media Pikovskaya, Media Jensen, Paket larutan pengecatan gram, akuades, Red Kongo, alcohol 70%, akuades, dan larutan NaCl fisiologis.

Pengambilan sampel dilakukan dengan modifikasi metode Hang *et al.* (2023). Sampel tanah dan butiran tanah dari tiap lokasi sampling diambil dengan cara menggali tanah pada jarak 10-20cm di sekitar tanaman sedalam 25 cm. Sampel rizosfir (0 -1 cm dari permukaan akar) dan butiran tanah yang menempel pada akar gulma diambil dengan menggunakan sendok makan. Isolasi dilakukan dengan memasukkan 10 g tanah rizosfir kedalam tabung erlenmeyer yang berisi 90 mL NaCl fisiologis kemudian dikocok menggunakan shaker selama 15 menit. Selanjutnya, suspensi yang diperoleh diambil sebanyak 1 mL kemudian dimasukkan ke dalam 9 mL NaCl fisiologis kemudian diencerkan hingga tingkat pengenceran 10^{-7} . Suspensi bakteri pada pengenceran 10^{-6} dan 10^{-7} kemudian ditumbuhkan pada media NA. Pengujian kemampuan bakteri dalam memfikasi N menggunakan media Jensen Free Malat Bromthymol Blue (JNFB). Isolat murni umur 48 jam, ditumbuhkan pada media tersebut diinkubasi pada suhu ruang selama 10 hari (Komova *et al.*, 2022). Uji pelarutan posfat dilakukan dengan menumbuhkan isolat di media pikovskaya. Adanya zona bening di sekitar rhizobakteri mengindikasikan kemampuan isolat dalam melarutkan fosfat untuk dibawa dan dianalisis di laboratorium.

Identifikasi isolat terpilih dilaksanakan dengan pengamatan koloni dan morfologi. Data hasil pengamatan akan dianalisis secara deskriptif berdasarkan studi literatur dan hasil uji yang telah dilakukan.

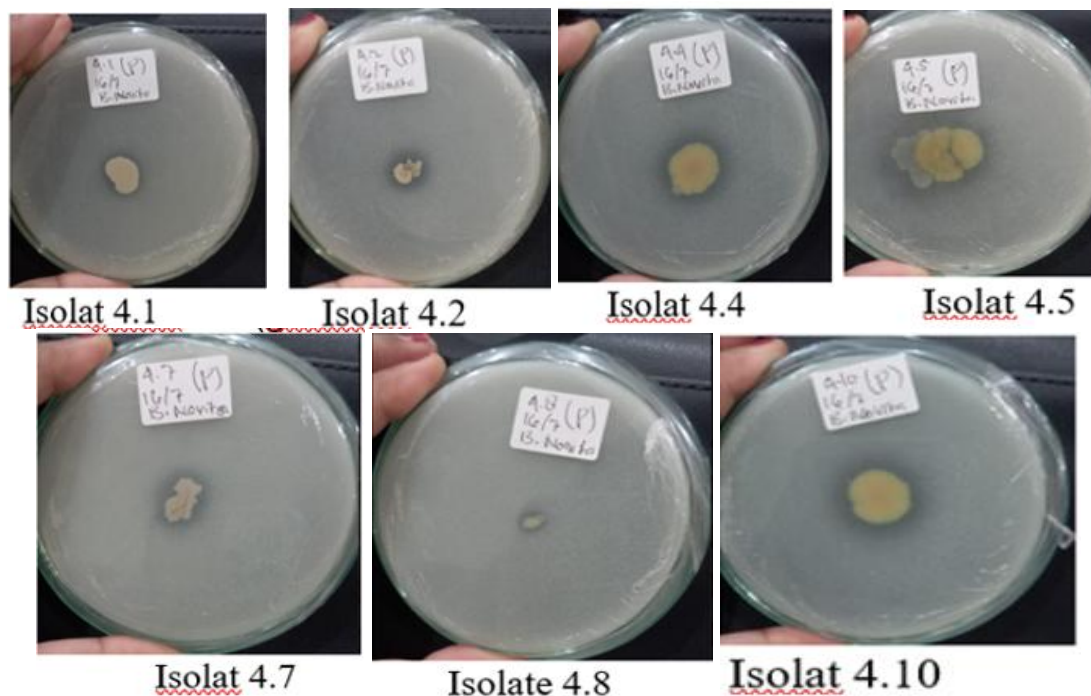
HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi bakteri dari rizosfer gulma *Ageratum conyzoides* menghasilkan 10 isolat bakteri dan Actinomycetes, seperti disajikan pada gambar berikut:



Gambar 1. Isolat bakteri dari rizosfer *Ageratum conyzoides* pada media NA

Uji pelarutan posfat dan fiksasi nitrogen yang telah dilakukan masing-masing menghasilkan 7 isolat bakteri pelarut posfat dan 5 isolat bakteri pemfiksasi nitrogen. Berikut merupakan gambar hasil uji pelarutan posfat pada media Pikovskaya.



Gambar 2. Isolat bakteri pelarut posfat dari rizosfir gulma *Ageratum conyzoides* pada media *Pikovskaya*

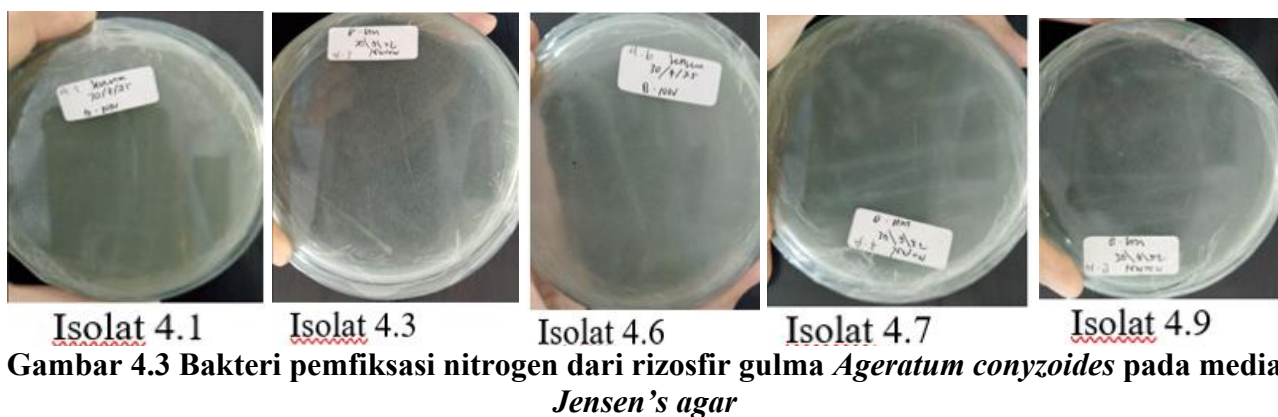
Hasil uji pelarutan posfat pada media pikovskaya menunjukkan terbentuknya zona bening pada 7 isolat, yang mengindikasikan kemampuan isolat dalam melarutkan posfat. Pada media *Pikovskaya*, posfat tersedia dalam bentuk $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ yang bersifat tidak larut. Bakteri pelarut posfat seperti Isolat 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.7, 4.8, dan 4.10 dari *Ageratum conyzoides* mampu menghasilkan berbagai metabolit, terutama asam organik, seperti asam sitrat, asam glukonat, asam oksalat, asam laktat, dan asam asetat, yang menyebabkan penurunan pH di sekitar koloni bakteri. Penurunan pH tersebut memicu pelepasan ion fosfat dari ikatan mineralnya sehingga fosfat yang sebelumnya tidak larut berubah menjadi bentuk terlarut dan dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Anand *et al.*, 2016; Sun *et al.*, 2026).

Tingginya frekuensi penemuan BPF pada *A. conyzoides* sejalan dengan karakteristik ekofisiologis gulma Asteraceae yang dikenal mampu memodifikasi pH lingkungan rizosfer melalui sekresi asam organik guna meningkatkan ketersediaan unsur hara makro (Saini & Aggarwal, 2018). Keberadaan BPF dalam jumlah yang cukup banyak pada bakteri *A. conyzoides* menegaskan kemampuan ekologis *A. conyzoides* dalam beradaptasi pada lingkungan yang kurang menguntungkan, khususnya lahan kering dengan ketersediaan unsur hara yang rendah, serta peran strategis bakteri tersebut dalam mendukung daya adaptasi dan invasi gulma di lahan yang ketersediaan fosfatnya terbatas (Bhattacharyya & Jha, 2022). *Ageratum conyzoides* merupakan gulma yang mampu tumbuh secara luas pada berbagai tipe habitat, termasuk tanah terganggu, lahan marginal, dan area dengan tingkat kesuburan rendah. Kemampuan gulma ini untuk bertahan pada kondisi miskin hara menunjukkan adanya hubungan mutualistik yang kuat antara sistem perakaran tanaman dengan komunitas mikroorganisme rizosfer, termasuk kelompok bakteri yang berperan dalam meningkatkan ketersediaan fosfor tanah (Sun *et al.*, 2026).

Dominasi isolat Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) pada rizosfer *Ageratum conyzoides* juga berkaitan erat dengan strategi adaptasi mikrobial pada lahan kering di Kabupaten Lombok Utara. Karakteristik lahan di wilayah ini umumnya didominasi oleh tanah dengan kadar bahan organik rendah serta ketersediaan fosfor (P) yang terikat kuat oleh mineral liat atau kalsium, sehingga menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman. Kelimpahan BPF yang tinggi pada *A. conyzoides* menunjukkan bahwa perakaran gulma yang kaya akan karbon untuk mendukung populasi bakteri

fungsional yang dapat menyintesis asam organik (seperti sitrat dan malat) dalam melepaskan ikatan P-kompleks di tanah semiarid (Saini & Aggarwal, 2018). Ditemukannya isolat BPF dalam jumlah yang relatif banyak pada rizosfer *A. conyzoides* kemungkinan merupakan bentuk adaptasi biologis terhadap kondisi tanah dengan ketersediaan fosfor rendah. Tanaman diketahui melepaskan berbagai senyawa melalui eksudat akar, seperti gula, asam amino, asam organik, dan senyawa fenolik, yang dapat memengaruhi struktur komunitas mikroba di sekitar akar. Pada tanaman yang tumbuh di lingkungan miskin fosfor, eksudat akar cenderung menyeleksi mikroorganisme yang mampu membantu mobilisasi fosfor. Bakteri pelarut fosfat kemudian meningkatkan ketersediaan unsur P melalui produksi asam organik, proses kelasi ion logam, serta aktivitas enzim fosfatase yang mengubah fosfat tidak larut menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman (Liu *et al.*, 2023; Thijs *et al.*, 2023; Sun *et al.*, 2026).

Pengujian fiksasi nitrogen dilakukan dengan menumbuhkan isoat dalam media *Jensen's agar*. Media *Jensen's agar* merupakan media selektif bebas nitrogen yang digunakan untuk menumbuhkan bakteri penambat nitrogen. Media ini mengandung sukrosa sebagai sumber karbon, K_2HPO_4 sebagai sumber fosfat, $MgSO_4$ sebagai sumber magnesium, serta Na_2MoO_4 yang berperan dalam aktivitas enzim nitrogenase (Huslina & Harahap, 2019). Hasil uji fiksasi nitrogen pada media *Jensen's agar* dari rizosfer gulma *A. Conyzoides* menunjukkan terdapat lima isolat bakteri pemfiksasi nitrogen (BPN), yaitu isolat 4.1, 4.3, 4.6, 4.6, dan 4.9 seperti ditunjukkan oleh gambar berikut:



Ditemukannya lima isolat bakteri pemfiksasi nitrogen (BPN) dari rizosfer *Ageratum conyzoides* menunjukkan bahwa daerah perakaran gulma tersebut merupakan habitat yang mendukung keberadaan mikroorganisme diazotrof non-simbiotik maupun asosiatif. Isolasi bakteri dilakukan menggunakan media selektif *Jensen's agar*, yaitu media bebas nitrogen yang dirancang untuk menyeleksi mikroorganisme yang mampu memanfaatkan nitrogen atmosfer (N_2) sebagai sumber nitrogen bagi pertumbuhannya. Pada media ini, hanya bakteri yang memiliki sistem enzim nitrogenase yang dapat tumbuh karena tidak tersedia sumber nitrogen anorganik siap pakai dalam medium. Oleh karena itu, pertumbuhan isolat pada media *Jensen's agar* menjadi indikasi awal adanya kemampuan fiksasi nitrogen secara biologis. Media *Jensen's* telah banyak digunakan dalam skrining bakteri pengikat nitrogen bebas karena mampu menyeleksi kelompok diazotrof tanah secara efektif (Huslina dan Harahap, 2019; Salsabila *et al.*, 2022).

Kelimpahan isolat BPN pada *A. conyzoides* mengindikasikan adanya mekanisme rekrutmen mikroba yang lebih efisien melalui eksudasi senyawa karbon spesifik yang memicu kolonisasi bakteri penambat N bebas (non-simbiotik) di zona perakaran. Secara teoritis, keberadaan BPN non-simbiotik ini berperan krusial dalam menyediakan suplai nitrogen tambahan bagi inang, yang memperkuat daya kompetisi gulma tersebut di lingkungan yang miskin hara (Thijs *et al.*, 2023). Kelimpahan BPN dalam asosiasi non-simbiotik sangat dipengaruhi oleh arsitektur akar dan volume rizosfer, yang menjelaskan mengapa spesies dengan sistem perakaran serabut yang luas seperti *A. conyzoides* cenderung memiliki keberagaman isolat fungsional yang lebih tinggi (Bhattacharyya & Jha, 2022). Interaksi antara isolat BPN dengan akar gulma ini mencerminkan hubungan asosiatif yang saling menguntungkan (associative symbiosis), di mana tanaman menyediakan sumber energi berupa karbohidrat bagi bakteri, dan sebagai imbalannya, bakteri mengubah N_2 atmosfer menjadi bentuk amonia NH_3 yang tersedia bagi tanaman.

Banyaknya isolat BPN yang ditemukan juga dapat dijelaskan melalui peran eksudat akar dalam membentuk komunitas mikroba rizosfer. Tanaman melepaskan berbagai senyawa organik seperti gula, asam amino, asam organik, flavonoid, dan senyawa fenolik melalui sistem perakarannya. Senyawa-senyawa tersebut berfungsi sebagai sumber karbon dan sinyal kimia yang dapat menarik serta menyeleksi mikroorganisme menguntungkan, termasuk bakteri pemfiksasi nitrogen asosiatif. Pada kondisi defisiensi nitrogen, perubahan komposisi eksudat akar diketahui mampu meningkatkan kelimpahan dan aktivitas komunitas diazotrof di daerah rizosfer karena menyediakan sumber energi yang dibutuhkan dalam proses fiksasi nitrogen, yang secara metabolik membutuhkan energi tinggi. Dengan demikian, eksudasi akar *A. conyzoides* kemungkinan berperan dalam merekrut komunitas BPN yang adaptif terhadap kondisi tanah miskin nitrogen.

Keberadaan beberapa isolat BPN pada rizosfer *A. conyzoides* diduga berkaitan dengan kemampuan ekologis tanaman tersebut untuk tumbuh pada kondisi tanah yang mengalami keterbatasan nitrogen. Nitrogen merupakan unsur hara makro utama yang berperan dalam sintesis protein, asam amino, klorofil, dan berbagai senyawa metabolik tanaman. Pada lahan marginal atau lahan kering, ketersediaan nitrogen umumnya rendah akibat rendahnya kandungan bahan organik, tingginya kehilangan nitrogen melalui pencucian atau volatilisasi, serta rendahnya aktivitas biologis tanah. Kemampuan *A. conyzoides* untuk tetap tumbuh agresif pada lingkungan miskin nitrogen mengindikasikan adanya strategi adaptasi, salah satunya melalui asosiasi dengan bakteri pemfiksasi nitrogen di daerah rizosfer. Bakteri diazotrof asosiatif dapat mengonversi nitrogen atmosfer menjadi amonia yang kemudian menjadi sumber nitrogen tersedia bagi tanaman, sehingga membantu tanaman bertahan pada kondisi cekaman nutrisi.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan 7 isolat bakteri pelarut posfat dan 5 isolat bakteri pemfiksasi nitrogen dari rizosfer *A. Conyzoides*. Ditemukannya isolat BPF dan BPN yang cukup melimpah pada rizosfer *A. Conyzoides* berkaitan erat dengan kemampuan gulma tersebut untuk dapat bertahan dan tumbuh dalam kondisi lahan dengan nutrisi rendah.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji sensitivitas isolat terpilih untuk mengetahui toksisitas isolat. Disarankan pula untuk melakukan karakterisasi dan identifikasi isolat secara molekuler untuk mengetahui jenis isolat tersebut.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Peningkatan Kapasitas tahun anggaran 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Anand, K., Kumari, B., & Mallick, M. A. (2016). Phosphate solubilizing microbes: An effective and alternative approach as biofertilizers. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 8(2), 37–40.
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2022). Rhizosphere microbial diversity and its role in plant growth promotion of invasive weeds: A review. *Journal of Applied Microbiology*, 132(4), 2510–2528. <https://doi.org/10.1111/jam.15421>
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2019). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (8th ed.). Pearson Education.
- Huslina, F., & Harahap, D. (2019). Isolasi bakteri pengikat nitrogen dengan menggunakan media Jensen. *Jurnal Agrotek UMMAT*, 6(2), 90–96.

- Kumar, A., Maurya, B. R., & Raghuwanshi, R. (2014). Isolation and characterization of PGPR associated with *Ageratum conyzoides*. *Journal of Environmental Biology*, 35, 753–760.
- Maulidan, K. & Putra, B.k. (2024). Pentingnya unsur hara fosfor untuk pertumbuhan tanaman padi. *Journal of Biopesticide and Agriculture Technology JBIOGRITech* 1(2): 47–54. DOI: <https://doi.org/10.61511/jbiogrittech.v1i2.2024.1163>.
- Pan, L dan C, Bai. (2023). Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Microorganisms*, 11(12), 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
- Sun, X., Tian, X., Jia, M., Hu, X., Zhang, C., & Zhao, L. (2026). Phosphate-solubilizing bacteria: A review of diversity, mechanisms, and applications in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 17, 1778470. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2026.1778470>
- Saini, R., & Aggarwal, A. (2018). Mycorrhizal and rhizospheric microbial association in *Calotropis gigantea* and *Ageratum conyzoides* across different soil types. *International Journal of Phytoremediation*, 20(11), 1089–1097.
- Salsabila, S., Rahmawati, H. N., & Fatimah. (2022). Screening and identification of nitrogen-fixing bacteria from rhizosphere of mangrove Jenu Tuban. *Journal of Bio-molecule Research and Engineering*, 1(2), 66–74.
- Satu Data Lombok Utara. 2025. Luas Tanah Kering Menurut Penggunaan. Diakses dari: <https://satudata.lombokutarakab.go.id/dataset/resource/luas-tanah-kering-menurut-jenis-penggunaan-per-kecamatan>.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2022). *Plant physiology and development* (7th ed.). Oxford University Press.
- Thijs, S., Sillen, W., & Vangronsveld, J. 2023. The rhizosphere microbiome of invasive Asteraceae: Insights from *Synedrella nodiflora* and *Ageratum conyzoides*. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1102456.