



Kelimpahan dan Keragaman Rhizobakteria pada Tanaman Padi sebagai Pengganti Pestisida untuk Kesehatan Lingkungan dan Konsumen

Eryna Elfasari Rangkuti¹, Ekamaida², Lili Agustina³

¹ (Fakultas Sains dan Kesehatan, Universitas Ibnu Chaldun, Jakarta, Indonesia)

² (Fakultas Pertanian, Universitas Teuku Umar, Aceh, Indonesia)

³ (Fakultas Sains dan Kesehatan, Universitas Ibnu Chaldun, Jakarta, Indonesia)

Correspondent Email: erynaelfasari@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Rhizobakteria merupakan kelompok bakteri heterogen yang memiliki relung pada permukaan akar tanaman (rizosfer) yang dikenal sebagai Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) karena memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman melalui kemampuan menghasilkan hormon dan memperbaiki absorpsi unsur hara di tanah. Makalah ini mengulas dan mensintesis 54 jurnal dari Scopus Database yang diterbitkan antara tahun 2012 – 2022. Artikel jurnal yang diulas dikategorikan ke dalam lingkup kelimpahan dan keragaman Rhizobakteria dalam hubungannya terhadap performanya di lingkungan. Hasil review melalui keterkaitan abstrak dengan tema bakteri PGPR, bakteri endofit dan kelimpahannya, sehingga dihasilkan 9 jurnal yang terkait dengan ruang lingkup tersebut. Kelimpahan dan keragaman mikrob ini sudah banyak dilaporkan dalam beberapa studi yang terkait dengan kemampuannya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, adaptasinya dalam menurunkan tingkat stress pada tanaman dan pencemaran pupuk kimia pada tanah.

Kata kunci: Kelimpahan, keragaman, Rhizobakteria, Padi, Tanaman Sereal, Lingkungan

Abstract

Rhizobacteria is a heterogeneous group of bacteria that have niches on the surface of plant roots (rizosfer) known as Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) because it has a significant influence on plant growth through the ability to produce hormones and improve the absorption of nutrients in the soil. This paper reviews and synthesizes 54 journals from the Scopus Database published between 2012 – 2022. The journal articles reviewed are categorized into the scope of rhizobacterium abundance and diversity in relation to its performance in the environment. The results of the review through abstract linkages with the theme of PGPR bacteria, endophytic bacteria and their abundance, resulted in 9 journals related to the scope. The abundance and diversity of these microbes has been widely reported in several studies related to their ability to increase plant growth, their adaptation in reducing stress levels in plants and chemical fertilizer pollution in the soil. The dominant topic that we found in this systematic review is the presence of microbes, especially Rhizobacteria in the soil and the environment, which has the ability to improve plant performance, improve soil structure and nutrient absorption and degrade heavy metals and chemicals.

Keywords: Abundance, diversity, Rhizobacteria, rice, cereal plants, environment

Accepted Date: 22 Desember 2025

Publish Date: 10-02-2026

Pendahuluan

Penggunaan lahan secara terus menerus, khususnya untuk penanaman padi, akan berdampak pada penurunan kualitas dan produktivitas lahan. Pengelolaan lahan selanjutnya melalui pemupukan seringkali menyebabkan penurunan bahan organik dan kesuburan. Ini juga mempengaruhi sifat fisikokimia, biokimia, dan mikrobiologi tanah. Sumber nitrogen anorganik, seperti urea, seringkali mengurangi efisiensi lahan saat diaplikasikan dan tidak terikat secara organik dengan N; oleh karena itu, tanaman menjadi kekurangan nitrogen (Witte, 2011). Namun, pendekatan biologis untuk memperbaiki kualitas dan kesuburan tanah akan meningkatkan produksi padi dan mengurangi konsumsi pupuk sintetis (Sun et al., 2019). Ini juga mengurangi masalah lingkungan yang terkait dengan penggunaan pupuk yang berlebihan. Oleh karena itu, meningkatkan fiksasi nitrogen secara biologis pada lahan sawah menjadi sangat penting (Ma et al., 2019).

Penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dapat berbahaya bagi tanah dan kesehatan tanaman. Penggunaan pupuk kimia secara ekstensif menyebabkan kerusakan stabilitas unsur hara tanah dan keanekaragaman hayati rhizosfer dalam jangka panjang. Untuk itu diperlukan alternatif agens hayati yang mampu meningkatkan performa tanaman dan memperbaiki struktur tanah yang dikenal sebagai agens hayati yang ramah terhadap lingkungan yaitu Rhizobakteria. Rizobakteria adalah kelompok bakteri heterogen pada permukaan akar (rhizosphere) yang dikenal sebagai Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) karena memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman melalui kemampuan menghasilkan hormon IAA (Indole Acetic Acid), menghasilkan eksopolisakarida sebagai bentuk adaptasi dari cekaman kekeringan, melarutkan fosfat tanah, menghasilkan ACC-deaminase (Amino Cyclepropane Carboxilate Deaminase) dan sebagai agen biokontrol fungi patogen (Dey et al., 2004; Kaci et al., 2005; Husen et al., 2011).

Bakteri PGPR bisa diidentifikasi melalui jumlah dan aktivitasnya. Jumlah bakteri PGPR adalah total komponen mikrobiologis tanah dengan penghitungan jumlah mikroba tanah (Jenkinson et al., 2004). Sedangkan aktivitas mikroba tanah dapat dimonitor dari laju respirasi tanah, aktivitas eksoenzim dan total biomassa C mikroba tanah. Laju respirasi tanah dan aktivitas eksoenzim tanah merupakan salah satu pengukuran aktivitas biologi tanah yang mencerminkan produksi CO₂ (Kaur et al., 2006).

Metode Penelitian

Tinjauan sistematis dalam penelitian ini dimulai pada scopus database dengan memasukkan kata kunci (rhizobacteria AND rice *AND environment) dihasilkan 6 jurnal, kemudian kata kunci berikutnya (rhizobacteria AND rice *AND biodiversity) dihasilkan 48 jurnal terkait. Jurnal yang terkumpul, diidentifikasi kembali berdasarkan judul dan abstrak. Jurnal yang telah teridentifikasi berdasarkan judul dan abstrak, disaring kembali sesuai dengan topik yang ingin *direview*. Setelah itu jurnal yang terkumpul diidentifikasi kembali berdasarkan tahun, metode, kelimpahan dan keragaman

Rhizobakteria pada tanaman padi dan sereal. Proses pemilihan kata kunci selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1 berikut

No.	String
1.	Rhizobacteria AND rice * AND

environment
2. Rhizobacteria AND rice* AND biodiversity

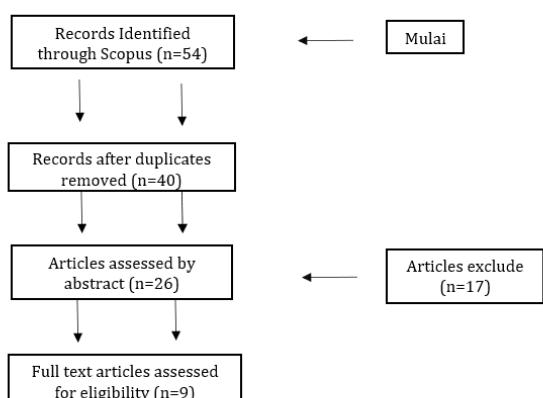
Dari pencarian kata kunci diatas, kita dapat merumuskan pertanyaan yang berkaitan dengan topik:

1. Bagaimana kelimpahan Rhizobakteria dan performanya terhadap tanaman, tanah dan lingkungan?
2. Bagaimana keragaman Rhizobakteria dan performanya terhadap tanaman, tanah dan lingkungan?

Jurnal yang telah dikelompokkan berdasarkan masing-masing judul kemudian dianalisis untuk mengetahui sebaran jumlahnya. Di jurnal terlihat bahwa judul kelimpahan dan keragaman spesies Rhizobakteria dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan memperbaiki struktur tanah dan lingkungan, hanya saja yang membedakannya adalah perbedaan negara asal. Dari seluruh jurnal, penulis menemukan studi tertinggi dan terbaru terdapat pada berbagai negara di Eropa dan Asia dalam rentang tahun 2005-2022. Distribusi topik jurnal berdasarkan judul, penulis, tahun terbit dan negara dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pencarian kata kunci Pencarian jurnal berdasarkan database scopus dengan kata kunci diatas menghasilkan jurnal sebanyak 54 jurnal namun di saring kembali berdasarkan ruang lingkup kelimpahan dan keragaman Rhizobakteria mencakup 26 jurnal, dan disaring kembali dengan mengkhususkan pada tanaman padi danereal menghasilkan sebanyak 9 Jurnal dapat dilihat pada Tabel 2. Jurnal yang dipilih dalam periode waktu 10 tahun, yakni jurnal terbitan tahun 2012 – 2022 dari database Scopus dan diidentifikasi kelayakan dan kemiripan antar jurnal dengan software. Kerangka literatur review dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 1. Diagram alir kerangka *systematic review*

No	Judul	Penulis	Tahun	Negara
1.	Bacteria in Soil: Promising Bioremediation Agents in Arid and Semi-Arid Environments for Cereal Growth Enhancement	Abdelwahab Rai, Mohamed Belkacem, Imen Assadi	2022	Algeria
2.	The Effects of <i>Rhizobium</i> Inoculation on the Growth of Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) and White Radish (<i>Raphanus sativus</i> L.)	PM Nguyen, HT Nguyen, HTT Le, LB Nguyen	2022	Vietnam
3.	Comparative Effectiveness of ACC-Deaminase and/or N Fixing Rhizobacteria in Rice	Waseem Hassan, Julie David	2018	China dan Pakistan

4.	Alternative Strategies for Multi-Stress Tolerance and Yield Improvement in Millets	Muhammad Numana, Desalegn D Serba, Ayalew L Osena	2021	North Carolina
5.	Isolation and Characterization of N-Fixing and IAA Producing Rhizobacteria from Two Ricefield Agro-ecosystems in South Sulawesi, Indonesia	Nining Haerani, Elkawakib Syam'un, Burhanuddin Rasyid, Feranita Haring	2021	Indonesia
6.	Advantages of Amending Chemical Fertilizer with PGPR Under Alternate Wetting Drying Rice Cultivation	Chesly Kit Kobua, Ying Tzy Jou, Yu Min Wang	2021	Taiwan
7.	Influence of Rhizobacteria on Soil Ion Concentration Under Paddy Cultivation	Elmi Junita, Cahyo Prayogo, Yu Ting Weng, Chesly Kit Kobua, Ying Tzy Zou	2021	Taiwan
8.	Making Rice Production More Environmentally Friendly	Norman Uphoff, Frank B Dazzo	2016	Michigan
9.	Evaluation of Biofertilizers in Irrigated Rice: Effects on Grain Yield at Different Fertilizer Rates	Nino Paul, Pompe C, Edna Aguilar, Rodrigo B, Stephan M	2012	Philipina

3.1. Kelimpahan dan Keragaman Rhizobakteria serta Potensinya terhadap Tanaman dan Lingkungan

3.1.1 Bacteria in Soil: Promising Bioremediation Agents in Arid and Semi-Arid Environments for Cereal Growth Enhancement

Pada masa sekarang ini, beberapa studi terkait peran PGPR sebagai penghilang stres abiotik dalam tanah dan prospek penerapannya untuk mengurangi kontaminasi logam tanah sangat ramai dibicarakan. Namun, belum banyak yang diarahkan untuk mengkaji mengenai dampaknya terhadap bioremediasi tanah dan peningkatan pertumbuhan serealia di berbagai lingkungan. Dalam review ini kami menyoroti pentingnya penggunaan bakteri tanah yang bermanfaat untuk pemulihan kualitas tanah dan peningkatan pertumbuhan tanaman di lingkungan. Menurut Awika (2011) penting untuk disebutkan bahwa sereal, terutama gandum dan beras, dikenal sebagai tanaman terpenting di dunia. Bersama dengan jagung, mereka merupakan lebih dari 50% dari semua kalori yang dikonsumsi manusia di dunia. Selain itu, pola makan manusia, terutama di negara berkembang yang dominan kekeringan, pada dasarnya didasarkan pada sereal. Misalnya, permintaan sereal global diperkirakan akan meningkat dari 585 juta menjadi 828 juta ton pada tahun 2025, setara dengan peningkatan sebesar 42% [Waughray, 2011]. Selain itu, produksi beras dan gandum negara berkembang seharusnya melonjak dari 4,2 dan 3,1 menjadi 4,7 dan 3,5 ton/ha, masing-masing antara tahun 2015 dan 2030. Produksi sereal yang meningkat seperti itu tampaknya tidak memuaskan untuk memenuhi percepatan pertumbuhan populasi manusia yang diperkirakan akan mencapai 8,5 miliar pada akhir tahun 2030 [1,24]. Dari hasil kajian Rai et al., (2022) bahwasanya di daerah kering, hasil pertanian seperti gandum dan beras menyediakan karbohidrat, mineral, serat, dan vitamin esensial. Namun, kekeringan, desikasi, salinitas tinggi, logam yang berpotensi beracun dan akumulasi hidrokarbon adalah beberapa tekanan yang mempengaruhi kualitas tanah dan produksi serealia di lingkungan kering. Bakteri tanah tertentu, disebut sebagai Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), dapat mengkolonisasi lingkungan akar tanaman, memberikan keuntungan yang menguntungkan bagi tanah dan tanaman. Di luar kemampuannya untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam kondisi tanpa tekanan, PGPR dapat membangun interaksi simbiosis dan non-simbiosis dengan tanaman yang tumbuh dalam kondisi stres, berpartisipasi dalam bioremediasi tanah, pengentasan stres, dan pemulihan pertumbuhan tanaman. Selain itu, kemampuan PGPR untuk memfiksasi nitrogen, untuk melarutkan bentuk nutrisi yang tidak larut dan untuk menghasilkan metabolit lain seperti siderofor, fitohormon, antibiotik dan enzim hidrolitik. Dari hasil penelitian ini dihasilkan PGPR yang paling berpotensi yaitu dari genus *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobakter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*.

Rai et al., (2022) juga melaporkan bahwa PGPR memiliki peran penting dalam hampir semua aspek bioremediasi. Telah banyak studi yang menyatakan bahwa PGPR mampu

menghasilkan enzim ekstraseluler seperti peroksidase, reduktase, cytochrome P450, dan Glutathione S- Transferase (64). Dan demikian juga PGPR dapat dimanfaatkan dalam berbagai mekanisme untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kualitas tanah dalam kondisi stress.

3.1.2. The Effects of Rhizobium Inoculation on the Growth of Rice (*Oryza sativa L.*) and White Radish (*Raphanus sativus L.*)

Metode yang dipaparkan penulis dalam hal ini adalah inokulasi *Rhizobium* *pusense* GCB108 dan *R. pusense* GCB117 terhadap pertumbuhan tanaman padi muda dan lobak putih. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi spesies ini sangat mempengaruhi pertumbuhan kedua tanaman tersebut masing-masing tercatat rerata 2,26 cm dan tanpa inokulasi dengan rerata 1,47 cm. Sebelumnya spesies ini diisolasi langsung dari akar padi dan menggunakan media khusus *Rhizobium* yaitu pada agar Ashby's Mannitol.

Nguyen et al., (2022) juga melaporkan bahwa spesies ini juga mampu memproduksi enzim katalase dan toleran terhadap salinitas dan pH yang berbeda yaitu dalam kisaran pH 3-12. Oleh karena itu, dengan kemampuan tumbuh dalam kondisi salin, kedua galur tersebut *R. pusense* GCB108 dan GCB117 dapat memiliki aplikasi potensial dalam memproduksi pupuk hayati untuk remediasi tanah salin. Selain itu, pertumbuhan yang baik dari *R. pusense* GCB108 dan GCB117 pada kisaran pH 5 sampai 11 menunjukkan bahwa spesies dapat dimanfaatkan untuk perbaikan tanah pertanian dalam kondisi asam dan basa.

3.1.3. Comparative Effectiveness of ACC- Deaminase and/or N Fixing Rhizobacteria in Rice

Hasan W & David J (2018) melaporkan bahwa Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) mengkoloniasi Rhizosfer dan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, dengan memproduksi berbagai zat pengatur. PGPR menggunakan beragam mekanisme dalam aktivitasnya, sehingga penulis melakukan rancangan percobaan 1) untuk mengidentifikasi dan 2) untuk memilih strain Rhizobakteri potensial berdasarkan pengaruhnya terhadap pertumbuhan, aktivitas fisiologis dan enzimatik padi. Eksperimen CRD pot dengan enam isolat PGPR, hanya dua isolat yang mengandung aktivitas ACCdeaminase (ACC1 dan ACC2), 2 isolat mengandung aktivitas pengikatan N (Azotobakter dan RN1) dan 2 isolat PGPR (AN1 dan AN2) yang mengandung kedua kemampuan tersebut, dilakukan di lingkungan yang terkendali. Infus akar dengan semua isolat PGPR terpilih meningkatkan respons tanaman dibandingkan kontrol (CK), sebaliknya, isolat AN1 dengan aktivitas ACC-deaminase dan kemampuan mengikat N ditemukan paling efisien. AN1 meningkatkan panjang akar sebesar 3,8%, panjang pucuk sebesar 3,4% dan parameter lainnya melebihi kontrol. Serapan unsur hara makro misalnya N (5,0%, 5,4%), P (4,5%, 3,6%) dan Mg (4,0%, 3,0%), serapan unsur mikro tanaman misalnya Zn (5,6%, 8,1%), Cu (5,0%, 5,1%) dan Fe (4,7%, 5,6%) dan aktivitas enzim antioksidan tanaman juga ditambah hingga 5,5% dengan inokulasi rhizobakteri. Secara keseluruhan isolat PGPR memperkaya pertumbuhan dan fisiologi tanaman terutama dengan meningkatkan ketersediaan unsur hara, serapan dan dengan mengurangi tekanan etilen karena kemampuan pembelahan ACC di rizosfer. Oleh karena itu aplikasi strain rhizobakteri sebagai biofertilizer layak dengan teknik ekologi untuk memfasilitasi produksi tanaman secara berkelanjutan.

3.1.4 Alternative Strategies for Multi-Stress Tolerance and Yield Improvement in Millets

Pada kajian ini penulis menilik pada tanaman millet (sereal) yang berasal dari Afrika yang memiliki manfaat nutrisi yang penting dibandingkan dengan sereal lainnya. Hampir semua tanaman millet memiliki mekanisme bawaan untuk mengatasi tekanan lingkungan tertentu seperti panas, kekeringan, rebah, dan genangan air, namun tekanan ini tetap menjadi ancaman bagi produksi millet dengan meningkatnya dampak perubahan iklim. Teknik seperti PGPR dan CRISPR/ Cas9 digunakan pada tanaman lain untuk mengurangi dampak cekaman abiotik, serta untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Dalam makalah ini, kami meninjau literatur yang tersedia tentang materi pelajaran dan memproyeksikan bahwa penggunaan PGPR dan

CRISPR/Cas9 tidak hanya memungkinkan tanaman untuk tumbuh dengan baik dalam kondisi buruk tetapi juga meningkatkan hasil panen secara signifikan.

3.1.5 Isolation and Characterization of N-Fixing and IAA Producing Rhizobacteria from Two Ricefield Agro-ecosystems in South Sulawesi, Indonesia

Penulis melaporkan bahwa mikroorganisme yang diisolasi memiliki potensi pengikat nitrogen nonsimbiosis yang mampu tumbuh pada media bebas N. Kemampuan mengikat nitrogen bervariasi. Isolat NG4 memiliki kemampuan mengikat nitrogen paling tinggi (0,157%), diikuti oleh NP11 (0,153%) dan NT2 (0,150%). Sedangkan isolat NM5 menghasilkan nitrogen paling rendah (0,132%). Bakteri penambat nitrogen melakukan fungsi ini karena memiliki enzim spesifik di dalam sel yang dikenal sebagai nitrogenase yang terdiri dari dua komponen yang saling mendukung: protein Fe dan Mo-Fe (Geddes et al., 2015). Stella dan Suhaimi (2010) menyatakan bahwa bakteri non- simbiosis pada rizosfer tanaman Gramineae, seperti Azotobacter paspalidum Beijerinckiaspp, adalah kelompok aerobik yang mengkolonisasi permukaan akar.

Isolat dari sawah tada hujan biasanya memiliki kemampuan pengikatan nitrogen yang lebih baik dibandingkan dengan isolat dari sawah irigasi. Lahan irigasi memiliki pupuk N kimia intensif tingkat tinggi, yang mengurangi keragaman dan aktivitas mikroorganisme ini karena membuat pekerjaan mereka tidak diperlukan (Martínez-Romero, 2009). Uji kualitatif kemampuan isolat bakteri dalam menghasilkan IAA dilakukan dengan mengamati perubahan warna supernatan menjadi merah muda. Semakin tinggi intensitas warna, semakin tinggi konsentrasi hormon. Konsentrasi hormon bervariasi karena adanya perbedaan kondisi agroekosistem dan teknik budidaya di lokasi pengambilan sampel. Israwan dkk. (2015) menyatakan bahwa lingkungan sekitar sangat mempengaruhi kemampuan bakteri untuk bertahan hidup dan menghasilkan IAA. Munif et al., (2012) menunjukkan bahwa sifat tanah, bahan organik, teknik budidaya, pemupukan, dan aplikasi pestisida mempengaruhi keberadaan bakteri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat NB13 asal Barru menghasilkan warna merah jambu yang lebih pekat dan memiliki konsentrasi IAA tertinggi (1,835 mg/L-1), diikuti oleh NG11 dari Gowa (1.630 mg L-1) dan NP1 dari Pangkep (1.566 mg L-1). Sedangkan isolat NT3 memiliki konsentrasi IAA terendah yaitu 0,316 mg/L-1. Isolat dengan produksi IAA tinggi diisolasi dari sawah tada hujan (Barru, Pangkep, dan Gowa). Dapat disimpulkan bahwa bakteri diisolasi dari sawah tada hujan memiliki produksi IAA lebih tinggi dibandingkan dengan sawah irigasi. Produksi IAA sangat dipengaruhi oleh karakteristik biokimia dan faktor lingkungan (Numan et al., 2018). Sawah tada hujan tidak tergenang sepanjang tahun sehingga memungkinkan bakteri aerob untuk tumbuh. Selain itu, agroekosistem dan teknik budidaya juga sangat mempengaruhi jenis dan kemampuan suatu isolat (Kurniawati et al., 2013). Praktik pertanian intensif yang memanfaatkan irigasi secara ekstensif dan meningkatnya penggunaan bahan kimia dan alat berat menyebabkan degradasi yang mempengaruhi kehidupan biologis di dalam tanah (Zalidis et al., 2002; Li J et al., 2015; Pereg et al., 2018). Penelitian ini menyimpulkan bahwa mikroba dari sawah tada hujan di Sulawesi Selatan berpotensi sebagai pupuk hayati dan agen biostimulan dibandingkan dengan mikroba dari sawah irigasi.

3.1.6 Advantages of Amending Chemical Fertilizer with PGPR Under Alternate Wetting Drying Rice Cultivation

Tiga kombinasi strain bakteri diidentifikasi dan digunakan dalam percobaan ini. Ini termasuk spesies bakteri *Bacillus aryabhaktai*, yang baru-baru ini diakuisisi oleh Dabang Protein Co. Ltd. untuk komersialisasi. Setiap strain diperoleh dari sampel udara di sawah lokal di Kabupaten Taitung menggunakan sampler udara mikrobiologi (Coriolis M. Teknologi Bertin). Perangkat itu ditempatkan secara acak di enam lokasi dalam satu hektar sebuah sawah. Itu diletakkan di atas permukaan tanah dengan tabung penghisap udara digantung kira-kira 20 cm dari tanah. Pengambilan sampel di setiap lokasi dilakukan dalam interval 10 menit. Prosedur ini dilakukan dengan cara ini untuk menghilangkan kehidupan bakteri yang ada di udara sebagai

akibat dari penguapan dan/atau transpirasi dalam ekosistem padi. Spesies yang berhasil diisolasi dan teridentifikasi adalah *Bacillus aryabhattachai*, *Burkholderia ambifaria*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Sphingomonas* sp., *Burkholderia caribensis*, *Sphingobium yanoikuyae*, *Paenibacillus glucanolyticus* dengan metode pengurutan gen 16 S rRNA.

Studi ini menyimpulkan bahwa kombinasi Chemical Fertilizer (CF) dan PGPR dengan sistem budidaya AWD dapat secara signifikan dan positif mempengaruhi pertumbuhan tanaman, produksi biomassa, dan hasil gabah. Hasilnya menunjukkan bahwa penggantian 50% atau lebih kandungan CF dengan PGPR cukup untuk mempertahankan pertumbuhan dan perkembangan tanaman normal. Penanaman padi yang ada sebagai strategi ramah lingkungan tetapi juga telah terbukti menjadi pendekatan yang menguntungkan untuk budidaya padi dalam hal produktivitas. Kajian saat ini menunjukkan potensi PGPR dan menjadi acuan praktis untuk mengurangi penggunaan pupuk sintetis dalam budidaya padi.

Kesimpulan

Dari beberapa kajian dan hasil yang telah dipaparkan oleh peneliti dapat disimpulkan bahwa Rhizobakteria memiliki relung dan keragaman pada habitatnya di akar tanaman padi dan sereal lainnya. Rhizobakteria itu mampu mengkolonisasi akar dan menghasilkan enzim dan hormon pemacu pertumbuhan tanaman, selain itu mikrob ini juga mampu menjadi agens hayati untuk melawan patogen tanaman dan sebagai agen bioremediasi pada tanah yang tercemar dan dapat menjadi salah satu alternatif dalam mendukung keberlanjutan lahan.

Daftar Pustaka

- Dewiyani, Alexandratos N, Bruinsma J. 2012. Dunia pertanian menuju 2030-2050. FAO: Roma, Italia.
- Awika JM. 2011. Produksi dan Penggunaan biji- bijian Sereal Utama di Seluruh Dunia, Simposium ACS. 1-13
- Banayo NPM, Cruz PC, Aguilar EA, Badayos RB, Haefele SM. 2012. Evaluation of biofertilizers in irrigated rice: Effects on grain yield at different fertilizer rates. *J. Agriculture* 2 (1), pp. 73-86
- Hassan W, David J. 2018. Comparative effectiveness of ACC-deaminase and/or N fixing rhizobacteria in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Engineering and Management Journal*. 17 (5). pp. 1113-1121.
- Haerani N, Syam'un E, Rasyid B, Haring F. 2021. Isolation and characterization of n-fixing and iaa producing rhizobacteria from two rice field agro-ecosystem in south sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*. 22(5): 2497-2503
- Jagannath P, Pullabhotla P, Uphoff N. 2013. Metaanalysis of Evaluation water use, safe water and water productivity on irrigation SNI rice production. Management method of conservation standard water Taiwan.
- Kobua CK, Jou YT, Wang YM. 2021. Advantages of amending chemical fertilizer with plant growth promoting rhizobacteria under alternate wetting drying rice cultivation. *Agriculture*. 11 (7):605
- Nguyen PM, Nguyen HT, Le HTT, Nguyen LB, Tran PH, Dinh YB, Nguyen TKN, Nguyen MH. 2022. The effects of Rhizobium Inoculation On the growth of rice (*Oryza Sativa* L.) and white radish (*Raphanus Sativus* L.). *IOP Conference Series: Earth S.* (2015). Improving Students Soft Skills using Thinking Process Profile Based on Personality Types. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, pp 118-129.