

Efektivitas Asam Humat dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao pada Media Tanam *Subsoil*

Ressti Puspa Kartika Sari*, Bambang Utoyo, Nindy Permatasari, Tandaditya Ariefandra
Airlangga, Sri Nurmayanti, dan Adit Indra Lesmana

Jurusan Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung
Jl. Soekarno Hatta No.10, Rajabasa, Bandar Lampung, Indonesia 35141

*Alamat korespondensi: restipuspa@polinela.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 14-12-2025 Direvisi: 10-04-2026 Dipublikasi: 05-05-2026	The effectiveness of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria on cocoa seedling growth in <i>subsoil</i>
Keywords: Cultivation; Interaction; Nursery; Soil; Sustainable	Topsoil as a growing medium for cocoa seedlings is increasingly limited; therefore, subsoil can be used as an alternative, although its fertility needs to be improved through the addition of humic acid. In addition, to reduce the use of inorganic fertilizers in nurseries, Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) biofertilizers can be used. This study aims to determine the best concentration of humic acid and PGPR, as well as their interaction in optimizing the growth of cocoa seedlings in <i>subsoil</i> planting media. The study was conducted in the plantation seedling garden, plantation plant management laboratory of Lampung State Polytechnic. The research used a Randomized Block Design with a factorial pattern with three replications: The first factor was the concentration of humic acid, which consisted of three levels (0; 5; and 7.5 g/L). The second factor was the concentration of PGPR, which consisted of four levels (0; 25; 50; and 75 mL/L). The data were analyzed using analysis of variance and followed by Duncan Multiple Range (DMRT) test at the 5% significance level. The results showed a significant interaction between humic acid and PGPR on leaf greenness and shoot dry weight, with the most optimum treatments observed at 0 g/L humic acid + 25 mL/L PGPR and 5 g/L humic acid + 50 mL/L PGPR. The application of humic acid alone significantly affected root dry weight, with the best responses at 0 g/L and 5 g/L, and influenced leaf area, with the optimum result observed at 0 g/L. Meanwhile, PGPR application alone significantly affected root dry weight, leaf area, and leaf number at 30 days after planting. The optimal PGPR concentration was 75 mL/L for root dry weight and leaf area, and 50 mL/L for leaf number at 30 days after planting.
Kata Kunci: Berkelanjutan; Budidaya; Interaksi; Pembibitan; Tanah	Media tanam <i>topsoil</i> untuk pembibitan kakao semakin terbatas dan sebagai alternatif dapat digunakan tanah <i>subsoil</i> , tetapi kesuburannya ditingkatkan dengan penambahan asam humat. Selain itu, untuk mengurangi penggunaan pupuk anorganik pada tahap pembibitan dapat digunakan pupuk hayati <i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i> (PGPR). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh konsentrasi asam humat dan PGPR terbaik, serta interaksi keduanya dalam mengoptimalkan pertumbuhan bibit kakao di media tanam <i>subsoil</i> . Penelitian dilaksanakan di lahan kebun bibit tanaman perkebunan, Laboratorium Pengelolaan Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah konsentrasi asam humat (tiga taraf: 0; 5; dan 7,5 g/L). Faktor kedua adalah konsentrasi PGPR (empat

taraf: 0; 25; 50; dan 75 mL/L). Data dianalisis menggunakan analisis sidik ragam, dan dilanjutkan dengan uji lanjut jarak berganda Duncan (DMRT) pada taraf nyata 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara asam humat dengan PGPR pada tingkat kehijauan daun dan bobot kering tajuk, dengan konsentrasi paling optimum pada perlakuan 0 g/L asam humat + 25 mL/L PGPR dan 5 g/L asam humat + 50 mL/L PGPR. Pemberian asam humat secara mandiri berpengaruh pada bobot kering akar dengan perlakuan terbaik pada konsentrasi 0 g/L dan 5 g/L asam humat, dan pada luas daun untuk konsentrasi 0 g/L asam humat. Pemberian PGPR secara mandiri berpengaruh pada bobot kering akar, luas daun, dan jumlah daun 30 HSA. Konsentrasi aplikasi PGPR terbaik untuk bobot kering akar dan luas daun adalah 75 mL/L, sedangkan untuk jumlah daun 30 HSA adalah 50 mL/L.

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) memegang peranan penting sebagai komoditas perkebunan dalam meningkatkan perekonomian Indonesia. Tanaman asli hutan tropis Amerika ini menghasilkan biji yang mengandung senyawa polifenol tinggi. Senyawa tersebut mengandung antioksidan yang penting untuk kesehatan tubuh manusia (Mayra *et al.*, 2024). Biji kakao banyak dimanfaatkan dalam industri sebagai olahan makanan, pasta, bubuk kakao, lemak coklat, dan industri kosmetik. Permintaan industri dalam dan luar negeri terhadap biji kakao tersebut terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Pemenuhan permintaan tersebut dapat terwujud jika produksi kakao optimal dan peningkatan produksinya berkelanjutan dalam jangka panjang.

Di Indonesia, produksi biji kakao Indonesia sebanyak 632.100 ton pada tahun 2023, meningkat menjadi 632.700 ton pada tahun 2024. Sejalan dengan peningkatan produksi biji kakao nasional, di Lampung pun terjadi tren peningkatan produksi biji kakao. Lampung mampu menghasilkan biji kakao 45.600 ton pada tahun 2023, dan meningkat menjadi 47.900 ton pada 2024 (Badan Pusat Statistik, 2025). Meskipun peningkatan produksi kakao menunjukkan tren yang positif, capaian tersebut masih menghadapi berbagai kendala di tingkat budidaya, seperti penggunaan bibit yang berkualitas. Penyediaan bibit kakao berkualitas tidak hanya ditentukan oleh faktor genetik, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh media tanam yang digunakan pada tahap pembibitan.

Media tanam adalah komponen utama dalam budidaya tanaman. Penentuan media tanam harus sesuai agar dapat menunjang pertumbuhan tanaman dengan baik, media tanam harus dapat menjaga kelembapan daerah sekitar akar, menyediakan cukup

udara, dan dapat menahan ketersediaan unsur hara (Rosniawaty dkk., 2019). Media tanah yang umumnya digunakan pada pembibitan adalah tanah *topsoil* (tanah lapisan atas 0 – 20 cm). Tanah *topsoil* memiliki kandungan unsur hara dan bahan organik yang mampu mendukung pertumbuhan tanaman. Namun, ketersediaan tanah *topsoil* semakin berkurang karena terkikis akibat erosi atau penggunaannya yang terus-menerus sebagai media pembibitan. Alternatif lain yang dapat digunakan sebagai media tanam untuk pembibitan yaitu tanah *subsoil* (tanah lapisan bawah) karena letak lapisannya yang cukup dalam sehingga ketersediaannya banyak. Tanah *subsoil* berada pada kedalaman 20 – 50 cm (Fadyery *et al.*, 2023). Namun, tanah *subsoil* memiliki kesuburan yang rendah yang ditandai dengan pH dan kandungan bahan organik yang rendah, sehingga membatasi ketersediaan nutrisi tanaman (Andri dkk., 2016; Wati dkk., 2025). Oleh karena itu, diperlukan pembenah tanah organik seperti asam humat untuk memperbaiki kesuburan tanah *subsoil*.

Asam humat adalah salah satu bahan pembenah tanah organik yang dapat meningkatkan kesuburan tanah, sehingga mampu mengoptimalkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Asam humat mampu memperbaiki struktur tanah, ketersediaan nutrisi, dan retensi kelembapan. Asam humat efektif dalam meningkatkan bahan organik tanah, kapasitas tukar kation (KTK), membantu ketersediaan dan penyerapan hara oleh tanaman (Akinci, 2011; Yan *et al.*, 2023). Selain itu, pemberian asam humat mampu meningkatkan agregasi tanah dan aktivitas mikroba yang sangat penting untuk siklus nutrisi dan kesehatan tanah (Bera *et al.*, 2024). Pemberian asam humat 10 dan 15 mL/*polybag* dilaporkan mampu meningkatkan serapan hara pada bibit kopi robusta (Rosniawaty *et al.*, 2019). Aplikasi asam humat 5 g/L

per *polybag* pada bibit kelapa sawit di nurseri utama mampu meningkatkan tinggi tanaman, indeks luas daun, volume akar, bobot kering akar, dan bobot kering tajuk (Febrianto *et al.*, 2019). Selain itu, dilaporkan juga bahwa penambahan 7,5 – 12,5 mL asam humat per *polybag* pada media tanam bibit kakao berkorelasi positif dengan aktivitas mikroba tanah (Santi, 2016).

Penambahan asam humat pada media tanam dapat optimal jika diimbangi dengan pemberian pupuk untuk menambah ketersediaan unsur hara, sehingga didapatkan bibit kakao berkualitas. Saat ini mayoritas petani rakyat menggunakan pupuk anorganik untuk mencukupi kebutuhan hara tanaman. Namun, selain harganya mahal, penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus dapat menurunkan kesuburan tanah dan menyebabkan kematian bibit (Dogbatse *et al.*, 2021). Oleh sebab itu, penggunaan pupuk anorganik perlu dikurangi dengan alternatif penggunaan pupuk hayati yang mendukung perkebunan kakao berkelanjutan.

Pupuk hayati mengandung mikroba hidup yang dapat meningkatkan penyerapan nutrisi dan kesuburan tanah. Pupuk hayati efektif meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah. Penggunaan pupuk hayati dapat mengurangi kebutuhan terhadap pupuk kimia, sehingga mengurangi degradasi tanah dan pencemaran air, yang pada akhirnya mendorong ekosistem yang lebih sehat (Jana *et al.*, 2024; Ghimirey *et al.*, 2024; Sharma *et al.*, 2024). Jenis mikroba yang umum digunakan sebagai pupuk hayati yaitu bakteri pengikat nitrogen seperti *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR).

Plant Growth Promoting Rhizobacteria adalah pupuk hayati dengan bakteri rizosfer (pada perakaran tanaman) yang penting dalam pertanian berkelanjutan. PGPR meningkatkan ketersediaan nutrisi penting seperti nitrogen melalui fiksasi nitrogen biologis. Selain itu, PGPR mampu menghasilkan fitohormon seperti auksin dan sitokinin (Sinha *et al.*, 2021), serta dapat mengaktifkan mekanisme pertahanan tanaman terhadap patogen dan meningkatkan resistensi terhadap stres abiotik (Laia dkk., 2024). Penggunaan PGPR pada komoditas hortikultura sudah banyak dilaporkan mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Namun, pada komoditas perkebunan masih jarang diaplikasikan, sehingga penambahan asam humat pada media tanah *subsoil* dan penggunaan PGPR penting dilakukan sebagai upaya penyediaan bibit kakao berkualitas. Oleh sebab itu, penelitian terkait efektivitas asam humat dan PGPR

terhadap pertumbuhan bibit kakao pada media tanam *subsoil* ini penting dilakukan untuk memaksimalkan penggunaan media *subsoil* rendah hara yang ketersediaannya lebih banyak dibandingkan dengan *topsoil*.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan pada Juli – Desember 2025 di lahan kebun bibit tanaman perkebunan, Laboratorium Pengelolaan Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Lampung. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan pola faktorial. Faktor pertama adalah asam humat (tiga taraf: 0; 5; dan 7,5 g/L). Faktor kedua adalah pupuk hayati PGPR (empat taraf: 0; 25; 50; dan 75 mL/L). Percobaan diulang tiga kali, sehingga terdapat 36 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan terdiri dari tiga bibit kakao, sehingga total keseluruhan terdapat 108 bibit yang digunakan.

Pupuk hayati PGPR yang digunakan dalam percobaan mengandung *Rhizobium* sp. 7,1 x 10¹¹ cfu/ml, *Bacillus* sp. 6,3 x 10⁹ cfu/ml, *Pseudomonas* sp. 6,4 x 10⁷ cfu/ml, *Azotobacter* sp. 1,6 x 10⁸ cfu/ml, dan *Azospirillum* sp. 1,1 x 10⁸ cfu/ml. Adapun bibit kakao yang digunakan berumur 1 bulan, dan untuk menjamin keseragaman bibit yang digunakan maka dilakukan pemilihan bibit yang memiliki tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter batang awal yang sama.

Variabel pengamatan pertumbuhan tanaman meliputi tinggi bibit, diameter batang bibit, jumlah daun, tingkat kehijauan daun, luas daun, bobot kering tajuk, dan bobot kering akar. Tinggi bibit diukur dari pangkal batang sampai titik tumbuh tertinggi menggunakan penggaris pada 30, 60, dan 90 hari setelah aplikasi (HSA). Diameter batang bibit diukur menggunakan jangka sorong pada bagian pangkal batang bibit kakao (5 cm di atas permukaan tanah) pada 30, 60, dan 90 HSA. Jumlah daun dihitung pada daun yang sudah membuka sempurna. Tingkat kehijauan daun pada 90 HSA diukur di bagian tengah, pangkal, dan ujung anakan daun menggunakan klorofil meter (Minolta SPAD-502 plus). Daun yang diukur untuk kehijauan daun terletak pada posisi daun ke-3 dari tunas. Luas daun (cm²) diukur pada tiga daun kakao bagian batang atas, tengah, dan bawah. Pengukuran dilakukan pada daun yang telah membuka sempurna pada 90 HSA. Luas daun dihitung menggunakan rumus LD = Panjang x Lebar x Konstanta (0,68) (Eko dan Susilo, 2015). Bobot kering tajuk dan akar diukur dengan cara membongkar bibit

tanaman, kemudian bagian tajuk tanaman dipisahkan dari bagian akar. Masing-masing sampel terdiri dari dua bibit tanaman. Bagian tajuk dan akar tanaman kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 72 jam. Setelah itu, bobot kering tajuk diukur menggunakan timbangan analitik dan dicatat bobotnya. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis sidik ragam. Apabila perlakuan berbeda nyata berdasarkan analisis sidik ragam, maka dilakukan pengujian nilai tengah antarperlakuan menggunakan uji lanjut jarak berganda Duncan pada taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam, terdapat interaksi antara perlakuan asam humat dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) yang memengaruhi tingkat kehijauan daun dan bobot kering tajuk bibit kakao. Hal tersebut mencerminkan adanya sinergi antara kedua perlakuan dalam mendukung pertumbuhan bibit. Secara terpisah, aplikasi asam humat secara mandiri berkontribusi terhadap peningkatan luas daun dan bobot kering akar, sedangkan pemberian PGPR secara mandiri berkaitan dengan peningkatan jumlah daun 30 HSA, luas daun, dan bobot kering akar bibit kakao.

Penggunaan asam humat sebagai pembenah tanah mampu meningkatkan sifat kimia tanah dan aktivitas mikroba, sehingga mampu membantu menyediakan nutrisi penting untuk tanaman (Sun & Zhang, 2024). Asam humat juga mampu memacu perkembangan akar dan meningkatkan metabolisme tanaman, yang mengarah pada peningkatan pertumbuhan dan hasil panen (Bera *et al.*, 2024). Selain itu, pemberian asam humat mampu meningkatkan agregasi tanah dan aktivitas mikroba yang sangat penting untuk siklus nutrisi dan kesehatan tanah (Bera *et al.*, 2024).

Asam humat sebagai pembenah tanah dapat meningkatkan pertumbuhan bibit kakao secara lebih optimal apabila dikombinasikan dengan pupuk hayati PGPR. Pupuk hayati mendorong komunitas mikroba yang bermanfaat, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan stress abiotik (Ghimirey *et al.*, 2024). Pupuk hayati PGPR memanfaatkan bakteri pemacu pertumbuhan tanaman seperti *Rhizobium* mengikat nitrogen, yang berkontribusi signifikan terhadap kesuburan tanah dan produktivitas pertanian (Priyadarshini & Mishra, 2022). Hasil penelitian telah menunjukkan bahwa *Rhizobium* dapat menghasilkan hormon tanaman seperti asam indol asetat (IAA), yang dapat meningkatkan

perkembangan akar dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan (Purwaningsih *et al.*, 2021).

Efektivitas Asam Humat dan PGPR terhadap Tinggi dan Diameter Batang Bibit Kakao

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian asam humat dan PGPR tidak mampu meningkatkan tinggi dan diameter batang bibit kakao pada 30, 60, dan 90 HSA. Asam humat dan PGPR yang diterapkan diduga tidak menambah serapan hara baik pada konsentrasi terendah sampai dengan konsentrasi tertinggi, sehingga tidak berdampak pada pertumbuhan tinggi dan diameter batang bibit. Pertambahan tinggi dan diameter batang tanaman sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain kondisi lingkungan, kualitas tanah, dan faktor genetik. Terdapat hubungan positif antara diameter batang dan tinggi tanaman pada berbagai tanaman. Semakin meningkat diameter batang tanaman, semakin tinggi tanaman tersebut (Jing *et al.*, 2023; Yuan *et al.*, 2021). Hubungan antara diameter batang dan tinggi bibit ini juga dipengaruhi oleh faktor-faktor fisiologis seperti kapasitas fotosintesis dan kadar hormon (Jing *et al.*, 2023).

Jika ditinjau dari media tanah *subsoil* yang digunakan, maka asam humat yang diaplikasikan belum mampu menyediakan kondisi tanah yang ideal untuk pertumbuhan bibit kakao, sama halnya dengan PGPR yang diaplikasikan dalam penelitian ini. PGPR pada dasarnya mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara pada tanaman, tetapi hal itu terjadi ketika populasi mikroba sudah efektif untuk berkolonisasi pada akar tanaman. Kolonisasi bakteri merupakan proses kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai mekanisme yang dapat meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tanaman. PGPR berkembang di rizosfer melalui beberapa strategi, termasuk pensinyalan kimiawi, pembentukan biofilm, dan perolehan hara dari eksudat akar (Zheng *et al.*, 2023). Santoyo *et al.* (2021) melaporkan bahwa PGPR mengenali eksudat akar yang mengandung sinyal kimia spesifik yang memfasilitasi kolonisasinya.

Kinerja asam humat dalam memperbaiki sifat fisik, biologi, dan kimia tanah membutuhkan waktu yang tidak singkat. Hasil penelitian Li *et al.* (2019) menunjukkan bahwa aplikasi asam humat secara berkelanjutan pada tanaman kacang telah terbukti meningkatkan kandungan nutrisi tanah secara signifikan, termasuk nitrogen total, fosfor, dan kalium, dengan efek maksimum yang terlihat setelah tiga tahun. Kumar *et al.* (2013) juga melaporkan bahwa penggunaan asam humat jangka panjang

meningkatkan populasi mikroba yang bermanfaat, meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai aplikasi asam humat dan PGPR pada media tanam *subsoil* sejak tahap pembibitan dengan rentang waktu aplikasi yang lebih panjang untuk memperoleh pengaruh yang lebih optimal terhadap pertumbuhan bibit kakao.

Efektivitas Asam Humat dan PGPR terhadap Tingkat Kehijauan Daun Bibit Kakao

Berdasarkan Tabel 1, pemberian 0 g/L asam humat + 25 mL/L PGPR dan 5 g/L asam humat + 50 mL/L PGPR menghasilkan tingkat kehijauan daun yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol. Berdasarkan hasil tersebut, maka tanpa penambahan asam humat dan penggunaan 25 mL/L PGPR lebih baik jika ditinjau dari segi efektivitas dan efisiensi hasil serta biaya. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini tidak disterilisasi terlebih dahulu, sehingga diduga terdapat mikroba lain yang populasinya melebihi bakteri pada PGPR dan mampu meningkatkan kesuburan media tanam, sehingga tanpa pemberian asam humat tingkat kehijauan daunnya lebih baik. Hal lain yang dapat terjadi yaitu konsentrasi yang berlebihan (7,5 g/L). Menurut Sipayung dkk. (2015) penggunaan asam

humat yang berlebihan dapat mengurangi manfaat atau bahkan berdampak negatif pada konsentrasi hara tertentu.

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) memanfaatkan hara yang dilepaskan oleh akar tanaman, sehingga membentuk hubungan yang saling menguntungkan. Perlakuan 0 g/L asam humat + 25 mL/L PGPR dan 5 g/L asam humat + 50 mL/L PGPR pada media mampu menyediakan nutrisi yang terserap dengan baik oleh akar bibit, sehingga fotosintesis semakin optimal yang diindikasikan dengan tingkat kehijauan daun yang dihasilkan. Selain itu, PGPR menghasilkan keseimbangan hormon di sekitar perakaran. PGPR adalah bakteri menguntungkan yang mengolonisasi akar tanaman, mendorong pertumbuhan melalui berbagai mekanisme, termasuk produksi fitohormon dan peningkatan ketersediaan hara. PGPR menyintesis hormon seperti asam indol-3-asetat (IAA) dan giberelin, yang krusial bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Prisa *et al.*, 2023; Gutierrez-urrego & Johnston-monje, 2024). Bakteri PGPR juga meningkatkan ketersediaan hara esensial seperti nitrogen dan fosfor, sehingga memudahkan penyerapan hara oleh tanaman. Hal ini mendukung peningkatan kehijauan daun yang dihasilkan oleh bibit kakao dalam penelitian ini.

Tabel 1. Rerata tingkat kehijauan daun kakao akibat interaksi antara asam humat dan PGPR

Konsentrasi Asam Humat (g/L)	Konsentrasi PGPR (mL/L)			
	0	25	50	75
0	27,35 a A	45,65 a C	29,45 a AB	40,25 a BC
5	34,85 a A	33,90 a A	46,00 b A	38,45 a A
7,5	36,30 a A	34,15 a A	32,60 a A	38,70 a A

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama, tidak berbeda nyata menurut uji lanjut Jarak Berganda Duncan pada taraf nyata 5%. Huruf kecil dibaca ke arah vertikal. Huruf kapital dibaca ke arah horizontal.

Efektivitas Asam Humat dan PGPR terhadap Bobot Kering Tajuk Bibit Kakao

Bobot kering tajuk dan akar diperoleh dari hasil pengovenan bagian tanaman pada 90 HSA (Gambar 1). Berdasarkan Gambar 1, secara visual terlihat tanaman yang tidak diberi asam humat menghasilkan tajuk tanaman yang lebih tinggi dan akar yang lebih panjang dibandingkan dengan tanaman yang diberi asam humat. Namun, berdasarkan data pada Tabel 2, interaksi

pengaplikasian 0 g/L asam humat + 25 mL/L PGPR dan 5 g/L asam humat + 25 mL/L PGPR menghasilkan bobot kering tajuk yang setara dan lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hasil pengukuran bobot kering tajuk selaras dengan hasil pengukuran kehijauan daun. Semakin tinggi tingkat kehijauan daun, maka semakin tinggi kandungan klorofil dan semakin tinggi kapasitas fotosintesis, sehingga biomassa tanaman akan semakin tinggi.

Tabel 2. Rerata bobot kering (g) tajuk bibit kakao akibat interaksi antara asam humat dan PGPR

Konsentrasi Asam Humat (g/L)	Konsentrasi PGPR (mL/L)			
	0	25	50	75
0	5,75 a A	7,45 b B	7,10 b AB	5,85 ab A
5	5,60 a A	7,20 b B	6,05 b AB	6,40 b AB
7,5	5,00 a A	3,88 a A	4,55 a A	4,70 a A

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama, tidak berbeda nyata menurut uji lanjut Jarak Berganda Duncan pada taraf nyata 5%. Huruf kecil dibaca ke arah vertikal. Huruf kapital dibaca ke arah horizontal.

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) yang diaplikasikan berdampak pada penambahan mikroba dalam tanah. Mikroba yang bersifat menguntungkan tersebut mampu menghasilkan hormon-hormon pertumbuhan dan membantu ketersediaan nitrogen dan fosfor. Hal tersebut mendukung penyerapan unsur hara yang lebih optimal, sehingga fotosintesis dapat berjalan dengan baik, yang diindikasikan dengan tingginya bobot kering tajuk tanaman. Aktivitas fotosintesis secara langsung memengaruhi akumulasi biomassa.

Huang *et al.* (2019) menyatakan bahwa bobot kering daun per satuan luas berkaitan dengan kapasitas fotosintesis, yang menunjukkan bahwa berat kering yang lebih tinggi berkorelasi dengan meningkatnya laju fotosintesis. Sejalan dengan hasil penelitian da Silva *et al.* (2016) yang membuktikan bahwa terdapat korelasi positif antara laju fotosintesis dan produksi tanaman. Fotosintesis yang efektif berkontribusi terhadap peningkatan berat kering pada tanaman seperti kacang-kacangan.



Gambar 1. Tajuk dan akar bibit kakao pada 90 hari setelah aplikasi (A0 = tanpa asam humat; A1= asam humat 5 g/L, A2= asam humat 7,5 g/L; P0= tanpa PGPR; P1= 25 mL/L; P2= 50 mL/L; dan P3= 75 mL/L).

Efektivitas Asam Humat dan PGPR terhadap Bobot Kering Akar Bibit Kakao

Pengaruh mandiri asam humat dan PGPR pada bobot kering akar disajikan pada Tabel 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bobot kering kontrol atau tanpa asam humat dan pemberian asam humat 5 g/L lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan 7,5 g/L. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini tidak disterilasi terlebih dahulu, sehingga diduga terdapat mikroba lain yang populasinya melebihi bakteri pada PGPR dan mampu meningkatkan kesuburan media

tanam, sehingga tanpa pemberian asam humat, bobot kering akarnya lebih baik.

Aplikasi PGPR pada konsentrasi 75 mL/L menghasilkan bobot kering akar yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa perlakuan PGPR (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah mikroba di perakaran sudah mencapai koloni yang efektif untuk menyuplai unsur hara dan hormon pertumbuhan untuk akar. Pemberian PGPR meningkatkan ketersediaan nutrisi penting seperti nitrogen dan fosfor, yang penting untuk perkembangan akar.

PGPR menghasilkan hormon tanaman seperti asam indol asetat (IAA) yang merangsang pemanjangan dan percabangan akar, sehingga meningkatkan berat kering akar (Fitriani & Putrie, 2016). Efek sinergis PGPR dengan hormon terbukti meningkatkan berat kering akar secara signifikan, dengan peningkatan yang dilaporkan hingga 70% dibandingkan dengan kontrol (Sabir *et al.*, 2013).

Tabel 3. Rerata bobot kering akar bibit kakao (g) akibat pemberian asam humat dan PGPR

Perlakuan	Bobot Kering Akar (g)
Asam Humat (g/L)	
0	7,63 b
5	8,13 b
7,5	5,00 a
PGPR mL/L	
0	1,80 a
25	2,17 ab
50	2,12 ab
75	2,62 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Jarak Berganda Duncan dengan taraf nyata 5%.

Mekanisme PGPR dalam meningkatkan bobot kering akar berlangsung melalui dua cara utama. Pertama, PGPR menghasilkan berbagai fitohormon seperti IAA yang merangsang pembentukan rambut akar dan pemanjangan akar, giberelin yang memperpanjang sel akar, serta sitokinin yang mendorong pembelahan sel, sehingga akar menjadi lebih panjang, bercabang lebih banyak, dan volume sistem akar meningkat. Kedua, PGPR meningkatkan ketersediaan dan penyerapan hara melalui fiksasi nitrogen biologis, pelarutan fosfat (Prisa *et al.*, 2023; Gutierrez-urrego & Johnston-monje, 2024). Kombinasi kedua mekanisme tersebut menghasilkan suplai nutrisi yang lebih baik dan merangsang pertumbuhan akar yang lebih cepat dan lebih besar, sehingga bobot kering akar meningkat (Dutta *et al.*, 2022; Benaissa, 2019).

Efektivitas Asam Humat dan PGPR terhadap Luas Daun Bibit Kakao

Pengaruh mandiri asam humat dan PGPR terhadap luas daun bibit kakao disajikan pada Tabel 4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan tanpa asam humat menghasilkan luas daun yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian asam humat pada media tanam. Jika ditinjau dari media tanah

subsoil yang digunakan, maka asam humat yang diaplikasikan belum mampu menyediakan kondisi tanah yang ideal untuk pertumbuhan bibit kakao. Selain itu, asam humat membutuhkan waktu untuk bisa memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Li *et al.* (2019) melaporkan bahwa kinerja asam humat dalam memperbaiki kesehatan dan kesuburan tanah membutuhkan waktu yang tidak singkat atau tahunan (Li *et al.*, 2019). Aplikasi asam humat pada tanaman padi dilaporkan dapat meningkatkan hasil panen rata-rata 12% dan efisiensi penggunaan nitrogen sebesar 27%, dengan hasil optimal setelah aplikasi jangka panjang (Ma *et al.*, 2024).

Tabel 4. Rerata luas daun kakao (cm²) akibat pemberian asam humat dan PGPR

Perlakuan	Luas daun (cm ²)
Asam Humat (g/L)	
0	85,37 b
5	71,40 a
7,5	76,71 a
PGPR (mL/L)	
0	78,80 a
25	70,96 a
50	73,95 a
75	87,60 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada setiap kolom menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Jarak Berganda Duncan dengan taraf nyata 5%.

Penggunaan PGPR dengan konsentrasi tertinggi (75 mL/L) menghasilkan luas daun yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi yang lain (Tabel 4). Aplikasi PGPR pada konsentrasi tersebut diduga menghasilkan banyak koloni bakteri menguntungkan di perakaran, sehingga penyerapan unsur hara dan pemanfaatan hormon-hormon pemacu pertumbuhan dimanfaatkan dengan optimal untuk menghasilkan luas daun yang lebih besar pada bibit kakao pada penelitian ini. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa aplikasi PGPR menyebabkan peningkatan lebar daun sebesar 8,36%, yang menunjukkan dampak langsung pada luas daun (Jeksen, 2014). Kombinasi PGPR dan pupuk organik dilaporkan meningkatkan luas daun sebesar 70% pada tanaman kopi Arabika (Safitri & Maghfoer, 2023). Demikian pula pada tanaman kacang-kacangan, aplikasi PGPR menghasilkan luas daun yang lebih besar dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Ningsih dkk., 2018).

Plant Growth Promoting Rhizobacteria

(PGPR) dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan penyerapan hara, terutama nitrogen, yang krusial untuk perkembangan daun. Hal ini didukung oleh penelitian pada tanaman lain, yang melaporkan bahwa PGPR dapat meningkatkan kandungan nitrogen dan kapasitas fotosintesis, yang menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik dan luas daun yang lebih besar (García-Lo'pez *et al.*, 2023; Hungria *et al.*, 2021). Luas daun dapat diprediksi berdasarkan lebar dan panjang daun. Luas daun mampu menggambarkan sifat morfologi penting yang memengaruhi berbagai proses fisiologis pada tumbuhan, termasuk efisiensi penggunaan air, fotosintesis, dan pertumbuhan secara keseluruhan (Shi *et al.*, 2021). Menurut Wang *et al.* (2021) daun yang lebih lebar dapat meningkatkan kapasitas fotosintesis dengan meningkatkan luas permukaan, yang sangat memengaruhi tingkat penyerapan cahaya.

Efektivitas Asam Humat dan PGPR terhadap Jumlah Daun pada Bibit Kakao

Jumlah daun tidak dipengaruhi oleh penambahan asam humat pada media tanam. Namun, terdapat pengaruh positif dari pemberian PGPR pada jumlah daun 30 HSA yang terdapat pada perlakuan PGPR 50 mL/L (Tabel 5). Hasil kajian ini sejalan

dengan penelitian Jannah dkk. (2022) yang menunjukkan bahwa PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanismenya yang dapat memfiksasi nitrogen, melarutkan fosfat, dan menghasilkan hormon asam indolasetat. da Silva *et al.* (2024) melaporkan juga bahwa bakteri pada PGPR memengaruhi fiksasi nitrogen dan berdampak pada peningkatan pertumbuhan tanaman, termasuk pada daun. Namun, perlakuan PGPR 25 mL/L dan 75 mL/L tidak menghasilkan jumlah daun yang lebih besar dibandingkan dengan kontrol. Hal ini diduga karena penambahan pupuk hayati PGPR sebesar 25 mL/L masih terlalu rendah, sedangkan pada perlakuan 75 mL/L diduga telah melebihi dosis optimum.

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) menstimulasi produksi fitohormon seperti auksin, sitokinin, dan giberelin yang berperan dalam pertumbuhan sel, terutama pada tahap awal pertumbuhan tanaman (Sinha *et al.*, 2021; Zaib & Zubair, 2024; Laia dkk., 2024). Daun merupakan organ yang tumbuh lebih cepat dan mengalami pembelahan sel aktif (Vercruyssen *et al.*, 2021), sehingga respons terhadap PGPR cenderung lebih cepat terlihat pada pertambahan jumlah daun dibandingkan dengan tinggi tanaman atau diameter batang, yang membutuhkan waktu dan akumulasi pertumbuhan yang lebih lama.

Tabel 5. Rerata jumlah daun bibit kakao akibat pemberian PGPR

PGPR (mL/L)	Jumlah daun (helai)		
	30 HSA	60 HSA	90 HSA
0	10,00 a	13,37 a	15,89 a
25	9,85 a	12,52 a	14,59 a
50	11,19 b	13,15 a	15,15 a
75	9,89 a	11,44 a	13,59 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada setiap kolom menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji lanjut Jarak Berganda Duncan dengan taraf nyata 5%; HSA= Hari Setelah Aplikasi.

Setiap biostimulan, termasuk PGPR, memiliki dosis optimum untuk memberikan efek pertumbuhan yang maksimal. Aplikasi 50 mL/L PGPR kemungkinan cukup pada bibit kakao (Tabel 5), sedangkan dosis 75 mL/L justru dapat menyebabkan kelebihan hormon seperti auksin, sitokinin, dan giberelin. Kelebihan hormon-hormon ini dapat mengganggu keseimbangan fisiologis tanaman dan menghambat pembentukan daun yang optimal. Etilen, hormon lain yang dipengaruhi oleh PGPR, dapat menghambat pertumbuhan tanaman pada konsentrasi tinggi. PGPR dapat mengatur kadar etilen dengan memproduksi ACC deaminase, yang menurunkan konsentrasi etilen, sehingga

mendorong pertumbuhan di bawah kondisi stres (Dar *et al.*, 2018). PGPR yang berlebihan dapat menyebabkan produksi hormon tertentu yang berlebihan, mengganggu keseimbangan hormon yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang optimal (Jalmi & Sinha, 2022; Khan & Singh, 2025).

Aplikasi PGPR tidak mampu meningkatkan jumlah daun pada pengamatan 60 dan 90 HSA (Tabel 5). Hal ini diduga karena bakteri di perakaran jumlahnya menurun, sehingga hormon dan aktivitas fisiologis yang dihasilkan menurun. Penurunan jumlah bakteri PGPR tersebut bisa terjadi karena mikroba tanah asli mengungguli PGPR, sehingga

menyebabkan berkurangnya kelimpahan mikroba PGPR dan gangguan pertumbuhan tanaman. Fenomena ini dipengaruhi oleh berbagai faktor biotik dan abiotik. Menurut Strigul dan Kravchenko (2006), PGPR menghadapi kompetisi yang ketat untuk mendapatkan sumber daya yang terbatas dari komunitas mikroba tanah asli, yang dapat sangat membatasi kelangsungan hidup dan efektivitas fungsional bakteri PGPR. Becker *et al.* (2012) menyatakan bahwa peningkatan keragaman dalam komunitas mikroba dapat menyebabkan peningkatan interaksi antagonis, yang mengakibatkan penurunan populasi PGPR secara drastis, terkadang hingga 98%.

SIMPULAN

Tingkat kehijauan daun dan bobot kering tajuk secara signifikan dipengaruhi oleh interaksi antara pemberian asam humat dan PGPR, dengan konsentrasi paling optimum pada perlakuan 0 g/L asam humat + 25 mL/L PGPR dan 5 g/L asam humat + 50 mL/L PGPR. Pemberian asam humat secara mandiri berpengaruh pada bobot kering akar dengan perlakuan terbaik pada konsentrasi 0 g/L dan 5 g/L asam humat, sedangkan untuk luas daun terdapat pada konsentrasi tanpa penambahan asam humat. Pemberian PGPR secara mandiri berpengaruh pada bobot kering akar, luas daun, dan jumlah daun 30 HSA. Konsentrasi aplikasi PGPR terbaik untuk bobot kering akar dan luas daun adalah 75 mL/L, sedangkan untuk jumlah daun 30 HSA adalah 50 mL/L. Evaluasi efektivitas penambahan asam humat dan PGPR pada media tanam pembibitan kakao yang menggunakan tanah *subsoil* membutuhkan waktu yang lebih panjang untuk memperoleh hasil yang komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Lampung. Penelitian ini dibiayai Politeknik Negeri Lampung sesuai dengan Surat Penjanjian Pelaksanaan Penelitian Bagi Dosen Perguruan Tinggi Dana DIPA Politeknik Negeri Lampung Tahun Anggaran 2025 Nomor: 180.2.14/PL15/PP/2025.

DAFTAR PUSTAKA

Akinci, S. 2011. Humic Acids, Plant Growth and Nutrient Uptake. *Fen Bilimleri Dergisi* 23(1): 46–56.

- Andri, S., Nelvia dan SI Saputra. 2016. Pemberian kompos tkks dan cocopeat pada tanah *subsoil* ultisol terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di *pre nursery*. *Jurnal Agroteknologi* 7(1): 1–6. DOI: <http://dx.doi.org/10.24014/ja.v7i1.2242>.
- Badan Pusat Statistik. 2025. *Statistik Indonesia 2025*. Badan Pusat Statistik. Jakarta. 898 hal.
- Becker, J, N Eisenhauer, S Schei, and A Jousset. 2012. Increasing antagonistic interactions cause bacterial communities to collapse at high diversity. *Ecology Letters* 15: 468–474. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2012.01759.x.
- Benaissa, A. 2019. Plant growth promoting Rhizobacteria A review. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* 5(1): 873–880. <https://www.aljest.net/index.php/aljest/article/view/39>.
- Bera, B, K Bokado, K, Barkha, and S Arambam 2024. Effect of humic acid on growth, yield and soil properties in rice: A review. *International Journal of Plant & Soil Science* 36(6): 26–35. DOI: 10.9734/ijpss/2024/v36i64603.
- da Silva, LP, M Lucrecia, G Ramos, AF Cruz, WQ Ribeiro, G Rodrigues, SA de Oliveira, and ME Calbo. 2016. Fotossíntese em diferentes genótipos de feijoeiro. *Agroecosistemas* 8(1): 20–40. DOI: 10.18542/ragros.v8i1.3266.
- da Silva, MA, ECA de Oliveira, JKS Araujo, JJ de Andrade, AMS de Lima, and FJ Freire. 2025. Plant growth-promoting Rhizobacteria and plant nutrition (Molybdenum and Nitrogen) can enhance sugarcane performance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 25: 4984–4996. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02442-8>.
- Dar, ZA, A Masood, AH Mughal, M Asif, and MA Malik. 2018. Review on drought tolerance in plants induced by plant growth promoting rhizobacteria. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7(05): 412–422. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.053>.
- Dogbatse, JA, A Arthur, GK Awudzi, AK Quaye, S Konlan, and AA Amaning. 2021. Effects of organic and inorganic fertilizers on growth and nutrient uptake by young cacao (*Theobroma cacao* L.). *International Journal of Agronomy*. 1 – 10. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5516928>.

- Dutta, P, G Muthukrishnan, SK Gopalasubramaiam, R Dharmaraj, G Upamanya, S Boruah, L Deb, A Kumari, M Mahanta, P Heisnam, and A Misrha. 2022. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and its mechanisms against plant diseases for sustainable agriculture and better productivity. *BIOCELL* 46(8): 1843–1859. DOI: <https://doi.org/10.32604/biocell.2022.019291>.
- Fadyery, A, ER Setyawati, dan E Rahayu. 2023. Respon pemberian solid pada lapisan tanah yang berbeda terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di *pre nursery*. *Agroforetech*. 1(1):210-215.
- Febrianto, EB, H Gunawan, dan NV Sirait. 2019. Karakteristik morfologi kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) varietas DyxP dumpy dengan pemberian asam humat pada media tanah salin di *main nursery*. *BERNAS Agricultural Research Journal* 2(15): 103–120. DOI: <https://doi.org/10.36294/br.v15i2.779>.
- García-Lopez, JV, S Redondo-Gomez, NJ Flores-Duarte, M Zunzunegui, ID Rodri'guez-Llorente, E Pajuelo, and E Mateos-Naranjo. 2023. Exploring through the use of physiological and isotopic techniques the potential of a PGPR-based biofertilizer to improve nitrogen fertilization practices efficiency in strawberry cultivation. *Frontiers in Plant Science* 1–11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1243509>.
- Ghimirey, V, J Chaurasia, N Acharya, R Dhungana, and S Chaurasiya. 2024. Biofertilizers: A sustainable strategy for enhancing physical, chemical, and biological properties of soil. *Innovations in Agriculture* 7: 1–11. DOI: 10.3897/ia.2024.128697.
- Gutierrez-Urrego, A, and D Johnston-Monje. 2024. Rhizobacterial control of root diseases and stimulation of plant growth. *Preprints.org*. DOI: DOI:10.20944/preprints202402.0740.v1.
- Huang, W, DA Ratkowsky, C Hui, P Wang, P, J Su, and P Shi. 2019. Leaf fresh weight versus dry weight: which is better for describing the scaling relationship between leaf biomass and leaf area for broad-leaved plants. *Forests*. 10(256):1–19. DOI: 10.3390/f10030256.
- Hungria, M, AB Lirio, A Letícia, P Nunes, S Araujo, and MA Nogueira. 2021. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. *Plant Soil*. 463:171–186. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-021-04908-x>.
- Jalmi, SK and AK Sinha. 2022. Ambiguities of PGPR-induced plant signaling and stress management. *Frontiers in Microbiology*. 1–14. DOI: 10.3389/fmicb.2022.899563.
- Jana, B, R Chattopadhyay, R Das, and S Kanthal. 2024. Bio-fertilizer: An alternative to chemical fertilizer in agriculture. *International Journal of Research in Agronomy*. 7(4): 144–149. DOI: 10.33545/2618060X.2024.v7.i4c.539.
- Jannah, M, R Jannah, dan Fahrumsyah. 2022. Kajian Literatur : Penggunaan plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) untuk meningkatkan pertumbuhan dan mengurangi pemakaian pupuk anorganik pada tanaman pertanian. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*. 5(1): 41–49.
- Jeksen, J. 2014. Aplikasi plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) terhadap pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). *Agrica* 7(2): 77–86. DOI: <https://doi.org/10.37478/agr.v7i2.406>.
- Jing, F, S Shi, A Yun, J Guan, B Lu, B Wu, W Wang, R Ma, and P Nan. 2023. Analysis of phenotypic and physiological characteristics of plant height difference in alfalfa. *Agronomy*. 13(1744): 1 - 21. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13071744>.
- Khan, S, and AP Singh. 2025. Direct mechanism of PGPR for promoting plant growth: Current perspective. *Plant Science Today*. 12(3): 1 - 9. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.7748>.
- Kumar, D, AP Singh, P Raha, A Rakshit, CM Singh, and P Kishor, P. 2013. Potassium humate: a potential soil conditioner and plant growth promoter. *International Journal of Agriculture, Environment & Biotechnology*. 6(10): 441–446. DOI: 10.5958/j.2230-732X.6.3.015.
- Laia, D, dan NK Lase. 2024. Peran bakteri bacillus dan pseudomonas. *PENARIK: Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan* 01(2): 177–182.
- Li, Y, F Fang, J Wei, X Wu, R Cui, G Li, and F Zheng. 2019. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-year experiment. *Scientific Reports*. 9:1–9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48620-4>.

- Ma, Y, X Cheng, and Y Zhang. 2024. The impact of humic acid fertilizers on crop yield and nitrogen use efficiency: a meta-analysis. *Agronomy*. 14(2763): 1–12. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14122763>.
- Mayra, O.C, LA Manosalvas-Quiroz, NP Mosquera, dan I Samaniego. 2024. Effect of fermentation parameters on the antioxidant activity of Ecuadorian cocoa (*Theobroma cacao* L.). *AIMS Agriculture and Food* 9(3): 872–886. DOI: 10.3934/agrfood.2024047
- Ningsih, YF, D Armita, dan D Maghfoer. 2018. Pengaruh konsentrasi dan interval pemberian pgpr terhadap pertumbuhan dan hasil buncis tegak (*Phaseolus vulgaris* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 6(7): 1603–1612. <https://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/view/817/840>.
- Prisa, D, R Fresco, and D Spagnuolo. 2023. Microbial biofertilizers in plant production and resistance: A review. 1-13. Preprints.org. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091666>.
- Priyadarshini, S, and BB Mishra. 2022. Study of phytobeneficial characterization and biofertilizer efficacy of rhizobium strain isolated from pulse fields of Odisha. *International Journal of Plant & Soil Science* 34(22): 152–167. DOI: 10.9734/ijps/2022/v34i2231368.
- Purwaningsih, S, D Agustiyani, and S Antonius. 2021. Diversity, activity, and effectiveness of rhizobium bacteria as plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) isolated from Dieng, Central Java. *Iranian Journal of Microbiology* 13(1): 130–136. DOI: 10.18502/ijm.v13i1.5504.
- Putrie, RFW. 2016. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) penghasil eksopolisakarida sebagai inokulan area pertanian lahan kering. *BioTrends*. 7(1): 35–41.
- Rosniawaty, S, R Sudirja, M Ariyanti, S Mubarok, dan R Akbar. 2019. Partisi bahan kering bibit kopi arabika (*Coffea arabica* L.) yang diberi asam humat dan pupuk NPK tablet. *Kultivasi* 18(1): 811–816. DOI: 10.24198/kultivasi.v18i1.20119.
- Sabir, S, HN Asghar, SUR Kashif, MY Khan, and MJ Akhtar. 2013. Synergistic effect of plant growth promoting rhizobacteria and kinetin on maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 23(6): 1750–1755.
- Safitri, M, dan MD Maghfoer. 2023. Pengaruh pemberian pupuk organik cair dan PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) terhadap pertumbuhan bibit kopi arabika (*Coffea arabica* L.) di PTPN XII. *Produksi Tanaman* 011(10): 776–785. DOI: <http://dx.doi.org/10.21776/ub.protan.2023.011.10.06>.
- Santi, LP. 2016. Pengaruh asam humat terhadap pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao*) dan populasi mikroorganisme di dalam tanah humic dystrodept. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 40(2): 87–94. <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/jti/article/view/3186/3220>.
- Santoyo, G, CA Urtis-Flores, P Dami, MC Orozco-Mosqueda, and BR Glick. 2021. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Biology*. 10(475): 1– 18. DOI: 10.3390/biology10060475.
- Sharma, H, S Kalia, I Rautela, A Pal, M Kagday, A Rawat, S Nautiyal, K Thakur, M Kalia, Poonam, and R Chaudhary. 2024. A sustainable agriculture method using biofertilizers: An eco- friendly approach. *Plant Science Today*, 11(3): 347– 359. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.3094>.
- Shi, PJ, Y Rong, L Ülo, E Olson, and J Schrader. 2021. Influence of leaf shape on the scaling of leaf surface area and length in bamboo plants. *Trees*. 35: 709–715. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-020-02058-8>.
- Sinha, D, S Mukherjee, and D Mahapatra. 2021. Multifaceted potential of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Microbial Remediation and Microbial Biotechnology for Sustainable Soil*. 205–268. DOI: 10.4018/978-1-7998-7062-3.ch008.
- Sipayung, O, Mariati, dan Meiriani. 2015. Tanggap pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) terhadap dosis pupuk fosfat dan asam humat. *Agroekoteknologi, Jurnal Online*. 3(4): 1399–1407. DOI: 10.32734/jaet.v3i4.11773.
- Strigul, NS, and LV Kravchenko. 2006. Mathematical modeling of PGPR inoculation into the rhizosphere. *Environmental Modelling & Software*. 21(8): 1158–1171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.06.003>.

- Sun, Y, and J Zhang. 2024. Advances in the application of humic acid in agriculture: impacts on soil fertility, crop growth, and carbon emissions. *International Journal of Public Health and Medical Research*. 2(3): 4–7. DOI: 10.62051/ijphmr.v2n3.05.
- Vercruyssen, J, A Baekelandt, N Gonzalez, and D Inzé. 2021. Molecular networks regulating cell division during *Arabidopsis* leaf growth. *Journal of Experimental Botany*. 71(8): 2365–2378. DOI: 10.1093/jxb/erz522.
- Wang, Y, Y Chen, X Zhang, and W Gong. 2021. Research on measurement method of leaf length and width based on point cloud. *Agriculture*. 11(63): 1–13. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11010063>.
- Wang, Y, C Zhang, Y Zhao, Z Wei, J Li, C Song, X Chen, and M Zhao. 2023. Lignite drove phenol precursors to participate in the formation of humic acid during chicken manure composting. *Science of the Total Environment*. 874:1-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162609>.
- Wati, KR, R Hazriani, dan R Manurung. 2025. Evaluasi status kesuburan tanah ultisol pada dua anjungan Kabupaten Mempawah. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 12(1): 107–116. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2025.012.1.11>.
- Zaib, M. and M Zubair. 2024. A Brief Review on Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *International Research Journal of Education and Tehnology* 5(7): 104–126.
- Zheng, D, C Hu, W Cheng, P Lei, H Xu, and N Gao. 2023. Certain tomato root exudates induced by *Pseudomonas stutzeri* NRCB010 enhance its rhizosphere colonization capability. *Metabolites*. 13(664): 1 – 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo13050664>.