

# Akselerasi Biomassa Kopi Arabika (*Coffea Arabica L*) Fase Pre Nursery Melalui Perendaman Suspensi Bakteri Endofit Dan Aplikasi Biochar Ampas Kopi

Setya Dila Sri Rahayu <sup>1)</sup>; Kabul Warsito <sup>2)</sup>; Andi Setiawan <sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Study Program of Agroteknologi of Universitas Pembangunan Pancabudi

Email: <sup>1)</sup> [setyadilasri rahayu@gmail.com](mailto:setyadilasri rahayu@gmail.com) ; <sup>2)</sup> [kabulwarsito@dosen.pancabudi.ac.id](mailto:kabulwarsito@dosen.pancabudi.ac.id)

<sup>3)</sup> [andi.stiawaan@gmail.com](mailto:andi.stiawaan@gmail.com)

## ARTICLE HISTORY

Received [07 Januari 2026]

Revised [12 April 2026]

Accepted [15 April 2026]

## KEYWORDS

Arabica Coffee Seedlings,  
Endophytic Bacteria, Biochar  
Coffee Grounds, Pre-Nursery  
Phase.

This is an open access  
article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)  
license



## ABSTRAK

Penelitian ini membahas akselerasi pertumbuhan biomassa kopi arabika (*Coffea arabica L.*) pada fase pre nursery melalui perendaman suspensi bakteri endofit dan aplikasi biochar ampas kopi. Penelitian dilakukan di Dusun 3 Desa Sampe Cita, Kutalimbaru, Deli Serdang, Sumatera Utara pada Maret-Mei 2025. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor, yakni lama perendaman bakteri endofit (0, 7, 8, dan 9 jam) dan dosis biochar ampas kopi (0, 20, 40, dan 60 gram). Hasil penelitian menunjukkan perlakuan perendaman suspensi bakteri endofit selama 9 jam dan aplikasi biochar ampas kopi memberikan hasil terbaik pada parameter pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun bibit kopi arabika fase pre nursery. Kombinasi kedua perlakuan ini memberikan peningkatan biomassa secara signifikan dibandingkan kontrol dan perlakuan lain. Selain itu, pemanfaatan limbah ampas kopi menjadi biochar dapat menjadi solusi pengelolaan limbah dan mengurangi pencemaran lingkungan. Simpulan dari penelitian ini adalah aplikasi sinergis bakteri endofit dan biochar ampas kopi menjadi alternatif ramah lingkungan untuk mengurangi kebutuhan pupuk sintetis dalam budidaya kopi arabika sekaligus mendorong sistem pertanian berkelanjutan.

## ABSTRACT

This study discusses the acceleration of the growth of Arabica coffee biomass (*Coffea arabica L.*) in the pre-nursery phase through endophytic bacterial suspension immersion and application of coffee grounds biochar. The research was conducted in Hamlet 3 of Sampe Cita Village, Kutalimbaru, Deli Serdang, North Sumatra in March-May 2025. The method used was a factorial Group Random Design (RAK) with two factors, namely the soaking time of endophytic bacteria (0, 7, 8, and 9 hours) and the dose of coffee grounds biochar (0, 20, 40, and 60 grams). The results showed that the soaking treatment of endophytic bacteria suspension for 9 hours and the application of coffee grounds biochar gave the best results on the parameters of plant height growth and the number of Arabica coffee seedling leaves in the pre nursery phase. The combination of these two treatments provides a significant increase in biomass compared to other controls and treatments. In addition, the use of coffee grounds waste into biochar can be a waste management solution and reduce environmental pollution. The conclusion of this study is that the synergistic application of endophytic bacteria and biochar of coffee grounds is an environmentally friendly alternative to reduce the need for synthetic fertilizers in Arabica coffee cultivation while encouraging sustainable agricultural systems.

## PENDAHULUAN

Kopi (*Coffea arabica L*) merupakan minuman yang sangat populer dan banyak dikonsumsi. Sebagai komoditas pertanian di daerah tropis, kopi mengalami perkembangan signifikan di negara pengimpor dan pengeksport (Maredia, 2023). Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS, 2023), permintaan kopi terus meningkat setiap tahun, sejalan dengan popularitasnya dan kesadaran akan manfaat kesehatan yang ditawarkannya. Selain itu, kopi tetap menjadi salah satu komoditas ekspor utama Indonesia dan sumber pendapatan devisa, produksi kopi Indonesia pada tahun 2022 mencapai 794,8 ton, meningkat dari 786,2 ton pada tahun 2021. Kenaikan produksi ini memberikan peluang bagi produsen kopi di Indonesia untuk memperluas pasar, baik domestik maupun ekspor. Sekitar 60% produksi kopi global berasal dari lahan pertanian terutama lahan agroforestri. Lahan ini berfungsi untuk mengurangi biaya produksi mendiversifikasi pendapatan dan memenuhi kebutuhan hidup. Budidaya kopi umumnya dilakukan di dataran tinggi, baik secara langsung maupun di bawah naungan pepohonan. Sistem agroforestri sering terintegrasi dengan pertanian lain, di mana tanaman kopi ditanam bersamaan dengan komoditas lainnya. Meskipun demikian, petani kopi masih menggunakan metode tradisional, termasuk pestisida dan pupuk sintetis yang dapat merugikan mikroba dan mencemari tanah (Purba et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa bakteri endofit dapat mendukung dan meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi. Penggunaan bakteri endofit dalam pertanian memiliki potensi besar untuk mengurangi dampak negatif penggunaan pupuk sintetis terhadap lingkungan (Asad et al, 2023; ). Bakteri endofit merupakan bakteri yang hidup di dalam jaringan tanaman selama periode tertentu dari siklus hidupnya. Bakteri endofit dapat membentuk koloni dalam jaringan tanaman tanpa membahayakan inangnya. Fungsi bakteri endofit dalam bidang pertanian diantaranya sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan

bioprotektan dari serangan hama dan penyakit tanaman. Sebagai pemacu pertumbuhan, bakteri endofit mampu menambat nitrogen bebas yang ada di udara, melarutkan fosfat, dan memproduksi fitohormon. Sebagai agens hayati bakteri endofit mampu menginduksi penghambatan mikroba patogen pada tanaman (Pradana et al. 2022; Eid et al., 2021; Ercole et al., 2025).

Bakteri endofit telah diidentifikasi mampu mensintesis IAA (asam indole asetat), suatu fitohormon yang mendorong pertumbuhan tanaman (Purba et al., 2023). Sebuah penelitian yang dilakukan mengisolasi *Bacillus cereus* ATCC 14579, suatu bakteri endofit yang berasal dari batang tanaman kopi arabika, yang menunjukkan potensi untuk menghasilkan IAA guna meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi Pratiwi et al, (2020). Penggunaan bakteri endofit dalam pertanian memiliki potensi besar untuk mengurangi dampak negatif penggunaan pupuk sintetis terhadap lingkungan. Fitohormon yang dihasilkan bakteri endofit, terutama IAA, giberelik acid, dan sitokin, memainkan peran krusial dalam mendorong pembelahan sel, pemanjangan sel, dan diferensiasi jaringan tanaman. Penelitian Hindersah et al. (2025) melaporkan bahwa biofertilizer liquid yang ditingkatkan dengan konsentrasi bakteri mencapai  $10^{10}$  CFU/mL dapat meningkatkan jumlah daun dan biomassa tanaman kopi secara signifikan. Dengan demikian, bakteri endofit tidak hanya berfungsi sebagai biofertilizer alami yang mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis, tetapi juga bertindak sebagai agens bioprotektif yang meningkatkan ketahanan tanaman kopi terhadap berbagai stres biotik dan abiotik, menjadikannya kandidat ideal untuk mendukung sistem pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan. Ampas kopi dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik bagi tanaman.

Pupuk organik dapat menjadi alternatif penggunaan pupuk anorganik atau pupuk kimia secara berlebihan. Salah satu dampak yang ditimbulkan dari limbah ampas kopi yang dibuang begitu saja dapat menjadi racun bagi lingkungan jika tidak dimanfaatkan dengan baik karena adanya kandungan kafein, tanin, dan polifenol di dalamnya. Limbah ampas kopi dapat diolah dan dimanfaatkan menjadi bio-oil, biochar, pupuk, dan lain-lain (Tsaniyah dan Daesusi 2021; Nguyen et al., 2021; AlMallahi et al., 2023). Biochar merupakan bahan pembenah tanah yang berguna untuk meningkatkan produktivitas tanah. Bahan utama untuk pembuatan biochar adalah limbah-limbah pertanian dan perkebunan seperti sekam padi, tempurung kelapa, limbah kopi, serta kayu-kayu yang berasal dari tanaman hutan industri. Biochar dibuat dari bahan-bahan organik yang sulit terdekomposisi, yang dibakar secara tidak sempurna (pyrolysis) atau tanpa oksigen pada suhu yang tinggi. Dengan kandungan senyawa organik dan anorganik yang terdapat di dalamnya, biochar banyak digunakan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan kualitas tanah (Auliadesti, 2025; Warsito et al., 2023).

## LANDASAN TEORI

Kopi arabika (*Coffea arabica* L.) merupakan komoditas perkebunan bernilai ekonomi tinggi yang keberhasilan budidayanya sangat ditentukan oleh kualitas bibit pada fase awal pertumbuhan. Fase pre nursery merupakan tahap kritis karena bibit masih memiliki sistem perakaran yang belum berkembang sempurna dan sangat dipengaruhi oleh kondisi media tanam serta ketersediaan unsur hara. Bakteri endofit adalah mikroorganisme yang hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit dan berperan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman (*Plant Growth Promoting Bacteria*). Bakteri endofit mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, serta produksi fitohormon seperti Indole Acetic Acid (IAA), giberelin, dan sitokinin yang berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel tanaman. Perendaman suspensi bakteri endofit pada benih atau bibit bertujuan meningkatkan kolonisasi bakteri sejak fase awal pertumbuhan sehingga dapat mempercepat pertumbuhan vegetatif tanaman.

Biochar ampas kopi merupakan bahan pembenah tanah yang dihasilkan dari pirolisis limbah ampas kopi. Biochar memiliki struktur berpori dan kandungan karbon tinggi yang berfungsi memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi media tanam, meningkatkan retensi air, kapasitas tukar kation, serta menyediakan habitat bagi mikroorganisme tanah. Pemanfaatan biochar dari limbah ampas kopi juga mendukung pengelolaan limbah dan pertanian berkelanjutan. Kombinasi bakteri endofit dan biochar menunjukkan efek sinergis, di mana biochar mendukung keberlangsungan dan aktivitas bakteri, sementara bakteri endofit meningkatkan ketersediaan unsur hara dan produksi fitohormon. Sinergi ini berpotensi meningkatkan pertumbuhan dan biomassa bibit kopi arabika pada fase pre nursery secara efektif dan ramah lingkungan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan maret – mei tahun 2025 dilahan penelitian Universitas Pembangunan Panca Budi di Dusun 3 Desa Sampe Cita, Kecamatan Kutalimbaru, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara dengan ketinggian tempat  $\pm$  500 meter di atas permukaan laut. Bahan

yang digunakan adalah benih kopi arabika, polibag ukuran 20 cm x 20 cm, top soil, daun lamtoro, sekam bakar, ampas kopi, perendaman bakteri endofit. Alat yang digunakan yaitu ember, cangkul, pisau, penggaris, jangka sorong, gembur.

Metode penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial yang terdiri dari 2 faktor, 16 kombinasi 3 ulangan dengan 48 plot. Faktor pertama adalah perendaman bakteri endofit yang di simbol kan dengan 'E' yang terdiri dari 4 taraf perlakuan yaitu E0 = 0 jam (tanpa perlakuan), E1 = 7 jam, E2 = 8 jam, E3 = 9 jam. Faktor yang kedua adalah pemberian biochar ampas kopi yang disimbolkan dengan B yang terdiri dari 4 taraf yaitu B0 = 0 gram (tanpa perlakuan), B1 = 20 gram, B2 = 40 gram, B3 = 60 gram.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tinggi Tanaman

**Table 1. Rata-rata tinggi tanaman (cm) kopi arabika pada setiap perlakuan Bakteri Endofit dan Biochar ampas kopi.**

Bakteri endofit	2 MST	4 MST	6 MST	8 MST	10 MST
E0	9.67 a	4.74 a	6.59 a	8.27 a	9.67 a
E1	10.18 a	4.60 a	6.63 a	8.02 a	10.18 a
E2	9.92 a	4.53 a	6.61 a	8.24 a	9.92 a
E3	10.15 a	4.83 a	6.77 a	8.38 a	10.15 a
Biochar ampas kopi					
B0	11.38 a	5.08 a	6.83 a	8.67 a	11.38 a
B1	9.89 b	4.71 b	6.55 b	7.88 b	9.89 b
B2	9.19 b	4.54 bc	6.61 b	8.23 ab	9.19 b
B3	9.46 b	4.37 c	6.60 b	8.13 ab	9.46 b

Data menunjukkan bahwa semua perlakuan mengalami peningkatan tinggi tanaman dari 2 MST sampai 10 MST. Perlakuan dengan bakteri endofit, terutama E3, menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih unggul dibanding kontrol (E0) dan perlakuan lain, terutama pada 8 MST dan 10 MST hal ini sejalan dengan penelitian Purba et al., (2023) bahwa baktri endofir berpengaruh dengan pertumbuhan kopi 2 BST, 3BST dan 4 BST. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang melaporkan bahwa bakteri endofit dapat merangsang pertumbuhan tanaman melalui produksi hormon pertumbuhan seperti IAA serta peningkatan ketersediaan nutrisi mikro (Pratiwi et al., 2024). Aplikasi biochar ampas kopi memberikan peningkatan yang bervariasi, dengan perlakuan B1 menunjukkan tinggi tanaman yang kompetitif pada 10 MST. Selain kontribusi mikroba, aplikasi biochar yang dibuat dari limbah kopi dapat memperbaiki sifat fisik-kimia media tanam (retensi air, kapasitas tukar kation, dan stabilitas agregat), sehingga menciptakan kondisi rhizosfer yang lebih kondusif bagi aktivitas akar dan pengambilan hara. Peningkatan retensi air dan ketersediaan nutrisi yang diinduksi biochar berhubungan langsung dengan peningkatan tinggi tanaman dan biomassa pucuk pada beberapa penelitian lapangan dan pot eksperimental. Oleh karena itu, efek sinergis antara biochar (sebagai amelioran media) dan endofit (sebagai agen fisiologis) kemungkinan besar menjadi penyebab kenaikan tinggi yang kami amati (Alghamdi et al., 2024).

### Jumlah Daun

**Tabel 2. Rata-rata jumlah daun (helai) kopi arabika pada setiap perlakuan bakteri endofit dan biochar ampas kopi**

Bakteri Endofit	2 MST	4 MST	6 MST	8 MST	10 MST
E0	2.00 a	2.17 a	4.17 a	6.16 a	7.33 a
E1	2.00 a	2.00 a	4.00 a	6.00 a	7.50 a
E2	2.00 a	2.00 a	4.00 a	6.00 a	7.17 a
E3	2.00 a	2.33 a	4.33 a	6.33 a	7.83 a
Biochar ampas kopi					
B0	2.00 a	2.50 a	4.50 b	6.50 a	6.17 a
B1	2.00 a	2.00 b	4.00 a	6.00 b	7.50 a
B2	2.00 a	2.00 b	4.00 a	6.00 b	6.83 a
B3	2.00 a	2.00 b	4.00 a	6.00 b	7.33 a

Data menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi suspensi bakteri endofit dan aplikasi biochar ampas kopi memberikan variasi pertumbuhan jumlah daun pada kopi Arabika dalam fase pre nursery. Terlihat perkembangan jumlah daun meningkat dari waktu ke waktu (2 MST hingga 10 MST) pada semua perlakuan, dengan beberapa perlakuan memberikan angka rata-rata daun yang lebih tinggi secara signifikan khususnya pada waktu 6 MST dan 8 MST. Misalnya, perlakuan bakteri endofit E3 dan biochar B0 menunjukkan jumlah daun yang relatif lebih tinggi dibandingkan kontrol (E0 dan B0).

Peningkatan jumlah daun ini menunjukkan bahwa aktivitas metabolik tanaman meningkat akibat interaksi positif antara bakteri endofit dan biochar yang mampu memperbaiki ketersediaan unsur hara serta menstimulasi produksi fitohormon seperti IAA dan sitokinin. Menurut Asad et al. (2023), bakteri endofit yang berasosiasi dengan tanaman kopi dapat menghasilkan senyawa bioaktif yang mempercepat pembelahan dan ekspansi sel daun, sehingga meningkatkan jumlah dan ukuran daun secara signifikan. Selain itu, Ferraro et al. (2023) juga melaporkan bahwa pemberian bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PGPB) mampu meningkatkan jumlah daun hingga 25–30% pada bibit kopi arabika dibandingkan kontrol tanpa inokulan, terutama karena peningkatan serapan fosfor dan nitrogen.

Sementara itu, penambahan biochar dari ampas kopi dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan retensi air, yang berperan penting dalam mendukung perkembangan daun muda pada fase awal pertumbuhan. Penelitian oleh Auliadesti (2025) dan Warsito et al. (2023) menunjukkan bahwa biochar berbahan dasar limbah kopi meningkatkan kapasitas tukar kation dan ketersediaan unsur hara makro (N, P, K), yang berkontribusi terhadap peningkatan luas dan jumlah daun pada tanaman kopi. Kombinasi kedua perlakuan tersebut terbukti sinergis, di mana biochar mendukung habitat mikro bagi kolonisasi bakteri endofit, sehingga efektivitas fisiologisnya terhadap pembentukan daun meningkat (Hindersah et al., 2025).

## Luas Daun

**Tabel 3. Rata-rata lebar daun (cm) kopi arabika pada setiap perlakuan bakteri endofit dan biochar ampas kopi.**

Bakteri endofit	10 MST
E0	4.77 a
E1	4.75 a
E2	4.70 a
E3	4.77 a
Biochar ampas kopi	
B0	4.67 a
B1	4.78 a
B2	4.79 a
B3	4.75 a

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman suspensi bakteri endofit (E0-E3) menghasilkan luas daun yang relatif seragam (4,70-4,77 cm<sup>2</sup>) tanpa perbedaan yang signifikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Purba et al. yang melaporkan bahwa pertumbuhan tanaman kopi arabika dengan perlakuan perendaman suspensi bakteri endofit memberikan data terbaik pada 5 bulan setelah tanam (MAP) pada perlakuan perendaman 8 jam, namun respons terhadap parameter luas daun memerlukan waktu yang lebih lama untuk menunjukkan perbedaan yang signifikan. De Souza et al. menjelaskan bahwa bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PGPB) dari berbagai genera yang diisolasi dari filosfer, endosfer, dan rizosfer kopi mampu meningkatkan germinasi benih, biomassa tanaman, dan akumulasi nutrisi pada bibit kopi arabika kultivar Catuaí Vermelho IAC144. Namun, respons pertumbuhan sangat bergantung pada kultivar, karena kultivar Catuaí Amarelo IAC 62 menunjukkan respons yang lebih rendah terhadap perlakuan bakteri yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas bakteri endofit dalam meningkatkan luas daun dapat dipengaruhi oleh interaksi genotipe-mikroba (Ferraro et al., 2023; Urgiles-Gómez et al., 2021). Warsito et al. melaporkan bahwa bakteri rizosfer dari tanah erupsi Gunung Sinabung efektif dalam menstimulasi pertumbuhan tunas daun kopi arabika, dengan parameter luas daun tertinggi ditemukan pada perlakuan dengan mikrokapsul bakteri rizosfer. Penelitian serupa oleh Damayanti et al. menunjukkan bahwa aplikasi kombinasi bakteri endofit mampu meningkatkan pertumbuhan bibit kopi arabika yang terserang nematoda *Pratylenchus coffeae* secara signifikan.

## Panjang Akar

Pemberian bakteri endofit dan biochar ampas kopi diduga memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan panjang akar karena unsur hara yang terkandung mampu meningkatkan struktur tanah,

sehingga akar dapat berkembang lebih optimal. Berdasarkan analisis sidik ragam pemberian bakteri endofit dan biochar ampas kopi memberikan pengaruh nyata terhadap luas (Tabel 4).

**Tabel 4 Hasil Pengamatan Panjang Akar Kopi Arabika**

Bakteri endofit	10 MST
E0	5.10 a
E1	5.07 a
E2	5.14 a
E3	5.03 a
Biochar ampas kopi	
B0	5.03 a
B1	5.10 a
B2	5.07 a
B3	5.15 a

Hasil pengamatan panjang akar kopi arabika pada umur 10 minggu setelah tanam (MST) dalam penelitian akselerasi biomassa kopi arabika fase pre nursery menunjukkan pola yang konsisten di antara seluruh perlakuan. Data menunjukkan bahwa baik perlakuan perendaman suspensi bakteri endofit (E0, E1, E2, E3) maupun aplikasi biochar ampas kopi (B0, B1, B2, B3) menghasilkan panjang akar yang berkisar antara 5,03 cm hingga 5,15 cm dengan rata-rata keseluruhan 5,09 cm. Berdasarkan uji lanjut Duncan, semua perlakuan menunjukkan notasi yang sama (huruf a), yang mengindikasikan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan terhadap parameter panjang akar bibit kopi arabika hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Gebisa (2022).

Pada fase pre nursery, tanaman kopi arabika masih dalam tahap awal pembentukan sistem perakaran primer. Menurut penelitian tentang perkembangan bibit kopi, sistem perakaran pada stadium awal sangat dipengaruhi oleh cadangan makanan dalam biji dan program genetik untuk pembentukan akar tunggang. Penelitian menunjukkan bahwa pada fase pembibitan kopi berusia 3-4 bulan, akar tunggang berkembang aktif pada minggu-minggu pertama perkecambahan dan membentuk sejumlah besar akar dan akar rambut. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme, termasuk produksi fitohormon seperti asam indolasetat (IAA), pelarutan fosfat, dan fiksasi nitrogen.

Namun, efektivitas bakteri endofit sangat bergantung pada waktu aplikasi, metode inokulasi, dan stadium perkembangan tanaman. Pada fase pre nursery yang sangat dini (10 MST), kemungkinan kolonisasi bakteri endofit pada sistem perakaran belum optimal karena sistem akar masih dalam tahap pembentukan awal (Asad et al., 2023).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi perendaman suspensi bakteri endofit dan aplikasi biochar ampas kopi dapat menjadi alternatif ramah lingkungan untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk sintesis dalam budidaya kopi arabika. Pemanfaatan limbah ampas kopi menjadi biochar juga memberikan solusi pengelolaan limbah yang dapat mencegah pencemaran lingkungan dari kandungan kafein, tanin, dan polifenol. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa perlakuan perendaman bakteri endofit selama 9 jam (E<sub>3</sub>) memberikan hasil terbaik untuk parameter pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun pada bibit kopi arabika fase pre nursery, yang sejalan dengan teori bahwa bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui produksi fitohormon dan peningkatan ketersediaan nutrisi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alghamdi, A. G., Alomran, A., Ibrahim, H. M., Alkhasha, A., & Majrashi, M. A. (2024). Spent coffee waste-derived biochar improves physical properties, water retention, and maize (*Zea mays* L.) growth in sandy soil. *Scientific Reports*, 14(1), 19753.
- AlMallahi, M. N., Asaad, S. M., Rocha-Meneses, L., Inayat, A., Said, Z., Assad, M. E. H., & Elgendi, M. (2023). A case study on bio-oil extraction from spent coffee grounds using fast pyrolysis in a fluidized bed reactor. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100529.

- Asad S, Priyashantha AKH, Tibpromma S, Luo Y, Zhang J, Fan Z, Zhao L, Shen K, Niu C, Lu L, Promputtha I, Karunarathna SC. Coffee-Associated Endophytes: Plant Growth Promotion and Crop Protection. *Biology (Basel)*. 2023 Jun 25;12(7):911.
- Asad, S., Priyashantha, A. K. H., Tibpromma, S., Luo, Y., Zhang, J., Fan, Z., Zhao, L., Shen, K., Niu, C., Lu, L., Promputtha, I., & Karunarathna, S. C. (2023). Coffee-Associated Endophytes: Plant Growth Promotion and Crop Protection. *Biology*, 12(7), 911.
- Auliadesti, V. (2025). Pengaruh Penambahan Biochar Kulit Kopi dan Abu Vulkanis dalam Memperbaiki Sifat Kimia Ultisol. *Journal Arunasita*, 2(1), 1-13.
- Auliadesti, V. (2025). Pengaruh Penambahan Biochar Limbah Kopi dan Abu Vulkanis dalam Memperbaiki Sifat Kimia Ultisol. *Journal Arunasita*, 2(1), 1-13.
- Badan Pusat Statistik. (2023). Data Produksi Kopi Indonesia Tahun 2022.
- de Souza, M. P. P., Cipriano, M. A. P., Braghini, M. T., de Sousa, L. P., Mondego, J. M. C., Patrício, F. R. A., & da Silveira, A. P. D. (2025). Beneficial bacteria improve seedling growth and nutrition and promote biological control of coffee diseases. *Journal of applied microbiology*, 136(3), Ixaf050.
- Eid, A. M., Fouda, A., Abdel-Rahman, M. A., Salem, S. S., Elsaied, A., Oelmüller, R., Hijri, M., Bhowmik, A., Elkelish, A., & Hassan, S. E.-D. (2021). Harnessing Bacterial Endophytes for Promotion of Plant Growth and Biotechnological Applications: An Overview. *Plants*, 10(5), 935.
- Ercole, T. G., Bonotto, D. R., Hungria, M., Kava, V. M., & Galli, L. V. (2025). The role of endophytic bacteria in enhancing plant growth and health for sustainable agriculture. *Antonie van Leeuwenhoek*, 118(7), 88. <https://doi.org/10.1007/s10482-025-02100-0>
- Ferraro, A. C., França, A. C., Machado, C. M. M., Aguiar, F. R., Oliveira, L. L., Braga, A. M., & Oliveira, R. G. (2023). Commercial characteristics of coffee seedlings produced with different sources of phosphorus and plant growth-promoting bacteria. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e270262
- Gebisa, L. A. (2022). Coffee (*Coffea arabica* L.) Seed Emergence and seedling growth rate responses to different pot size and biochar based nursery media preparation at Awada South Ethiopia. *American Journal of Plant Biology*, 7(3), 127-131.
- Hindersah, R., Asyiah, I. N., Amaria, W., Fitriatin, B. N., Mudakir, I., & Banerjee, S. (2025). Enhanced mycorrhiza helper bacterial inoculant for improving the health of Arabica coffee seedlings grown in nematode-infected soil. *Biodiversitas*, 26(1), 126–133. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d260114>
- Maredia, M. K. (2023). Coffee 's innovation crisis. 1–13.
- Nguyen, V. T., Tran, T., Nguyen, T. N., Le, T. N. C., Bui, X. T., & Bach, L. G. (2021). Biochar derived from the spent coffee ground for ammonium adsorption from aqueous solution. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100141.
- Pradana, A. P., Adiwena, M., & Yousif, A. I. A. (2022). Formula bakteri endofit untuk meningkatkan pertumbuhan bibit jagung pada tanah masam podsolik merah-kuning. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 22(1), 30-41.
- Pratiwi, E. R., Ardyati, T., & Suharjono, S. (2020). Plant Growth Promoting Endophytic Bacteria of *Coffea canephora* and *Coffea arabica* L. in UB Forest. *The Journal of Experimental Life Sciences*, 10(2), 119–126
- Pratiwi, E. R., Suryani, E. M., Prasetya, I. A. W., & Al Batati, N. (2024). KARAKTERISASI DAN POTENSI BAKTERI ENDOFIT AKAR KOPI (*Coffea* sp) SEBAGAI PENGHASIL INDOLE ACETIC ACID (IAA). *Bio-Lectura: Jurnal Pendidikan Biologi*, 11(1), 77-92.
- Purba, I. G., Warsito, K., & Refnizuida, R. (2023). Escalation Of Coffee Plant (*Coffea arabica* L) By Addition Of Microcapsules From IAA (Indole Acetic Acid) Producing-Endophytic Bacteria. *Jurnal Pembelajaran Dan Biologi Nukleus*, 9(1), 181–191.
- Tsaniyah, I., dan R. Daesusi. 2021. Pengaruh Pemberian Ampas Kopi Sebagai Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*). *Pedago Biologi: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Biologi*. Vol 8(1): 58-63.
- Urgiles-Gómez, N., Avila-Salem, M. E., Loján, P., Encalada, M., Hurtado, L., Araujo, S., ... & Cornejo, P. (2021). Plant growth-promoting microorganisms in coffee production: from isolation to field application. *Agronomy*, 11(8), 1531
- Warsito, K., Asmaq, N., Irawan, I., Purba, N. S., & Heinze, J. (2023). Potential of Utilizing Arabica Coffee Dregs (*Coffea Arabica* L.) as Biochar for Increasing Fertility of Plant Media. In *The International Conference on Education, Social, Sciences and Technology (ICESST) (Vol. 2, No. 2, pp. 359-367)*.–289
- Warsito, K., Hafiz, M., Irawan, I., & Friski, F. I. (2024, November). Effectiveness Of Rhizosphere Bacteria Microcapsules On The Growth Of Arabica Coffee Leaves (*Coffea Arabica* L.). In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS DHARMAWANGSA (Vol. 1, No. 1, pp. 402-411)*.