

POTENSI RIZOBAKTERI TANAMAN RUMPUT BENGALA (*Panicum maximum*) SEBAGAI AGEN *PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA* (PGPR)

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 pada Program Studi Biologi



Disusun oleh:
Ima Sri Subekti
17106040023

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2024



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1505/Un.02/DST/PP.00.9/08/2024

Tugas Akhir dengan judul : Potensi Rizobakteri asal Tanaman Rumpuk Benggala (*Panicum maximum*) sebagai Agen Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : IMA SRI SUBEKTI
Nomor Induk Mahasiswa : 17106040023
Telah diujikan pada : Selasa, 30 Juli 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Arifah Khusnuryani, S.Si., M.Si.

SIGNED

Valid ID: 66c2c93f32b65



Penguji I

Lela Susilawati, S.Pd., M.Si., PhD.

SIGNED

Valid ID: 66b87bd46407



Penguji II

Agessy Ika Nurlita, M.Si.

SIGNED

Valid ID: 66c2f4a942b6



Yogyakarta, 30 Juli 2024

UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.

SIGNED

Valid ID: 66c544bda7489

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Ima Sri Subekti

NIM : 17106040023

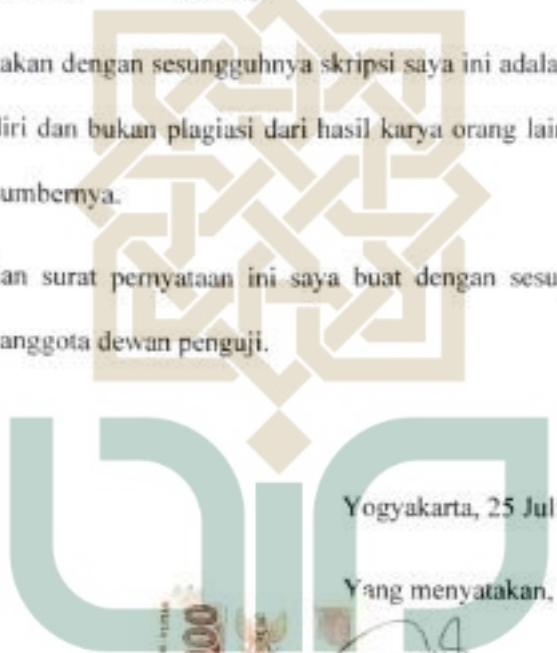
Program Studi : Biologi

Menyatakan dengan sesungguhnya skripsi saya ini adalah asli hasil karya atau penelitian sendiri dan bukan plagiasi dari hasil karya orang lain kecuali pada bagian yang dirujuk sumbernya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya agar dapat diketahui oleh anggota dewan penguji.

Yogyakarta, 25 Juli 2024

Yang menyatakan,



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
Ima Sri Subekti
NIM. 17106040023

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamualaikum

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Ima Sri Subekti

NIM : 17106040023

Judul Skripsi : Potensi Rizobakteri Tanaman Rumput Benggala (*Panicum maximum*) sebagai Agen *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Biologi.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 25 Juli 2024

Pembimbing

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA


Dr. Arifah Khumayyati, S.Si., M.Si.
NIP. 19750515 200003 2 001

POTENSI RIZOBAKTERI TANAMAN RUMPUT BENGGALA (*Panicum maximum*) SEBAGAI AGEN PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR)

Ima Sri Subekti

17106040023

ABSTRAK

Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) merupakan kelompok bakteri yang hidup di sekitar akar tanaman dan membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme. Penelitian ini dilakukan berdasarkan pada kurangnya penelitian mengenai kelimpahan bakteri rizosfer pada perakaran rumput benggala. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh bakteri rizosfer asal rumput benggala yang potensial sebagai agen PGPR berdasarkan kemampuannya dalam melarutkan fosfat, memfiksasi nitrogen, dan menghasilkan hormon IAA. Isolat yang diperoleh diamati karakter morfologi koloni dan selnya. Serta karakter biokimianya. Empat isolat bakteri yang berhasil diisolasi dari perakaran rumput benggala memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang sama yaitu 0,07 ppm, mengekskresikan ammonium sebanyak 0,04 ppm, dan menghasilkan IAA sebanyak 0,07 ppm. Berdasarkan hasil identifikasi keempat isolat memiliki karakter yang mirip dengan anggota genus *Azotobacter*.

Kata kunci: *Plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR), Rizosfer, Rumput benggala (*Panicum maximum*)

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا
إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan
Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”

(Al-Qur'an Surat Al-Insyirah 5-6: 94)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji syukur atas nikmat yang telah diberikan Allah SWT sehingga Penulis diberikan kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih tentunya tidak lupa disampaikan kepada seluruh pihak yang terlibat dalam proses penyelesaian tugas akhir ini atas motivasi, dukungan dan doa yang diberikan. Suatu nikmat yang patut disyukuri atas selesainya tugas akhir ini, Penulis persembahkan kepada: kedua orang tua tercinta dan seluruh keluarga, terima kasih atas segala doa yang telah diberikan. Semoga Allah senantiasa merahmati, mengampuni, dan memberikan hidayah-Nya kepada kita semua.



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur ke hadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah serta nikmat-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Potensi Rizobakteri Tanaman Rumput Benggala (*Panicum maximum*) sebagai Agen *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR)”, sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Sarjana (S1) Program Studi Biologi. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman Islamiyah yakni agama Islam, semoga kita semua mendapat syafaat beliau di yaumul qiyamah nanti.

Suatu kebahagiaan dan kebanggaan tersendiri bagi Penulis karena dapat menyelesaikan skripsi ini, namun Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih banyak kekurangan. Meskipun demikian, atas dukungan dan bimbingan berbagai pihak, Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Phil Al Makin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
3. Ibu Najda Rifqiyati, S. Si., M. Si., selaku Kaprodi Biologi yang membantu segala kelancaran Penulis dalam menjalankan masa studi sebagai mahasiswa Program Studi Biologi.
4. Ibu Siti Aisah, S. Si., M. Si., selaku dosen pembimbing akademik yang membantu segala kelancaran Penulis dalam menjalankan masa studi sebagai mahasiswa Program Studi Biologi.
5. Ibu Dr. Arifah Khusnuryani, S. Si., M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan nasehat kepada Penulis sehingga skripsi ini bisa terselesaikan.
6. Ibu Lela Susilwati, S. Pd., M. Si., PhD. dan Ibu Agessty Ika Nurlita, S. Si., M. Si. selaku penguji yang telah memberikan masukan untuk perbaikan skripsi.
7. Ibu Ethik Susiawati Purnomo, S.Si., dan Bapak Dony Eko Saputro, S,Pd.I., selaku PLP di Laboratorium Biologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, serta

Bapak dan Ibu Staff Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga yang banyak membantu Penulis selama proses penelitian.

8. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Biologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga yang telah menyumbangkan pengetahuan selama perkuliahan.
9. Orang tua dan keluarga penulis yang senantiasa dengan tulus mendoakan, memotivasi, serta mendampingi dan memfasilitasi segala kebutuhan dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Teman-teman Biologi 2017 yang telah memberikan bantuan menemani dan selalu menyemangati Penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Yogyakarta, 25 Juli 2024

Penulis



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan	3
D. Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Peranan dan Karakteristik Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)	5
B. Rumput Benggala (<i>Panicum maximum</i>) dan Karakteristiknya	10
BAB III METODE	12
A. Waktu dan Tempat	12
B. Alat dan Bahan	12
C. Cara Kerja	12
D. Analisis Data	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
A. Hasil	17
B. Pembahasan	22
BAB V PENUTUP	27
A. Kesimpulan	27
B. Saran	27

DAFTAR PUSTAKA	28
CURRICULUM VITAE	34



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter faktor fisik dan kimia sampel tanah dari area perakaran rumput benggala (<i>Panicum maximum</i>).....	17
Tabel 2. Pengamatan karakteristik morfologi isolat bakteri rizosfer rumput benggala (<i>Panicum maximum</i>).....	18
Tabel 3. Profile Matching isolat bakteri rizosfer rumput benggala (<i>Panicum maximum</i>) dengan genus <i>Azotobacter</i>	21



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Rumput Benggala.....	11
Gambar 2. Penampakan koloni tunggal isolat bakteri rizosfer rumput benggala (Panicum maximum) yang diamati dibawah mikroskop stereo 0, 8x (a) BRB1 (b) BRB2 (c) BRB3 (d) BRB4.	17
Gambar 3. Penampakan hasil uji positif pada uji kualitatif fiksasi nitrogen asal isolat BRB1.....	18
Gambar 4. Kemampuan isolat rizobakteri dari perakaran rumput benggala (Panicum maximum) dalam memfiksasi nitrogen	19
Gambar 5. Penampakan hasil uji positif pada uji kualitatif produksi IAA asal isolat BRB1.....	19
Gambar 6. Kemampuan isolat rizobakteri dari perakaran rumput benggala (Panicum maximum) dalam produksi IAA.....	20
Gambar 7. Penampakan hasil uji positif pada uji kualitatif pelarut fosfat asal isolat BRB4.....	20
Gambar 8. Kemampuan rizobakteri dari perakaran rumput benggala (Panicum maximum) dalam melarutkan fosfat	21
Gambar 9. Penampakan morfologi sel isolat (a) BRB1 (b) BRB2 (c) BRB3 (d) BRB4. Pengamatan dengan mikroskop binokuler perbesaran 10 x10.22	

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan pestisida secara terus-menerus dapat menimbulkan efek samping negatif pada lahan pertanian yang menggunakannya. Apabila zat tersebut masuk ke dalam rantai makanan maka dapat menimbulkan berbagai penyakit seperti bayi lahir cacat, kanker dan *Chemically Acquired Deficiency Syndrom* (CAIDS). Penggunaan pestisida yang berlebihan juga akan meningkatkan biaya pengendalian, mempertinggi kematian organisme non target serta dapat menurunkan kualitas lingkungan, hal ini dibuktikan bahwa insektisida golongan organofosfat, karbamat dan piretroid sintesis berpengaruh negatif terhadap musuh alami (Laba, 2010).

Pertumbuhan tanaman yang baik tidak lepas dari peran bakteri yang terdapat pada zona perakaran. Bakteri yang terdapat pada tanah nantinya akan berperan sebagai penyumbang nutrisi bagi makhluk hidup terutama tanaman (Sumerta *et al*, 2019). Terdapat beberapa jenis bakteri rizosfer yang berfungsi untuk merombak senyawa organik menjadi nutrisi yang dibutuhkan tanaman, hal ini menjadikan bakteri rizosfer memiliki peran yang cukup vital untuk kesuburan tanah (Purwaningsih, 2005). Selain itu, peran lain dari bakteri tersebut adalah sebagai penghasil hormon yang akan diserap oleh tanaman sehingga pertumbuhannya menjadi lebih baik (Vessey, 2003).

Kelompok bakteri menguntungkan yang secara aktif mengkolonisasi rizosfer disebut dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) atau Rizobakteri Pemacu Tumbuh Tanaman (RPTT) (Rahni, 2012). Peningkatan pertumbuhan oleh rizobakteri tersebut terjadi melalui mekanisme yang terkait dengan karakter fungsional rizobakteri dan kondisi di lingkungan rizosfer itu sendiri (Husen *et al*, 2006). Populasi rizobakteri memberikan pengaruh yang besar dalam ekosistem tanah. Eksudat akar tanaman adalah sumber nutrisi baik yang tersedia untuk bakteri yang berada di dalam tanah dan mendukung kecepatan proliferasi di rizosfer. Beberapa genus bakteri secara umum yang memiliki aktifitas

PGPR diantaranya adalah *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas* dan *Serratia* (Toppo dan Tiwari, 2015)

Salah satu bakteri yang terdapat pada tanah adalah bakteri pelarut fosfat, bakteri ini dapat mengubah fosfat tidak larut dengan cara mensekresikan asam organik (Sutariati *et al*, 2006). Bakteri pelarut fosfat memiliki peran besar dalam membantu penyediaan unsur hara bagi tanaman karena mampu mengubah bentuk-bentuk fosfat yang tidak tersedia bagi tanaman menjadi bentuk yang tersedia (Asniah *et al*, 2013). Selain itu terdapat pula bakteri penambat nitrogen yang berperan sebagai mikro simbiosis dalam proses simbiosis dengan tanaman serta membantu tanaman dalam penyerapan nitrogen (Widawati dan Sulasih, 2005). Bakteri tanah juga mampu menghasilkan zat pengatur tumbuh yang diperlukan oleh tanaman, salah satunya adalah hormon *Indole Asetic Acid* (IAA). Hormon ini berfungsi dalam mengontrol proses fisiologi dan perpanjangan sel dalam batang maupun akar, serta menghambat pertumbuhan tunas samping. Peran lain dari hormon IAA yaitu merangsang terjadinya absisi serta berperan dalam pembentukan jaringan xilem dan floem (Larosa *et al*, 2013).

Beberapa peneliti melaporkan terdapat bakteri yang mampu melarutkan fosfat, memfiksasi nitrogen serta menghasilkan hormon IAA pada perakaran rumput-rumputan, hal ini membuat rizosfer rumput-rumputan berpotensi sebagai agen PGPR. Jumadi (2015) melaporkan pada perakaran padi (*Oryza sativa*) dan jagung (*Zea mays*) terdapat bakteri penghasil IAA dengan konsentrasi IAA sebesar 7,35-38,35 ppm serta bakteri pelarut fosfat dengan rasio zona bening 1,7-2,6 cm. Jochum *et al* (2019) juga melaporkan rizobakteri pada perakaran *Cynodon* sp dapat menjadi agen PGPR dan dapat mengurangi gejala kekeringan pada tanaman gandum (*Triticum aestivum*) dan bibit jagung (*Zea mays*).

Keberadaan PGPR dapat melindungi wilayah rizosfer dari efek berbagai polutan dengan mendorong kemampuan toleransi stres abiotik (Khatoon *et al*, 2020). Menurut Singh *et al* (2023) PGPR dapat digunakan sebagai bioremediator fluorida yang efisien untuk lingkungan tanah. Patani *et al* (2023) dan Patel *et al* (2023) melaporkan *Bacillus subtilis* sebagai isolat PGPR dapat meningkatkan

perkembangan *Trigonella foenum graecum* L. dibawah stress garam dan kekeringan.

Rumput benggala (*Panicum maximum*) merupakan salah satu rumput-rumputan yang tumbuh secara liar maupun sengaja dibudidayakan. Rumput benggala merupakan rumput terbaik di Asia Tenggara yang berasal dari Afrika Tropik serta sudah dibudidayakan di daerah tropis maupun subtropik. Rumput benggala mampu tumbuh pada tanah bebatuan dengan lapisan tanah yang tipis, tanah dengan drainase buruk, toleran pada keadaan kering serta tahan naungan (Suretno *et al*, 2022). Rumput benggala memiliki bentuk akar rimpang berbulu hingga berambut (Azizah *et al*, 2023).

Banyak penelitian yang memfokuskan pada nutrisi rumput benggala sebagai pakan ternak, namun penelitian mengenai perakaran rumput benggala belum banyak diteliti. Penelitian ini dilakukan berdasarkan pada kurangnya penelitian mengenai kelimpahan bakteri rizosfer pada perakaran rumput benggala. Diharapkan dengan adanya penelitian ini rumput benggala tidak hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak, namun dapat digunakan sebagai agen PGPR.

B. Rumusan Masalah

1. Apakah terdapat bakteri rizosfer rumput benggala yang berpotensi sebagai agen PGPR?
2. Bagaimana kemampuan isolat rizobakteri asal perakaran rumput benggala dalam memproduksi hormon IAA, melarutkan fosfat serta memfiksasi nitrogen sehingga berpotensi sebagai agen PGPR?

C. Tujuan

1. Mendapatkan isolat bakteri rizosfer rumput benggala yang berpotensi sebagai agen PGPR.
2. Mengetahui kemampuan isolat rizobakteri asal perakaran rumput benggala dalam memproduksi hormon IAA, melarutkan fosfat serta memfiksasi nitrogen sehingga berpotensi sebagai agen PGPR.

D. Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan informasi mengenai isolat bakteri rizosfer asal perakaran rumput benggala yang berpotensi sebagai agen PGPR sehingga nantinya dapat diaplikasikan sebagai pupuk biologi.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Terdapat isolat bakteri rizosfer rumput benggala yang berpotensi sebagai agen PGPR yang memiliki kemiripan karakter dengan anggota genus *Azotobacter* sp. berdasarkan metode *profile matching* yang mengacu pada *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*.
2. Isolat bakteri rizosfer rumput benggala memiliki kemampuan dalam memproduksi hormon IAA, melarutkan fosfat serta memfiksasi nitrogen yang rendah. Isolat bakteri rizosfer rumput benggala yang diambil dari kawasan Tambak Boyo, Sleman kurang efektif apabila digunakan sebagai agen PGPR.

B. Saran

1. Diperlukan identifikasi lebih lanjut guna mengetahui klasifikasi bakteri yang memiliki potensi sebagai PGPR.
2. Diperlukan penelitian mengenai strategi lebih lanjut untuk meningkatkan kemampuan isolat yang diperoleh.
3. Diperlukan penelitian untuk mengetahui potensi isolat yang diperoleh sebagai biostimulan, biofertilizer, dan bioprotektan.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan isolat yang lebih potensial yang berasal dari sumber lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Aganga, A. A., dan Tshwenyane. (2004). Potentials of Guinea Grass (*Panicum maximum*) as Forage Crop in Livestock Production. *Pakistan Journal of Nutrition* 3: 1-4.
- Alpriyan D, Karyawati AS. (2018). Pengaruh Konsentrasi dan Lama Perendaman Hormon Auksin Pada Bibit Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Teknik Bud Chip. *Jurnal Produksi Tanaman*. 6(7): 1354–1362.
- Arisandi, R., Dharmono, Muchyar. (2015). Keanekaragaman Spesies Familia Poaceae di Kawasan Reklamasi Tambang Batubara PT Adaro Indonesia Kabupaten Tabalong. *Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS*. Lampung.
- Azizah, M., Aulia, M., dan Supriyatna, A. (2023). Inventarisasi dan Identifikasi Jenis Tumbuhan Famili Poaceae di Sekitar Cibiru, Bandung, Jawa Barat. *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. 1(2): 94-105.
- A'ini, Z. F. (2013). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil IAA (Indole-3-Acetic Acid) dari Tanah dan Air di Situgunung, Sukabumi. *Jurnal Faktor Exacta*, 6 (3), 231-240.
- A'yun, K. Q., Hadiastono, T., dan Martosudiro, M. (2013). Pengaruh Penggunaan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) terhadap Intensitas TMV (*Tobacco Mosaic Virus*), Pertumbuhan, dan Produksi pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal HPT*. 1(1): 47-57.
- Baihaqi, A. F., Yamika. W. S. D., dan Aini, N. 2018. Pengaruh Lama Perendaman Benih dan Konsentrasi Lama Penyiraman dengan PGPR pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus* L.). *J. Protan* 6 (5): 899-905.
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World journal of microbiology & biotechnology*, 28(4), 1327–1350.
- Dewi, P. R. dan Trimulyo, G. (2024). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Penambat Nitrogen dari Rizosfer Tanaman Nanas di Lereng Gunung Kelud Kediri. *Lentera Bio* 13(1), 73-85.
- Doi, T., Abe, J., Shiotsu, F., Morita, S. (2011). Study on Rhizosphere Bacterial Community in Lowland Rice Grown With Organik Fertilizer by Using PCR-denaturing Gradient Gel Electrophoresis. *Plant Root* (5), 516.
- Egamberdieva, D. I. 2008. Plant growth promoting properties of rhizobacteria isolated from wheat and pea grown in loamy sand soil. *Turk J Biol* 32(1):9–15.
- Ginting, R. C. B., Rasti, S., dan Edi, H. (2006). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Bogor: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Haerani, Nining. (2021). *Potensi Bakteri Pemfiksasi Nitrogen Non Simbiotik sebagai Agen Biofertilizer dan Biostimulan pada Padi Sawah*. [Disertasi]. Makassar: Universitas Hasanuddin.

- Hindersah, R., Kalay, M. dan Talahaturuson, A. (2018). Bakteri Pemfiksasi Nitrogen *Azotobacter* Sebagai Pupuk Hayati dan Pengendali Penyakit pada Tanaman Kacang Panjang. *Agric*, 30(1), 25-33.
- Husen, Edi. (2003). Screening of soil bacteria for plant growth promoting activities in vitro. *J.Agric. Sci.*, 4:27-31.
- Husen, E., Rasti, S., dan Ratih, D, H. (2006). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Bogor: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Idris, E. E., Iglesias, D. J., Talon, M., & Borriss, R. (2007). Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Molecular plant-microbe interactions: MPMI*, 20(6), 619–626.
- Ishak, I., Tri, A., dan Luqman, Q. A. (2018). Screening of Rhizosphere Bacteria from Clove (*Syzygium aromaticum*) in Tidore Island as Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *J. Exp. Life Sci* 8 (3), 153-160.
- Istina, I. N., Widiastuti, H., Joy, B. (2020). Potensi Bakteri Pelarut P dan Penambat N Rhizosfer Kelapa Sawit Gambut Saprik. *Jurnal Agro*7(1), 14-24.
- Jalal, A., Filho, M. C. M. T., da Silva, E. C., da Silva Oliveira, C. E., Freitas, L. A., & do Nascimento, V. (2022). Plant Growth-Promoting Bacteria and Nitrogen Fixing Bacteria: Sustainability of Non-legume Crops. In *Nitrogen Fixing Bacteria: Sustainable Growth of Non-legumes* (pp. 233-275): Springer.
- Jochum M. D., McWilliams K. L., Borrego E. J., Kolomiets M.V, Niu G, Pierson EA and Jo Y-K (2019) Bioprospecting Plant Growth-Promoting Rhizobacteria That Mitigate Drought Stress in Grasses. *Frontiers Microbiology*. 2106 (10), 1-9.
- Jumadi, O., Liawati, dan Hartono. (2015). Produksi Zat Pengatur Tumbuh IAA (*Indole Asetic Acid*) dan Kemampuan Pelarutan Fosfat pada Isolat Bakteri Penambat Nitrogen Asal Kabupaten Takalar. *Jurnal Bionature* 16 (1), 43-48.
- Jeger, M. J. (2001). *Biotic Interaction and Plant-Pathogen Association*. New York: John Willey & Sons.
- Kamnev A., Shchelochkov A., Perfiliev Y. D. Tarantilis P. A., dan Polissiou M. G. (2001). Spectroscopic investigation of indole-3-acetic acid interaction with iron (III). *J Mol Struct* 563:565-572.
- Khatoon, Z., Huang, S., Rafique, M., Fakhar, A., Kamran, M. A., & Santoyo, G. (2020). Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. *Journal of environmental management*, 273.

- Kloepper, J.W., & Schroth, M.N. (1982). *Plant Growth Promoting Rhizobacteria Onradish*. 879-882. Dlm. Proc. 4th into Conf. Plant Pathogenic Bact. GibertClarey, Tours, Franco.
- Kurrey, D. K., Sharma, R., Lahre, M. K., & Kurrey, R. L. (2018). Effect of Azotobacter on physio-chemical characteristics of soil in onion field. *The Pharma Innovation Journal*, 7(2), 108-113.
- Laba I Wayan, (2010). Analisis Empiris Penggunaan Insektisida Menuju Pertanian Berkelanjutan. *Orasi Profesor Riset di Bogor, Pengembangan Inovasi Pertanian 3*: 120-137.
- Larasati, E. D., Rukmi, M. G. I., Kusdiyantini, E., Ginting, R. C. B. (2018). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Gambut. *Bioma* 20 (1), 1-8.
- Larosa, S. F., Endang, K., Budi, R. (2013). Kemampuan Isolat Bakteri Penghasil *Indole Asetic Acid* (IAA) dari Tanah Gambut Sampit Kalimantan Tengah. *Jurnal Biologi* 2 (3), 41-54.
- Lengkong, S. C., Siahaan, P., dan Tangapo, A. M. (2022). Analisa Karakteristik dan Uji Bioaktivitas Bakteri Rizosfer PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*). *Jurnal Bios Logos* 12(2), 104-114.
- Mike, A. E., Braide, W., Adeleye, S. A. (2018). Studies on Indole Asetic Acid (IAA) Production by Rhizobacteria and Growth Promoting Potentials. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*.5 (2), 133-140.
- Mogea, R. A., Waode, I. C, L, H, P., Hermawaty, A. (2022). Isolasi Bakteri Penghasil *Indole Asetic Acid* pada Tanaman Hortikultura di Perkebunan Prafi SP 1, Manokwari. *Jurnal Ilmu Pertanian* 27 (1), 1-6).
- Nosrati, R., Owlia, P., Saderi, H., Rasooli, I., & Ali Malboobi, M. (2014). Phosphate solubilization characteristics of efficient nitrogen fixing soil Azotobacter strains. *Iranian journal of microbiology*, 6(4), 285–295.
- Nontji, Maimuna. (2022). *Fenomena dan Dinamika Rhizobakteri pada Rhizosfer Padi Sawah*. Fakultas Pertanian Universitas Muslim Indonesia. Makassar.
- Novo, L. A., Castro, P. M., Alvarenga, P., & da Silva, E. F. (2018). Plant growth–promoting rhizobacteria-assisted phytoremediation of mine soils. *Bio-Geotechnologies for mine site rehabilitation* (pp. 281-295).
- Paramita, W., Yulianty, Bambang, I., Suratman. (2019). Diversity of Herbaceous Plant in The Utilization Block of Sumbar Agung Tahura Wan Abdul Rachman Bandar Lampung. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*.6 (2), 31-40.
- Patani, A., Prajapati, D., Ali, D., Kalasariya, H., Yadav, V. K., Tank, J., Bagatharia, S., Joshi, M., & Patel, A. (2023). Evaluation of the growth-inducing efficacy of

- various *Bacillus* species on the salt-stressed tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Frontiers in plant science*, 14.
- Patel, M., Islam, S., Husain, F. M., Yadav, V. K., Park, H. K., Yadav, K. K., Bagatharia, S., Joshi, M., Jeon, B. H., & Patel, A. (2023). *Bacillus subtilis* ER-08, a multifunctional plant growth-promoting rhizobacterium, promotes the growth of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plants under salt and drought stress. *Frontiers in microbiology*, 14.
- Patil, V. (2011). Production of Indole Acetic Acid by *Azotobacter* sp. *Rec Res Sci Technol*. 3 (12), 14-16.
- Prayudyaningsih, R., Nursyamsi, Ramdana, S. (2015). Mikroorganisme Tanah Bermanfaat pada Rhizosfer Tanaman Umbi di Bawah Tegakan Hutan Rakyat Sulawesi Selatan. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon* 1 (4), 954-959.
- Purbajanti, E. D., Soetrisno, R. D., Hanudin. E., dan Budhi. S. P. S. (2010). Penampilan Fisiologi dan Hasil Rumput Benggala (*Panicum maximum jacq.*) pada Tanah Salin Akibat Pemberian Pupuk Kandang, Gypsum dan Sumber Nitrogen. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 12 (1), 61-67.
- Purwaningsih, S. (2005). Isolasi, Enumerasi, dan Karakterisasi Bakteri Rhizobium dari Tanah Kebun Biologi Wamena, Papua. *Biodiversitas*. 6 (2), 81-84.
- Romadloni. M. Y., Wibowo. F. A. C., Wahidiah. T., dan Pradipta. A. (2024). Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) pada Hutan Produksi di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Pujon Hill UMM Kabupaten Malang. *Berita Biologi* 23(1): 91-102.
- Sari. R dan Prayudyaningsih. R, (2015). Rhizobium: Pemanfaatannya sebagai Bakteri Penambat Nitrogen. *Info Teknis Eboni*; 12(1): 51–64.
- Sembiring, A. dan Sumanto, N. L. (2021). Isolasi Bakteri Penghasil Asam Indol Asetat (AIA) dan Pengaruhnya Terhadap Viabilitas Benih Cabai Merah. *Jurnal Agrotek Ummat* 8(1), 27-31.
- Seshachala, Usha, & Tallapragada, Padmavathi. (2012). Phosphate Solubilizers from the Rhizosphere of *Piper nigrum* L. in Karnataka, India. *Chilean journal of agricultural research*, 72(3), 397-403.
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., Gobi, T, A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springerplus* 2, 587–600.
- Simanungkalit, R. D. M. (2006). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Bogor: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Simatupang, D. S. (2008). Berbagai Mikroorganisme Rhizosfer pada Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.) di Pusat Kajian Buah-buahan Tropika (PKBT) IPB Desa

- Ciomas, Kecamatan Pasirkuda, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sukmadewi, D. K. T., Suharjono, dan Antonius. S., (2015). Uji Potensi Bakteri Penghasil Hormon IAA (*Indole Asetic Acid*) dari Tanah Rhizosfer Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.). *Jurnal Biotropika* 3(2), 91-95.
- Sukmadi, R. B. (2012). Aktivitas Fitohormon Indole-3-Acetic Acid (IAA) dari Beberapa Isolat Bakteri Rizosfer dan Endofit. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* 14 (3), 221-227.
- Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). Azotobacter: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi journal of biological sciences*, 27(12), 3634–3640.
- Sumerta, I. N., Setiawan, R., Sudiana, I. M. (2019). Understanding the Reestablishment of Micro-Ecosystem on the Soil Microbial Community After Merapi Volcano Eruption Through 16S Metagenomic Analysis. *ISIBIO 2019*. IOP Conf. Series Earth and Environmental Science, 439.
- Suretno, N. D., Tambunan, R. D., Novitasari, E. (2022). Kemampuan Produksi Rumput *Panicum Maximum* cv Gatton pada Lahan Kering Provinsi Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-10*, Palembang: 27 Oktober 2022. Hal. 922-929.
- Suryatmana. P., Kamaluddin. N. N., dan Setiawati. M. R. (2022). Efektifitas *Azotobacter* sp. dan *Pseudomonas* sp. sebagai *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) pada Andisol-Lembang. *Soilrens20* (1): 51-60.
- Susilowati, D. N, R. Saraswati, R.D. Hastuti, dan Yuniarti, E. (2007). Peningkatan Serapan N pada Kedelai yang Diinokulasi Bakteri Diazotrof Endofit di Medium Vermiculit. *Jurnal Tanah dan Iklim*.26, 41-46.
- Susilowati, D. N. (2015). *Analisis Komunitas dan Fungsi Bakteri Rhizosfer Tanaman Padi Pada Gradien Salinitas Tanah Pesisir*. [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sutedjo, M, M. (1996). *Mikrobiologi Tanah*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Tando E. (2018). Upaya efisiensi dan peningkatan ketersediaan nitrogen dalam tanah serta serapan nitrogen pada tanaman padi Sawah (*Oryza sativa* L.). *Buana Sains*. 18(2): 171-180.
- Tang, J., Li, Y., Zhang, L., Mu, J., Jiang, Y., Fu, H., Zhang, Y., Cui, H., Yu, X., & Ye, Z. (2023). Biosynthetic Pathways and Functions of Indole-3-Acetic Acid in Microorganisms. *Microorganisms*, 11(8), 2077.

- Tarigan, R. S., Jamilah, I. T., Elimasni. (2013). Seleksi Bakteri Penambat Nitrogen Dan Penghasil Hormon IAA (*Indole Acetic Acid*) Dari Rizosfer Tanah Perkebunan Kedelai (*Glycine Max L.*). *Saintia Biologi* 1 (2), 2, 42-48.
- Tilak, K. V. B. R., Ranganayaki, N., Pal, K. K., De, R., Saxena, A. K., Nautiyal, C. S., Mittal, S., Tripathi, A. K., Johri, B. N. (2005). Diversity of Plant Growth and Soil Health Supporting Bacteria. *Curr Sci* 89, 136-150.
- Timmusk, S., Paalme, V., Pavlicek, T. Bergguist, J., Vangala, A., Danilas, T., Nevo, E. (2011). Bacterial Distribution in the Rhizosphere of Wild Barley Under Contrasting Microclimates. *Plos One* 6, 1-7.
- Timofeeva A, Galyamova M, Sedykh S. (2022). Prospects for Using Phosphate-Solubilizing Microorganisms as Natural Fertilizers in Agriculture. *Plants*. 11(16):2119.
- Toppo, S, R. dan Tiwari, P. (2015). Phosphate Solubizing Rhizospheric Bacterial Communities of Different Crops of Korea District of Chattisgarh. *Academic Journal*. 9 (25), 1629-1636.
- Waluyo, I. (2008). *Teknik Metode Dasar Mikrobiologi*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang Press.
- Wulandari, N., Irfan, M., & Saragih, R. (2019). Isolasi dan Karakterisasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* dari Rhizosfer Kebun Karet Rakyat. *Jurnal Dinamika Pertanian Edisi Khusus* 3, 57-64.
- Zhu, F., Qu, L., Hong, X., & Sun, X. (2011). Isolation and Characterization of a Phosphate-Solubilizing Halophilic Bacterium *Kushneria* sp. YCWA18 from Daqiao Saltern on the Coast of Yellow Sea of China. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*.