

Inokulasi Mikrokapsul Bakteri Rizosfer Dari Tanah Erupsi Sinabung Sebagai Booster Pertumbuhan Bibit Kopi Robusta (*Coffea canephora* L.)

Inoculation of Rhizosphere Bacteria Microcapsules from the Soil of Sinabung Eruption as A Growth Booster for Robusta Coffee Seedlings (Coffea canephora L.)

Rico Kris Hadinata Tarigan, Kabul Warsito*, & Andi Setiawan

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Jl. Gatot Subroto Km 4,5 1099 Medan

Disubmit: 07 Juni 2025; Direview: 09 Juni 2025; Disetujui: 07 Juli 2025

*Corresponding Email: kabulwarsito@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh pupuk mikrokapsul bakteri rhizosfer dan pupuk kotoran ayam terhadap pertumbuhan bibit kopi robusta (*Coffea canephora* L.) dalam upaya mengembangkan bibit unggul ramah lingkungan. Menggunakan Rancangan Acak Lengkap dua faktorial dengan 16 perlakuan dan 5 ulangan, variasi dosis pupuk kotoran ayam (0, 100, 200, 300 gr) dan mikrokapsul bakteri rhizosfer (0, 5, 7,5, 10 gr) diuji. Hasil menunjukkan dosis 100gr pupuk kotoran ayam (K1) memberikan respons pertumbuhan terbaik pada semua parameter, dengan tinggi tanaman mencapai 51,40 cm pada 4 BSPT, meningkat 44,8% dibanding kontrol. Panjang akar menunjukkan pola respons non-linear, di mana K1 menghasilkan panjang akar tertinggi (30,68 cm²) dan dosis tertinggi (K3) menghasilkan panjang akar terendah (24,36 cm²). Jumlah daun dan luas daun juga meningkat signifikan pada perlakuan K1 dibanding kontrol. Mikrokapsul bakteri rhizosfer memberikan efek positif melalui stimulasi pertumbuhan akar dan produksi fitohormon yang meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi. Temuan ini menegaskan pentingnya optimalisasi dosis pupuk kotoran ayam dan mikrokapsul bakteri rhizosfer untuk pertumbuhan bibit kopi robusta yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Kopi Robusta; Pupuk Kotoran Ayam; Mikrokapsul Bakteri Rhizosfer

Abstract

This study evaluated the effect of rhizosphere bacteria microcapsule fertilizer and chicken manure fertilizer on the growth of robusta coffee seedlings (*Coffea canephora* L.) in an effort to develop environmentally friendly superior seedlings. Using a two-factorial Completely Randomized Design with 16 treatments and 5 replications, variations in doses of chicken manure fertilizer (0, 100, 200, 300 grs) and rhizosphere bacteria microcapsules (0, 5, 7.5, 10 grs) were tested. The results showed that a dose of 100 grs of chicken manure fertilizer (K1) gave the best growth response in all parameters, with plant height reaching 51.40 cm at 4 BSPT, an increase of 44.8% compared to the control. Root length showed a non-linear response pattern, where K1 produced the highest root length (30.68 cm²) and the highest dose (K3) produced the lowest root length (24.36 cm²). The number of leaves and leaf area also increased significantly in the K1 treatment compared to the control. Rhizosphere bacteria microcapsules provide positive effects through root growth stimulation and phytohormone production that increases nutrient absorption efficiency. These findings emphasize the importance of optimizing the dosage of chicken manure fertilizer and rhizosphere bacteria microcapsules for sustainable robusta coffee seedling growth.

Keywords: Robusta Coffee; Chicken Manure Fertilizer; Rhizosphere Bacteria Microcapsules.

How to Cite: Tarigan, R.K.H., Warsito, K., & Setiawan, A. (2025). Inokulasi Mikrokapsul Bakteri Rizosfer Dari Tanah Erupsi Sinabung Sebagai Booster Pertumbuhan Bibit Kopi Robusta (*Coffea canephora* L.). *Journal of Natural Sciences*. 6 (2): 108-117



PENDAHULUAN

Kopi robusta (*Coffea canephora* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan bernilai ekonomi tinggi yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Tanaman ini mulai diperkenalkan sekitar tahun 1876 sebagai alternatif kopi arabika yang rentan terhadap penyakit karat daun. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kopi robusta memiliki ketahanan lebih baik terhadap serangan hama dan penyakit dibandingkan kopi arabika (Hasbullah *et al.*, 2021).

Seiring meningkatnya permintaan produk olahan kopi, kebutuhan akan bibit kopi unggul dalam jumlah besar pun ikut meningkat. Tahap pembibitan menjadi fase krusial dalam siklus budidaya karena kualitas bibit sangat menentukan produktivitas dan mutu hasil panen. Namun, biji kopi memerlukan waktu relatif lama untuk berkecambah, sehingga pemupukan berperan penting dalam mempercepat dan meningkatkan pertumbuhan awal bibit (Suyamto, 2017). Sayangnya, penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus masih menjadi praktik umum di kalangan petani, yang berpotensi menurunkan kesuburan tanah dan merusak keseimbangan ekosistem (Ngantung *et al.*, 2018).

Penggunaan jangka panjang pupuk anorganik diketahui dapat menurunkan kadar bahan organik tanah, memperkecil daya simpan air, menurunkan pH, serta mengganggu keseimbangan unsur hara. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif pemupukan yang mudah diperoleh, ramah lingkungan, dan efektif dalam mendukung pertumbuhan tanaman (Rasmito & Hutomo, 2019).

Salah satu solusi yang dikembangkan adalah penggunaan pupuk hayati berbasis mikroorganisme tanah. Pupuk hayati mampu meningkatkan kesuburan tanah, mempercepat pengomposan, menekan penyakit tular tanah, serta memperbaiki struktur tanah melalui peningkatan aktivitas mikroba tanah (Itelima *et al.*, 2018; Nildayanti, 2018). Rhizosfer, sebagai zona sekitar perakaran tanaman, merupakan habitat penting bagi mikroorganisme yang berperan langsung maupun tidak langsung dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Bakteri rhizosfer, seperti *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, dan lainnya, diketahui mampu menambat nitrogen, melarutkan fosfat, menghasilkan hormon pertumbuhan (seperti IAA), serta meningkatkan daya tahan tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik (Lengkong, 2022; Afzal *et al.*, 2019).

Untuk menjaga viabilitas dan efektivitas bakteri rhizosfer di lingkungan tanah, teknik mikroenkapsulasi menjadi salah satu inovasi yang menjanjikan. Mikroenkapsulasi merupakan teknik pelapisan mikroorganisme dengan matriks polimer (seperti alginat) untuk membentuk kapsul mikro yang mampu melindungi bakteri dari kondisi lingkungan ekstrem. Teknologi ini terbukti dapat meningkatkan stabilitas, memperpanjang umur simpan, serta mempertahankan aktivitas biologis bakteri hingga waktu aplikasi (Akhavan, 2016; Pratiwi *et al.*, 2019; Karimi *et al.*, 2018).

Warsito *et al.* (2024) melaporkan bahwa aplikasi mikrokapsul bakteri rhizosfer secara signifikan mampu meningkatkan kualitas biologi tanah dan pertumbuhan vegetatif bibit kopi. Namun, metode aplikasi secara konvensional, baik disiram langsung atau dicampurkan dalam media tanam dinilai belum cukup efektif dalam menjaga stabilitas dan efektivitas bakteri akibat pengaruh lingkungan yang kurang sesuai.

Bersamaan dengan itu, penggunaan pupuk kotoran ayam juga menjadi alternatif pemupukan organik yang potensial. Kotoran ayam mengandung unsur hara makro dan mikro penting seperti nitrogen, fosfor, kalium, serta mikroba tanah yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi efektivitas kombinasi pupuk mikrokapsul bakteri rhizosfer dan pupuk kotoran ayam terhadap pertumbuhan bibit kopi robusta, guna mendukung pembibitan yang ramah lingkungan serta mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Desember 2024 hingga April 2025 dan terdiri atas dua tahap utama. Tahap pertama meliputi pembuatan mikrokapsul bakteri rhizosfer serta sterilisasi media tanam, yang dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan. Tahap kedua mencakup pengaplikasian mikrokapsul dan penanaman bibit kopi robusta, yang dilaksanakan di lahan percobaan Glugur Rimbun, Kecamatan Kutalimbaru.

Prosedur Penelitian

Pembuatan Mikrokapsul

Sebanyak 14,7 gr kalsium klorida (CaCl_2) dilarutkan dalam 1000 ml akuades menggunakan labu ukur dan diaduk hingga homogen. Larutan ini kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Larutan natrium klorida (NaCl) 0,9% disiapkan dengan mencampurkan 1 liter akuades steril, lalu ditambahkan suspensi bakteri rhizosfer dan diaduk merata.

Selanjutnya, larutan natrium alginat steril yang mengandung suspensi bakteri rhizosfer dimasukkan ke dalam spuit dan diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 0,1 M. Tetesan tersebut didiamkan selama satu jam hingga terbentuk mikrokapsul padat. Mikrokapsul yang terbentuk dipindahkan ke dalam akuades steril dan diaduk perlahan menggunakan shaker selama satu jam untuk menghilangkan residu CaCl_2 , kemudian disaring dan dibilas.

Pembuatan larutan natrium alginat dilakukan dengan melarutkan 2% alginat dan 2% inulin dalam akuades, diaduk hingga homogen, dicukupkan volumenya hingga 50 ml, kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf (121°C , 15 menit). Setelah dingin, ditambahkan 50 ml suspensi bakteri rhizosfer (Warsito *et al.*, 2024).

Persiapan Lahan dan Rumah Kasa

Lahan disiapkan dua minggu sebelum penanaman dengan alat seperti cangkul, parang, dan sabit. Rumah kasa dibangun sebagai naungan untuk melindungi bibit dari paparan sinar matahari langsung serta mencegah kontaminasi mikrokapsul.

Persiapan Media Tanam

Media tanam terdiri dari top soil, kompos, sekam bakar, dan pupuk kotoran ayam dengan perbandingan masing-masing 25%. Media ini dimasukkan ke dalam 60 polybag. Sebelum digunakan, media disterilisasi dengan cara dikukus dalam drum atau panci besar pada suhu 150°C selama 8 jam selama 2 hari berturut-turut untuk mengurangi mikroorganisme patogen.

Pengaplikasian Pupuk Kotoran Ayam

Pupuk kotoran ayam diaplikasikan sebelum sterilisasi media, dengan taraf perlakuan: K0 = tanpa pupuk (kontrol); K1 = 100 gr; K2 = 200 gr; K3 = 300 gr; 5. Persiapan dan Penanaman Bibit Kopi

Bibit yang digunakan adalah kopi robusta berumur setara dengan dua daun sejati, berasal dari Tapanuli Selatan. Bibit ditanam dalam polybag berukuran 15×10 cm yang telah diisi media tanam steril. Polybag disiram terlebih dahulu hingga basah, kemudian ditugal ± 10 cm, bibit ditanam dan media dipadatkan untuk menghindari akar menggantung.

Aplikasi Mikrokapsul Bakteri Rhizosfer

Aplikasi mikrokapsul dilakukan dua bulan setelah pindah tanam dengan taraf perlakuan sebagai berikut: M0 = tanpa mikrokapsul (kontrol); M1 = 5 gr; M2 = 7,5 gr; M3 = 10 gr.

Pemeliharaan Bibit

Bibit disiram setiap dua hari sekali dan dibersihkan dari gulma secara rutin agar tidak terjadi kompetisi unsur hara.

Analisis Data

Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dua faktor dengan 16 kombinasi perlakuan dan lima ulangan. Faktor pertama adalah pupuk kotoran ayam (K0, K1, K2, K3) dan faktor kedua adalah mikrokapsul bakteri rhizosfer (M0, M1, M2, M3). Mikrokapsul diaplikasikan pada bulan kedua setelah tanam. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Duncan untuk mengetahui perbedaan nyata antar perlakuan.

Parameter yang diamati yaitu Tinggi tanaman (cm); Jumlah daun (helai); Luas daun (cm^2); Panjang akar (cm^2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman

Pengamatan Tinggi Tanaman dilakukan pada kopi berumur 1 sampai 4 bulan setelah dilakukannya pindah tanam (BSPT) bibit kopi. Dari hasil pengamatan pada bulan pertama sampai dengan bulan ke empat, bibit kopi robusta yang berinteraksi pada pupuk kotoran ayam yaitu pada taraf K1 pada bulan 4 BSPT, dan mikrokapsul pada taraf M2 pada bulan 4 BSPT, jarak hasil duncan dapat dilihat pada Tabel 1.



Tabel 1. Rata-rata tinggi tanaman Bibit Kopi Robusta, dengan perlakuan Pupuk Kotoran Ayam dan Perlakuan Mikrokapsul Bakteri Rhizosfer

Perlakuan	Rata-rata Tinggi Tanaman (cm)			
	1BSPT	2BSPT	3BSPT	4BSPT
Perlakuan Kotoran Ayam (K)				
K0 = 0 gr	19.35 ^{ba}	20.76 ^{ba}	27.83 ^{cc}	35.49 ^{dd}
K1 = 100 gr	19.50 ^{ba}	21.76 ^{aa}	33.91 ^{aa}	51.40 ^{aa}
K2 = 200 gr	20.50 ^{aa}	21.76 ^{aa}	32.33 ^{baB}	47.49 ^{bb}
K3 = 300 gr	19.41 ^{ba}	20.59 ^{ba}	28.43 ^{cc}	40.99 ^{cc}
Penambahan Mikrokapsul (M)				
M0 = 0 gr	19.35 ^{ba}	20.46 ^{bb}	29.06 ^{cc}	43.83 ^{abAB}
M1 = 5 gr	19.50 ^{ba}	20.81 ^{bb}	31.49 ^{abAB}	45.60 ^{aa}
M2 = 7.5 gr	20.50 ^{aa}	22.36 ^{aa}	32.20 ^{aa}	45.91 ^{aa}
M3 = 10 gr	19.41 ^{aa}	21.24 ^{aa}	29.74 ^{cc}	40.03 ^{cc}

Pada pengamatan bulan keempat setelah pindah tanam (4 BSPT), perlakuan K1 (100 gr pupuk kotoran ayam) menunjukkan pertumbuhan tertinggi dengan rata-rata tinggi tanaman mencapai 51,40 cm, sedangkan kontrol tanpa pupuk (K0) hanya mencapai 35,49 cm. Selisih yang signifikan ini menunjukkan peningkatan pertumbuhan sebesar 44,8%, menegaskan bahwa dosis 100 gr merupakan tingkat optimal untuk mendukung pertumbuhan vegetatif bibit kopi robusta.

Keunggulan perlakuan K1 dapat dijelaskan melalui ketersediaan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam pupuk kotoran ayam yang berperan penting dalam pembentukan jaringan tanaman. Selain itu, pupuk ini juga memperbaiki kondisi fisik tanah dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, sehingga menciptakan lingkungan perakaran yang mendukung pertumbuhan akar dan tajuk tanaman (Lubis, 2021). Penelitian terdahulu juga menyatakan bahwa pupuk kotoran ayam mampu meningkatkan tinggi tanaman, diameter batang, volume akar, dan luas daun secara signifikan pada kopi robusta (Lubis, 2021), bahkan kombinasi dengan biochar mampu meningkatkan pertumbuhan hingga 564,74% dibandingkan kontrol (Simon, 2023).

Sejalan dengan itu, perlakuan M2 (7,5 gr mikrokapsul bakteri rhizosfer) juga menunjukkan hasil terbaik dalam meningkatkan tinggi tanaman. Mikrokapsul ini mengandung bakteri pemacu pertumbuhan yang bekerja melalui produksi fitohormon dan peningkatan ketersediaan hara. Warsito *et al.* (2024) melaporkan bahwa aplikasi mikrokapsul bakteri rhizosfer pada tanaman kopi arabika mampu meningkatkan luas daun secara signifikan, dengan viabilitas bakteri yang tetap tinggi melalui teknik enkapsulasi.

Secara keseluruhan, kombinasi perlakuan K1 dan M2 terbukti paling efektif dalam meningkatkan tinggi tanaman bibit kopi robusta. Efektivitas ini didukung oleh sinergi antara ketersediaan hara organik dan aktivitas mikroba yang bekerja secara optimal dalam mendukung pertumbuhan. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan strategi budidaya kopi robusta yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Jumlah Daun

Pengamatan Jumlah daun bibit kopi robusta dilakukan pada bulan kedua sampai bulan ke empat setelah dilakukan pindah tanam (BSPT). Pemberian Pupuk Kotoran ayam Dan Mikrokapsul Bakteri Rhizosfer tidak terlihat berpengaruh terhadap pertumbuhan jumlah daun (helai) kopi robusta tersebut, jarak hasil duncan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Jumlah Daun Bibit Kopi Robusta, dengan perlakuan Pupuk Kotoran Ayam dan Perlakuan Mikrokapsul Bakteri Rhizosfer

Perlakuan	Rata-rata Jumlah Daun (Helai)		
	2BSPT	3BSPT	4BSPT
Penambahan Kotoran Ayam (K)			
K0 = 0 gr	9.50 ^{bB}	15.63 ^{cC}	21.75 ^{cC}
K1 = 100 gr	11.00 ^{aA}	20.00 ^{aA}	30.25 ^{aA}
K2 = 200 gr	10.75 ^{aA}	19.25 ^{aA}	28.00 ^{bB}
K3 = 300 gr	10.25 ^{bA}	18.63 ^{bB}	27.63 ^{bB}
Penambahan Mikrokapsul (M)			
M0 = 0 gr	10.75 ^{aA}	18.13 ^{bA}	26.75 ^{bB}
M1 = 5 gr	10.75 ^{aA}	19.00 ^{aA}	28.75 ^{aA}
M2 = 7.5 gr	9.75 ^{bB}	18.63 ^{aA}	26.38 ^{bB}
M3 = 10 gr	10.25 ^{aA}	17.75 ^{bB}	25.75 ^{cC}

Berdasarkan hasil pengamatan jumlah daun pada bibit kopi robusta yang disajikan dalam Tabel 2, terdapat perbedaan yang signifikan antara perlakuan terbaik dan terendah, baik pada faktor pupuk kotoran ayam maupun mikrokapsul bakteri rhizosfer.

Pada perlakuan pupuk kotoran ayam, perlakuan K1 (100 gr) menghasilkan jumlah daun tertinggi dengan rata-rata 11,00 helai pada 2 minggu setelah pindah tanam (2 BSPT), meningkat menjadi 20,00 helai pada 3 BSPT, dan mencapai 30,25 helai pada 4 BSPT. Sebaliknya, perlakuan K0 (kontrol tanpa pupuk) menunjukkan jumlah daun terendah, yaitu masing-masing 9,50 helai (2 BSPT), 15,63 helai (3 BSPT), dan 21,75 helai (4 BSPT). Hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kotoran ayam secara signifikan mendorong pembentukan daun, diduga karena kandungan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan sulfur yang penting dalam pertumbuhan vegetatif. Selain itu, dosis 100 gr per tanaman dianggap optimal dalam memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, termasuk peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) serta ketersediaan unsur mikro seperti



kalsium, boron, seng, dan mangan. Aplikasi pupuk organik juga diketahui meningkatkan aktivitas mikroba tanah, yang mempercepat dekomposisi bahan organik dan pelepasan unsur hara secara bertahap.

Pada faktor mikrokapsul bakteri rhizosfer, perlakuan M1 (5 gr) memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan jumlah daun, dengan rata-rata 10,75 helai (2 BSPT), 19,00 helai (3 BSPT), dan 28,75 helai (4 BSPT). Sebaliknya, perlakuan M3 (10 gr) menunjukkan hasil terendah dengan jumlah daun berturut-turut 10,25 helai, 17,75 helai, dan 25,75 helai. Pola ini mengindikasikan bahwa peningkatan dosis mikrokapsul tidak selalu meningkatkan hasil, dan justru dapat menyebabkan kompetisi mikroba berlebih di wilayah rhizosfer. Efektivitas M1 diduga berkaitan dengan keseimbangan dosis yang sesuai untuk mendukung kolonisasi bakteri rhizosfer tanpa mengganggu keseimbangan komunitas mikroba. Bakteri rhizosfer diketahui berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi melalui proses mineralisasi dan dekomposisi bahan organik, yang secara langsung mendukung pertumbuhan daun (Warsito *et al.*, 2024).

Luas Daun

Pengamatan luas daun bibit kopi dilakukan pada bulan ke empat atau pada pengamatan terakhir, jarak hasil duncan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Luas Daun (cm²) Bibit Kopi Robusta, dengan perlakuan Pupuk Kotoran Ayam dan Perlakuan Mikrokapsul Bakteri Rhizosfer.

Perlakuan	Luas Daun (cm ²)
Penambahan Kotoran Ayam	
(K)	
K0 = 0 gr	70.00 ^{cC}
K1 = 100 gr	130.77 ^{aA}
K2 = 200 gr	120.05 ^{aA}
K3 = 300 gr	102.26 ^{bB}
Penambahan Mikrokapsul (M)	
M0 = 0 gr	117.58 ^{aA}
M1 = 5 gr	105.1b ^{aA}
M2 = 7.5 gr	108.70 ^{aA}
M3 = 10 gr	91.70 ^{cB}

Pengamatan terhadap luas daun bibit kopi robusta dalam penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara perlakuan terbaik dan terendah pada kedua faktor yang diuji, yaitu pupuk kotoran ayam dan mikrokapsul bakteri rhizosfer.



Pada faktor pupuk kotoran ayam, perlakuan K1 (100 gr) menunjukkan hasil paling optimal dalam meningkatkan luas daun. Keunggulan ini didukung oleh kandungan unsur hara makro dan mikro seperti nitrogen, fosfat, kalium, magnesium, dan mangan yang berperan penting dalam mendukung fase pertumbuhan vegetatif, khususnya dalam ekspansi daun. Kandungan nitrogen, misalnya, berperan langsung dalam pembentukan jaringan daun dan batang. Sebaliknya, perlakuan K0 (kontrol tanpa pupuk kotoran ayam) menghasilkan luas daun terendah, yang mengindikasikan bahwa ketiadaan input organik menyebabkan keterbatasan nutrisi esensial bagi pertumbuhan optimal tanaman. Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menegaskan pentingnya suplai nutrisi yang memadai untuk mendukung proses fotosintesis dan pembentukan biomassa daun pada kopi.

Sementara itu, pada perlakuan mikrokapsul bakteri rhizosfer, hasil terbaik diperoleh dari perlakuan M1 (5 gr), yang memberikan peningkatan signifikan terhadap luas daun bibit kopi robusta. Dosis ini dinilai tepat karena mendukung kolonisasi bakteri rhizosfer secara efektif tanpa menciptakan persaingan antar mikroorganisme yang berlebihan. Rhizobakteri diketahui mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi melalui proses mineralisasi dan dekomposisi bahan organik, sehingga mempercepat pertumbuhan tanaman. Sebaliknya, perlakuan M0 (tanpa mikrokapsul) memperlihatkan hasil terendah, mempertegas pentingnya keberadaan mikroba tanah dalam mendukung perkembangan vegetatif tanaman. Hal ini juga diperkuat oleh hasil penelitian Turito *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa penggunaan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) mampu meningkatkan tinggi tanaman kopi secara signifikan dibandingkan tanaman kontrol.

Billa *et al.* (2019) menunjukkan bahwa kombinasi biochar dan pupuk unggas dalam dosis optimal secara nyata meningkatkan jumlah dan luas daun pada bibit kopi arabika. Selain itu, penelitian di Sulawesi Tenggara oleh Teguh Sastriawan *et al.* (2023) juga menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kandang ayam petelur sebanyak 40 gr, terutama jika dikombinasikan dengan fungi mikoriza arbuskular (FMA), menghasilkan peningkatan signifikan terhadap pertumbuhan bibit kopi robusta, termasuk parameter luas daun.

PANJANG AKAR

Pengamatan Panjang akar bibit kopi dilakukan pada bulan ke empat atau pada pengamatan terakhir, jarak hasil Duncan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata Panjang Akar (cm²) Bibit Kopi Robusta, dengan perlakuan Pupuk Kotoran Ayam dan Perlakuan Mikrokapsul Bakteri Rhizosfer

Perlakuan	Luas Daun (cm ²)
Penambahan Kotoran Ayam (K)	
K0 = 0 gr	25.89 ^{bB}
K1 = 100 gr	30.68 ^{aA}
K2 = 200 gr	29.38 ^{aA}
K3 = 300 gr	24.36 ^{bB}
Penambahan Mikrokapsul (M)	
M0 = 0 gr	27.90 ^{bA}
M1 = 5 gr	24.84 ^{cC}
M2 = 7.5 gr	30.20 ^{aA}
M3 = 10 gr	27.36 ^{bB}

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap panjang akar bibit kopi robusta, ditemukan adanya variasi respons yang signifikan terhadap perlakuan pupuk kotoran ayam dan mikrokapsul bakteri rhizosfer. Kedua faktor ini menunjukkan pengaruh nyata dalam mengatur perkembangan sistem perakaran tanaman.

Pada perlakuan pupuk kotoran ayam, hasil tertinggi diperoleh pada dosis 100 gr (K1) dengan panjang akar mencapai 30,68 cm, sementara dosis tertinggi yaitu 300 gr (K3) justru menghasilkan panjang akar terpendek, yaitu 24,36 cm. Pola ini menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap pupuk organik bersifat non-linear, di mana dosis yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi penyerapan nutrisi atau bahkan menyebabkan ketidakseimbangan unsur hara. Dosis optimal 100 gr mampu menyediakan nutrisi yang cukup sekaligus memperbaiki struktur tanah melalui peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) dan kandungan bahan organik. Hal ini menciptakan lingkungan tanah yang lebih gembur dan aeratif, sehingga mendukung penetrasi serta ekspansi sistem perakaran (Mustakim *et al.*, 2025). Selain itu, aplikasi pupuk kotoran ayam juga terbukti meningkatkan aktivitas enzim tanah, seperti fosfatase (hingga 29,84%) dan urease (hingga 96,00%), yang berkontribusi besar terhadap ketersediaan nutrisi penting bagi pertumbuhan akar.

Sementara itu, pada perlakuan mikrokapsul bakteri rhizosfer, hasil terbaik diperoleh pada dosis 7,5 gr (M2) dengan panjang akar mencapai 30,20 cm. Sebaliknya,

perlakuan M1 (5 gr) menunjukkan panjang akar terendah sebesar 24,84 cm. Efektivitas M2 diduga berkaitan dengan keseimbangan ideal antara populasi bakteri dan kapasitas kolonisasi di wilayah rhizosfer. Mikrokapsul yang digunakan memiliki efisiensi enkapsulasi tinggi (94,11%) dan stabilitas penyimpanan hingga enam bulan (Saaed *et al.*, 2021), yang memastikan viabilitas bakteri tetap terjaga hingga aplikasi di lapangan. Bakteri rhizosfer yang terenkapsulasi mampu menghasilkan fitohormon seperti asam indol asetat (IAA) dalam konsentrasi tinggi (104,6 µg/mL), yang berfungsi merangsang pemanjangan sel dan diferensiasi jaringan akar, sehingga meningkatkan panjang total sistem perakaran. Selain itu, keberadaan bakteri pelarut fosfat dalam konsorsium rhizosfer turut mempercepat ketersediaan fosfor di tanah, yang pada gilirannya memperkuat populasi bakteri penghasil IAA (Ervinda *et al.*, 2020).

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa efektivitas pupuk kotoran ayam dan mikrokapsul bakteri rhizosfer terhadap pertumbuhan akar bibit kopi robusta mengikuti pola respons non-linear. Dosis optimal pada masing-masing perlakuan 100 gr pupuk kotoran ayam dan 7,5 gr mikrokapsul bakteri, memberikan hasil terbaik melalui mekanisme sinergis, yakni peningkatan ketersediaan hara, perbaikan struktur tanah, dan aktivasi mikroorganisme rhizosfer yang mendukung pertumbuhan akar secara maksimal.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kotoran ayam dan mikrokapsul bakteri rhizosfer memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan vegetatif bibit kopi robusta. Dosis optimal pupuk kotoran ayam sebesar 100 gr per tanaman terbukti meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, dan panjang akar secara konsisten dibandingkan kontrol. Respons panjang akar menunjukkan pola non-linear terhadap peningkatan dosis, menegaskan pentingnya pemilihan dosis yang tepat. Mikrokapsul bakteri rhizosfer juga berkontribusi positif, terutama pada parameter panjang akar, melalui mekanisme biologis yang mendukung ketersediaan hara dan aktivitas mikroba tanah. Hasil ini menegaskan bahwa kombinasi input organik dan hayati yang terukur dapat meningkatkan kualitas pertumbuhan bibit kopi robusta secara berkelanjutan.



DAFTAR PUSTAKA

- Afzal I, Shinwari ZK, Sikandar S, Shahzad S. 2019. Bakteri Endofit yang Menguntungkan Tumbuhan: Mekanisme, Keanekaragaman, Kisaran Inang dan Penentu Genetik. *Penelitian Mikrobiologi* 221: 36-49.
- Ali H, Kermelita D. 2018. Efektifitas Mikroorganisme Lokal (MOL) Rebung Bambu Sebagai Aktivator Pembuatan Kompos Tahun 2014. *Journal of Nursing and Public Health* 6(1): 8-14.
- Duma, A. (2023). Penggunaan Kotoran Unggas untuk Meningkatkan Ketersediaan Unsur Hara. Seminar Nasional Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret.
- Hasbullah, Umar Hafidz Asyari, *et al.* 2021. Kopi Indonesia. Yayasan Kita Menulis
- Iqrawati, mustakim, &jeki (2025). Pengaruh Berbagai Dosis Pupuk Kandang Ayam Terhadap Pertumbuhan Bibit Tanaman Salak (*Salacca zalacca*) Agroland: Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian, vol 32 no 1 (2025)
- Itelima, J.U., Bang, W.J., Sila, M.D, Onyimba, I.A., Egbere, O.J. 2018. A review: biofertilizer; a key player in enhancing soil fertility and crop productivity. *J Microbiol Biotechnol Rep.* 2(1): 22-28.
- Karimi N, Ghanbarzadeh B, Hamishehkar H, Mehramuz B. Antioxidant, Antimicrobial and Physicochemical Properties of Turmeric Extract-Loaded Nanostructured Lipid Carrier (NLC). 2018;22(November 2017):18-24.
- Kumalawati, Z., Ridwan, A. dan Kafrawi, K. 2018. Jamur mikoriza arbuskula di rizosfer kakao (*Theobroma cacao* L.) pada berbagai jenis kemiringan lahan. *Agro Plantae* 7(2):1-7 (dalam bahasa Indonesia).
- Lengkong S.C., Siahaan, P., Tangapo, A. M. (2022). Analisis Karakteristik dan Uji Bioaktivitas Bakteri Rizosfer PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) Isolat Kalasey J Bios Logos. Vol. 12. (2)
- Lubis, A. R. (2021). GROWTH RESPONSE OF ROBUSTA COFFEE (*Coffea robusta* L.) GROWTH ON CHICKEN CAGE FERTILIZER AND FERTILIZER LIQUID ORGANIC. *Agripreneur: Jurnal Pertanian Agribisnis*, 10(1), 19-27.
- Ngantung, Jeanete A.B, Jenny J. Rondonuwu, & Rafli I. Kawulasari. 2018. Respon Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea* L.) terhadap Pemberian Pupuk Organik dan Anorganik di Kelurahan Rurukan Kecamatan Tomohon Timur. *Eugenia*. Vol. 24. No. 1.
- Nildayanti, N. 2018. Eksplorasi rizosfer kakao jamur berpotensi sebagai agen hayati. *Agroplantae: Jurnal Ilmiah Terapan Budidaya dan Pengelolaan Tanaman Pertanian dan Perkebunan* 7(1): 23-27 (dalam bahasa Indonesia). Rahmi, R.
- Rasmito, A., Hutomo, A., Hartono, A.P., 2019. Pembuatan pupuk organik cair dengan cara fermentasi limbah cair tahu, starter filtrat kulit pisang dan kubis, dan bioaktivator EM4. *Jurnal IPTEK* 23 (1), 55– 62.
- Saeed, Q., Xiukang, W., Haider, F. U., Kučerik, J., Mumtaz, M. Z., Holatko, J., Naseem, M., Kintl, A., Ejaz, M., Naveed, M., Brtnicky, M., & Mustafa, A. (2021). Rhizosphere Bacteria in Plant Growth Promotion, Biocontrol, and Bioremediation of Contaminated Sites: A Comprehensive Review of Effects and Mechanisms. *International journal of molecular sciences*, 22(19), 10529.
- Sari, R. R., Marliah, A., & Hereri, A. I. (2019). Pengaruh Komposisi Media Tanam Dan Dosis Npk Terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi Robusta (*Coffea canephora* L.). *Jurnal Agrium*, 16(1), 28.
- Simon, H. (2023). Response of Growth and Yield of Sweet Corn (*Zea mays saccharata* Sturt) to Giving Tofu Liquid Waste and Chicken Manure Fertilizer. *Contributions of Central Research Institute for Agriculture*, 17(2), 44–51.
- Syahputra, Hendri., Arnia, Fitri., dan Munadi, Khairul. 2019. Karakterisasi Kematangan Buah Kopi Berdasarkan Warna Kulit Kopi Menggunakan Histogr dan Momen Warna. *Jurnal Nasional Teknik Elektro* 8(1): 42-50
- Teguh Satriawan, Rachmawati Hasid, Sarawa Mamma, Andi Nurmas, Abdul Madiki, & Norma Arif. (2023). Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskular dan Pupuk Kandang Ayam Petelur terhadap Laju Pertumbuhan Bibit Kopi Robusta (*Coffea canephora* L.). *Berkala Penelitian Agronomi*, 11(2), 100 –.
- Turito, A. A., Belew, A. A., Nemomsa, S. E., Alemneh, M. A. (2025). Growth Response of (Coffee Arabica) to Plant Growth Promoting Rhizobia (PGPR) Inoculant Collected from Rhizosphere. *Chemical and Biomolecular Engineering*, 10(1), 1-7.
- Warsito, K., Hafiz, M., Irawan, I., & Friski, F. (2024) Effectiveness of Rhizosphere Bacteria Microcapsules On The Growth Of Arabica Coffee Leaves (*Coffea Arabica* L.), Vol 1 (2024)
- Warsito, K., Hafiz, M., Irawan, I., & Friski, F. (2024). APLIKASI BIOFERTILIZER PADA TANAMAN KOPI ARABIKA (*Coffea arabica* L.). Penerbit: CV. RASKHA MEDIA GROUP., Cetakan, November 2024, 978-623-10-5023-6.

- Warsito, K., Hafiz, M., Irawan, I., & Friski, F. (2024). Potential of Rhizosphere Bacteria Microcapsules Isolated from Sinabung Volcano in Stimulating Arabica Coffee Growth (*Coffea arabica* L.) Vol11(11), 481-488
- Wathoni N, Yuan Shan C, Yi Shan W, Rostinawati T, Indradi RB, Pratiwi R, *et al.* Characterization and antioxidant activity of pectin from Indonesian mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) rind. *Heliyon* [Internet]. 2019;5(8).
- Yuliatin, Erwinda. (2020) Eksplorasi Bakteri Rhizosfer Tanaman Kopi (*Coffea* Spp.) Di Agroforestri Ub Forest Kabupaten Malang Sebagai Agen Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Pgpr). Magister thesis, Universitas Brawijaya.

