

Kajian Morfologi dan Fisiologi Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap Aplikasi PGPR dan Mikoriza pada Media Tanah Ultisol di Main Nursery

*Morphological and Physiological Study of Oil Palm Seedlings (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Response to PGPR and Mycorrhiza Application in Ultisol Soil at the Main Nursery*

M. Ridwan^{1*}, Eliyanti¹, Elis Kartika¹, Lizawati¹, Ahmad Riduan¹, Yulfita Farni¹

¹(Program Study Magister Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas, Jambi, Indonesia.

*corresponding author, email: mhhdrdwan18@gmail.com

ABSTRAK

Kualitas bibit kelapa sawit pada fase main nursery sangat menentukan produktivitas tanaman di lapangan. Penggunaan tanah ultisol sebagai media pembibitan sering menghadapi kendala berupa tingkat kesuburan rendah, pH masam, dan ketersediaan unsur hara yang terbatas. Pemanfaatan mikoriza dan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) dinilai mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara dan pertumbuhan bibit tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis interaksi antara pemberian mikoriza dan PGPR terhadap pertumbuhan morfologi dan fisiologi bibit kelapa sawit pada media ultisol serta menentukan kombinasi perlakuan terbaik. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Jambi dari Juni hingga Agustus 2025. Eksperimen ini dirancang menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial dengan dua faktor perlakuan. Faktor pertama adalah dosis mikoriza (0, 5, 10, dan 15 g per polybag). Faktor kedua adalah konsentrasi PGPR (0, 10, 20, dan 30 mL L⁻¹). Parameter yang diamati meliputi pertambahan tinggi tanaman, jumlah daun, diameter bonggol, panjang rachis, luas daun, bobot kering tajuk, bobot kering akar, rasio tajuk akar, persentase infeksi mikoriza, serta serapan hara N, P, dan K. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi mikoriza dan PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit secara nyata. Perlakuan terbaik meningkatkan tinggi tanaman, luas daun, akumulasi biomassa, serapan unsur hara, dan perkembangan akar dibandingkan perlakuan kontrol. Aplikasi pupuk hayati juga meningkatkan tingkat infeksi mikoriza pada akar tanaman dan efisiensi penyerapan unsur hara pada media ultisol. Dosis mikoriza 15 g dan PGPR 30 mL L⁻¹ memberikan hasil terbaik. Dengan demikian, kombinasi mikoriza dan PGPR berpotensi mendukung sistem pembibitan kelapa sawit yang berkelanjutan.

Kata kunci: pupuk hayati; mikoriza; rhizobacteria; lahan marginal; pembibitan kelapa sawit

ABSTRACT

The quality of oil palm seedlings in the main nursery phase is a critical determinant of crop productivity in the field. The use of Ultisol as a nursery medium often faces challenges such as low fertility, acidic pH, and limited nutrient availability. The use of mycorrhizae and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) is believed to improve nutrient availability and seedling growth. This study aims to analyze the interaction between the application of mycorrhizae and PGPR on the morphological and physiological growth of oil palm seedlings in ultisol medium and to determine the optimal treatment combination. The study was conducted at the Experimental Farm of the Faculty of Agriculture, University of Jambi, from June to August 2025. The experiment was designed using a factorial randomized block design (RBD) with two treatment factors. The first factor was mycorrhiza dose (0, 5, 10, and 15 g per polybag). The second factor was PGPR concentration (0, 10, 20, and 30 mL L⁻¹). The observed parameters included plant height increase, number of leaves, stem diameter, rachis length, leaf area, shoot dry weight, root dry weight, shoot-to-root ratio, mycorrhizal infection percentage, and N, P, and K nutrient uptake. The results showed that the combination of mycorrhizae and PGPR significantly enhanced the growth of oil palm seedlings. The best treatment increased plant height, leaf area, biomass accumulation, nutrient uptake, and root development compared to the control treatment. The application of biofertilizer also increased the level of mycorrhizal infection in plant roots and nutrient uptake efficiency in the ultisol medium. A mycorrhiza dose of 15 g and a PGPR concentration of 30 mL L⁻¹ yielded the best results. Thus, the combination of mycorrhiza and PGPR has the potential to support a sustainable oil palm nursery system.

Keywords: biofertilizers; mycorrhizae; rhizobacteria; marginal lands; oil palm nursery

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang memiliki kontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia. Industri kelapa sawit berperan penting dalam penyediaan bahan baku minyak nabati, peningkatan devisa negara, penyerapan tenaga kerja, serta pengembangan industri hilir berbasis minyak sawit. Tingginya permintaan minyak sawit dunia menuntut peningkatan produktivitas tanaman secara berkelanjutan. Selain itu, minyak sawit juga menjadi bahan baku bagi lebih dari 179 produk hilir yang dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri, baik pangan maupun nonpangan (Nur *et al.*, 2024).

Upaya peningkatan produktivitas tersebut tidak hanya bergantung pada luas areal tanam, tetapi juga sangat ditentukan oleh kualitas tanaman yang dibudidayakan. Salah satu faktor penting yang menentukan produktivitas tanaman kelapa sawit adalah kualitas bibit pada tahap pembibitan. Bibit yang memiliki pertumbuhan vegetatif optimal dan sistem perakaran yang baik akan lebih mampu beradaptasi setelah dipindahkan ke lapangan. Kualitas bibit pada tahap pembibitan, khususnya pada fase *main nursery*, sangat menentukan performa tanaman kelapa sawit setelah ditanam di lapangan (Setyawati dan Witjaksono, 2021). Pada *fase main nursery*, bibit kelapa sawit membutuhkan media tumbuh yang mampu menyediakan unsur hara secara optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Fase *main nursery* merupakan tahap penting dalam pembentukan kualitas bibit sebelum tanaman dipindahkan ke lapangan. Pada fase ini tanaman mengalami pertumbuhan vegetatif yang cukup pesat sehingga membutuhkan kondisi media tanam yang mampu menyediakan unsur hara secara optimal serta mendukung perkembangan sistem perakaran tanaman. Oleh karena itu, pengelolaan media tanam dan ketersediaan unsur hara pada tahap pembibitan menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas bibit kelapa sawit.

Penggunaan tanah ultisol sebagai media pembibitan sering menghadapi berbagai kendala karena memiliki tingkat kesuburan yang rendah, pH masam, kandungan bahan organik rendah, serta ketersediaan unsur hara makro yang terbatas. Kondisi tersebut menyebabkan efisiensi penyerapan unsur hara menjadi rendah sehingga pertumbuhan bibit kelapa sawit kurang optimal. Selain itu, kondisi tanah yang masam juga dapat mempengaruhi sifat fisik dan biologi tanah sehingga kurang mendukung perkembangan sistem perakaran tanaman (Prasetyo & Suriadikarta, 2020; Ritung *et al.*, 2021).

Pemanfaatan mikroorganisme tanah seperti Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) dan fungi mikoriza arbuskular menjadi salah satu alternatif dalam meningkatkan kesuburan biologis tanah dan efisiensi penyerapan unsur hara. PGPR diketahui mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, serta produksi hormon pertumbuhan seperti auksin dan giberelin. Sementara itu, mikoriza berperan dalam meningkatkan penyerapan unsur hara dan air melalui jaringan hifa yang memperluas daerah eksplorasi akar tanaman.

Interaksi antara PGPR dan mikoriza dalam media pembibitan sangat penting karena kombinasi keduanya dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara serta memperbaiki pertumbuhan tanaman pada kondisi tanah yang kurang subur. Beberapa penelitian pada berbagai tanaman menunjukkan bahwa aplikasi PGPR dan mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif, biomassa tanaman, dan ketahanan terhadap cekaman lingkungan dibandingkan aplikasi tunggal. Pada tanaman kelapa sawit, PGPR diketahui mampu meningkatkan ketersediaan nitrogen dan fosfor melalui aktivitas fiksasi nitrogen serta pelarutan fosfat, sedangkan mikoriza berperan dalam meningkatkan penyerapan air dan unsur hara melalui jaringan hifa yang berkembang pada sistem perakaran tanaman (Backer *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2021). Tanaman yang diinokulasi mikoriza dilaporkan memiliki toleransi yang lebih baik terhadap kondisi cekaman kekeringan dan tanah marginal seperti ultisol (Begum *et al.*, 2021; Lehmann & Rillig, 2021).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa aplikasi PGPR maupun mikoriza secara terpisah mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman. Namun demikian, penelitian mengenai kombinasi PGPR dan mikoriza pada bibit kelapa sawit di media ultisol masih relatif terbatas, khususnya pada aspek morfologi dan fisiologi tanaman secara terpadu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemberian PGPR dan mikoriza terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit pada media tanah ultisol di *main nursery*.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Jambi jalan Sipin kota Jambi, Kecamatan Danau Sipin, Kota Jambi yang berada pada ketinggian tempat ≥ 35 m dpl dan jenis tanah ultisol. Penelitian dimulai dari bulan Juni 2025 sampai Agustus 2025.

Bahan dan Alat

Bibit kelapa sawit yang digunakan berasal dari Asian Agri varietas Topaz 1 umur 3 bulan akan dipindahkan ke polybag ukuran 25 x 50 cm. Media tanah yang digunakan adalah ultisol yang sudah disterilisasi lalu di aplikasikan mikoriza dan PGPR. Alat yang digunakan berupa alat ukur, parang, cangkul, kayu, jaring, tali rafia, jangka sorong, amplop, label, pengayak tanah, meteran, ember, gembor, oven, timbangan analitik, hand sprayer, penggaris, kamera, pisau karter dan alat tulis.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan pola faktorial dua faktor. Faktor pertama adalah pemberian dosis Mikoriza yang terdiri dari 4 taraf, yaitu 0 (m1), 5 g (m2), 10 g (m3), 15 g (m4). Faktor kedua adalah pemberian dosis PGPR yang terdiri dari 4 taraf, yaitu 0 (p0) menggunakan air saja, 10 mL L⁻¹ (p1), 20 mL L⁻¹ (p2), dan 30 mL L⁻¹(p3). Sehingga diperoleh 16 kombinasi perlakuan, setiap perlakuan percobaan dilakukan 3 kali ulangan sehingga jumlah petak percobaan 48. Setiap petak terdapat 4 tanaman sehingga jumlah tanaman sebanyak 192 tanaman.

Pelaksanaan penelitian

Data Penelitian ini dilaksanakan di pembibitan utama (main nursery) menggunakan media tanah Ultisol yang telah disterilisasi. Media tanam kemudian dimasukkan ke dalam polybag berukuran 25 x 50 cm sebanyak 5 kg per polybag. Bibit kelapa sawit yang digunakan berumur 3 bulan dengan kondisi sehat, seragam, dan bebas dari serangan hama maupun penyakit. Aplikasi mikoriza dilakukan satu kali pada saat pindah tanam dengan cara ditempatkan langsung pada area perakaran. Sementara itu, PGPR diberikan dua minggu setelah tanam dan diaplikasikan secara berkala setiap dua minggu dengan cara disiramkan di sekitar perakaran sesuai perlakuan. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman, penyiangan gulma, serta pengendalian hama dan penyakit.

Parameter pengamatan mencakup morfologi dan fisiologi tanaman. Parameter morfologi meliputi pertambahan tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, panjang rachis, luas daun, bobot kering tajuk, bobot kering akar, serta rasio tajuk akar. Luas daun dihitung menggunakan rumus:

$$A=P \times L \times K$$

Perhitungan tersebut mengacu pada metode yang digunakan oleh Sarman et al. (2021).

Parameter fisiologi meliputi tingkat infeksi mikoriza pada akar serta serapan unsur hara N, P, dan K. Persentase infeksi mikoriza diamati secara mikroskopis melalui metode pewarnaan akar menggunakan larutan *Lactophenol trypan blue*.

Hasil Analisis Tanah Sebelum Penelitian

No	Parameter Tanah	Hasil Analisis	Kriteria
1	pH H ₂ O	5,52	Agak Masam
2	Total-N (10%)	0,10	Rendah
3	Total –Organik Carbon (10%)	1,07	Rendah
4	P ₂ O ₅ in 25% HCl (mg/100 g)	72,56	Sangat Tinggi
5	K ₂ O In 25% HCl (mg/100g)	104,39	Sangat Tinggi

Keterangan: Hasil Analisis Laboratorium Analisa PT. Binasawit Makmur, 2025

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertambahan Tinggi Tanaman

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara pemberian mikoriza dan PGPR terhadap pertambahan tinggi tanaman bibit kelapa sawit umur 12 MST di pembibitan utama. Namun demikian, masing-masing faktor tunggal, yaitu mikoriza dan PGPR, memberikan pengaruh nyata terhadap parameter pertambahan tinggi tanaman. Rata-rata pertambahan tinggi bibit kelapa sawit pada perlakuan mikoriza dan PGPR disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata pertambahan tinggi (cm) bibit kelapa sawit umur 12 MST pada aplikasi PGPR dan mikoriza di *Main Nursery*.

Mikoriza (g)	PGPR (mL L ⁻¹)				Rataan
	0	10	20	30	
0 g	42,93	42,34	45,31	47,79	44,59 c
5 g	44,09	44,86	43,82	47,77	45,13 bc
10 g	47,58	46,25	45,18	47,46	46,62 ab
15 g	48,55	46,32	47,89	50,74	48,37 a
Rataan	45,79 b	44,94 b	45,55 b	48,44 a	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf $\alpha = 0,05$.

Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemberian mikoriza berbeda nyata terhadap pertambahan tinggi bibit kelapa sawit. Perlakuan dosis mikoriza 15 g menghasilkan pertambahan tinggi tanaman yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan dosis 0 g, 5 g, dan 10 g, sedangkan ketiga dosis tersebut tidak berbeda nyata satu sama lain. Pada faktor PGPR, konsentrasi 30 mL L⁻¹ memberikan pertambahan tinggi tanaman yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi 0, 10, dan 20 mL L⁻¹, di mana ketiga konsentrasi tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antar sesamanya.

Pemberian kombinasi PGPR dan mikoriza menunjukkan pengaruh positif terhadap tinggi bibit kelapa sawit pada fase main nursery. Peningkatan tinggi tanaman diduga terjadi karena PGPR mampu meningkatkan ketersediaan unsur nitrogen dan fosfor melalui aktivitas fiksasi nitrogen serta pelarutan fosfat di dalam tanah. Unsur nitrogen berperan penting dalam pembentukan jaringan vegetatif tanaman sehingga pertumbuhan batang dan daun menjadi lebih optimal. Selain itu, hormon pertumbuhan seperti auksin dan giberelin yang dihasilkan oleh PGPR turut merangsang pemanjangan sel tanaman sehingga pertumbuhan tinggi tanaman meningkat (Backer *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2021).

Mikoriza juga berperan dalam meningkatkan efisiensi penyerapan air dan unsur hara melalui perkembangan hifa eksternal yang memperluas daerah eksplorasi akar tanaman. Pada media ultisol yang memiliki tingkat kesuburan rendah dan ketersediaan fosfor terbatas, keberadaan mikoriza membantu tanaman memperoleh unsur hara secara lebih efisien sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Menurut Begum *et al.* (2021), tanaman yang terinfeksi mikoriza umumnya memiliki pertumbuhan lebih baik karena kemampuan akar dalam menyerap air dan unsur hara meningkat.

Pertambahan Jumlah Daun

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara pemberian mikoriza dan PGPR terhadap jumlah daun bibit kelapa sawit umur 12 MST di pembibitan utama. Namun demikian, faktor tunggal mikoriza memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah daun, Rata-rata jumlah daun bibit kelapa sawit pada perlakuan mikoriza dan PGPR disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata jumlah daun bibit (helai) kelapa sawit pada aplikasi PGPR dan mikoriza di *Main Nursery*.

Mikoriza (g)	PGPR (mL L ⁻¹)				Rataan
	0	10	20	30	
0 g	9,01	9,27	8,80	9,65	9,18 ab
5 g	9,04	8,79	8,70	9,22	8,94 b
10 g	9,49	9,52	8,86	9,42	9,32 a
15 g	9,36	9,46	9,49	9,24	9,39 a
Rataan	9,23	9,26	8,96	9,38	9,21

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf = 0,05.

Tabel 2 menunjukkan bahwa pemberian mikoriza berbeda nyata terhadap jumlah daun bibit kelapa sawit. Perlakuan dosis mikoriza 5 g menghasilkan jumlah daun yang nyata lebih rendah dibandingkan dosis 10 g, dan 15 g, tetapi tidak berbeda nyata dengan 0 g. Sementara itu, dosis mikoriza 0 g, 10 g, dan 15 g tidak menunjukkan perbedaan yang nyata satu sama lain.

Pertambahan Diameter Bonggol

Hasil analisis sidik ragam bahwa pada faktor tunggal mikoriza memberikan pengaruh nyata terhadap parameter tersebut. Rata-rata pertambahan diameter bonggol bibit kelapa sawit pada perlakuan mikoriza dan PGPR disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata diameter bonggol (cm) bibit kelapa sawit pada aplikasi PGPR dan mikoriza di *Main Nursery*.

Mikoriza (g)	PGPR (mL L ⁻¹)				Rataan
	0	10	20	30	
0 g	15,37	17,52	15,53	19,49	16,98 b
5 g	16,71	16,35	16,11	18,37	16,88 b
10 g	18,94	18,89	16,99	19,88	18,67 a
15 g	18,53	19,14	19,36	17,71	18,69 a
Rataan	17,39	17,98	17,00	18,86	17,81

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf = 0,05.

Tabel 3 menunjukkan bahwa pemberian PGPR tidak berbeda nyata terhadap pertambahan diameter bonggol bibit kelapa sawit. Sebaliknya, faktor mikoriza berbeda nyata terhadap pertambahan diameter bonggol, di mana mikoriza 10 dan 15 g memberikan pertambahan diameter bonggol tertinggi dibandingkan dosis mikoriza 0 dan 5 g. Peningkatan diameter bonggol pada perlakuan mikoriza juga berkaitan erat dengan meningkatnya aktivitas metabolisme tanaman. Leiwakabessy (1998) menjelaskan bahwa unsur P dan K berperan penting dalam pembentukan jaringan tanaman, termasuk jaringan pengangkut yang menghubungkan akar dan daun.

Unsur kalium dan fosfor diketahui berperan dalam pembentukan jaringan tanaman dan memperkuat struktur batang tanaman (Seleiman *et al.*, 2021). Mikoriza dan PGPR secara sinergis meningkatkan ketersediaan unsur hara tersebut sehingga pertumbuhan diameter bonggol menjadi lebih baik dibandingkan perlakuan kontrol.

Luas Daun

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara pemberian mikoriza dan PGPR terhadap luas daun bibit kelapa sawit umur 12 MST di pembibitan utama. Selain itu, masing-masing faktor tunggal, baik mikoriza maupun PGPR, juga tidak menunjukkan pengaruh yang nyata. Rata-rata luas daun bibit kelapa sawit pada perlakuan mikoriza dan PGPR disajikan pada Tabel 6.

Tabel 4. Rata-rata pertambahan luas daun bibit kelapa sawit pada aplikasi PGPR dan mikoriza di *Main Nursery*.

Mikoriza (g)	PGPR (mL L ⁻¹)				Rataan
	0	10	20	30	
0 g	712,13	756,93	886,13	812,90	792,03
5 g	766,20	762,37	890,90	1011,67	857,78
10 g	906,70	811,17	896,10	667,65	820,40
15 g	1036,70	818,73	856,93	1064,47	944,21
Rataan	855,43	787,30	882,52	889,17	853,61

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa pemberian mikoriza dan PGPR tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap pertambahan luas daun bibit kelapa sawit. Hal ini terlihat dari seluruh taraf perlakuan pada kedua faktor yang menunjukkan respons yang relatif sama. Akan tetapi pemberian kombinasi PGPR dan mikoriza memiliki hasil lebih tinggi dibandingkan perlakuan kontrol.

Bobot Kering Tajuk

Hasil analisis sidik ragam menunjukan mikoriza secara tunggal memberikan pengaruh nyata terhadap parameter tersebut. Rata-rata bobot kering tajuk bibit kelapa sawit pada perlakuan mikoriza dan PGPR disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata bobot kering tajuk bibit kelapa sawit pada aplikasi PGPR dan mikoriza di *Main Nursery*.

Mikoriza (g)	PGPR (mL L ⁻¹)				Rataan
	0	10	20	30	
0 g	9,013	9,267	8,797	9,653	9,183 ab
5 g	9,043	8,793	8,700	9,220	8,939 b
10 g	9,487	9,517	8,860	9,417	9,320 a
15 g	9,363	9,460	9,487	9,237	9,387a
Rataan	9,227	9,259	8,961	9,382	9,207

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf = 0,05.

Tabel 5 menunjukkan bahwa pemberian mikoriza berbeda nyata terhadap bobot kering tajuk bibit kelapa sawit. Perlakuan dosis mikoriza 10 g dan 15 g menghasilkan bobot kering tajuk tertinggi dan tidak berbeda nyata satu sama lain, namun keduanya berbeda nyata dibandingkan dengan dosis 5 g tetapi tidak berbeda nyata dengan dosis mikoriza 0 g. Penggunaan mikroorganisme tanah dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara dan mendukung pertumbuhan biomassa tanaman secara berkelanjutan (Lehmann *et al.* 2020).

Bobot Kering Akar

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara pemberian pupuk hayati mikoriza dan PGPR terhadap bobot kering akar bibit kelapa sawit di pembibitan utama. Namun demikian, masing-masing faktor tunggal, yaitu mikoriza dan PGPR, memberikan pengaruh nyata. Rata-rata bobot kering akar bibit kelapa sawit pada perlakuan mikoriza dan PGPR disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-rata bobot kering akar bibit kelapa sawit umur 12 MST pada aplikasi PGPR dan mikoriza di *Main Nursery*.

Mikoriza (g)	PGPR (mL L ⁻¹)				Rataan
	0	10	20	30	
0 g	11,87	12,07	14,27	16,33	13,63 b
5 g	13,87	13,03	12,33	15,80	13,76 b
10 g	15,87	15,27	15,53	15,90	15,64 a
15 g	14,63	14,13	16,37	19,00	16,03 a
Rataan	14,06 b	13,63 b	14,63 b	16,76 a	14,77

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf = 0,05.

Tabel 6 menunjukkan bahwa perlakuan dosis mikoriza 10 g dan 15 g menghasilkan bobot kering akar yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan dosis 0 g dan 5 g. Namun demikian, dosis 10 g dan 15 g tidak berbeda nyata satu sama lain, demikian pula dosis 0 g dan 5 g juga tidak berbeda nyata satu sama lain. Pada faktor PGPR, konsentrasi 30 mL L⁻¹ menghasilkan bobot kering akar yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi 0, 10, dan 20 mL L⁻¹, sedangkan ketiga konsentrasi tersebut tidak berbeda nyata satu sama lain.

Peningkatan bobot kering akar menunjukkan bahwa perkembangan sistem perakaran tanaman berlangsung lebih baik pada perlakuan kombinasi PGPR dan mikoriza. PGPR menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin yang mampu merangsang pembentukan dan perkembangan akar tanaman sehingga volume akar meningkat (Santoyo *et al.*, 2021). Selain itu, mikoriza membantu memperluas bidang serapan akar melalui perkembangan hifa eksternal sehingga tanaman mampu menyerap air dan unsur hara lebih efisien. Begum *et al.* (2021) menyatakan bahwa tanaman yang terinfeksi mikoriza umumnya memiliki sistem perakaran yang lebih berkembang dan lebih toleran terhadap kondisi cekaman lingkungan terutama pada tanah marginal seperti ultisol.

Rasio Tajuk Akar

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa masing-masing faktor tunggal, yaitu mikoriza dan PGPR, memberikan pengaruh sangat nyata terhadap parameter rasio tajuk akar. Rata-rata rasio tajuk akar bibit kelapa sawit pada perlakuan mikoriza dan PGPR disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rata-rata rasio tajuk akar bibit kelapa sawit pada aplikasi PGPR dan mikoriza di *Main Nursery*.

Mikoriza (g)	PGPR (mL L ⁻¹)				Rataan
	0	10	20	30	
0 g	47,87	51,07	57,27	58,73	53,73 b
5 g	54,83	51,53	51,37	59,13	54,22 b
10 g	59,13	56,10	61,93	68,03	61,30 a
15 g	57,63	64,27	62,37	75,97	65,06 a
Rataan	54,87 b	55,74 b	58,23 b	65,47 a	58,58

Tabel 10 menunjukkan bahwa perlakuan dosis mikoriza 10 g dan 15 g menghasilkan rasio tajuk akar yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan dosis 0 g dan 5 g. Hasil penelitian ini sejalan dengan Made Same (2015) yang melaporkan bahwa aplikasi mikoriza mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan biomassa bibit kelapa sawit.

Pada faktor PGPR, konsentrasi 30 mL L⁻¹ menghasilkan rasio tajuk akar yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi 0, 10, dan 20 mL L⁻¹, sedangkan ketiga konsentrasi tersebut tidak berbeda nyata satu sama lain. Bhattacharyya dan Jha (2012) menyatakan bahwa PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui produksi fitohormon dan peningkatan ketersediaan unsur hara di daerah perakaran. Selain itu, Jannah *et al.* (2022) menjelaskan bahwa PGPR dapat menghasilkan Asam Indol Asetat (IAA) yang berperan penting dalam merangsang pembelahan dan pemanjangan sel serta perkembangan sistem perakaran tanaman.

Infeksi Akar

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa terdapat interaksi yang berpengaruh sangat nyata antara pemberian mikoriza dan PGPR terhadap infeksi akar oleh mikoriza pada bibit kelapa sawit umur 12 MST di pembibitan utama. Pengamatan infeksi mikoriza dilakukan di Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Jambi. Rata-rata infeksi mikoriza pada perlakuan mikoriza dan PGPR disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rata-rata infeksi (satuan) mikoriza bibit kelapa sawit pada aplikasi PGPR dan mikoriza di *Main Nursery*.

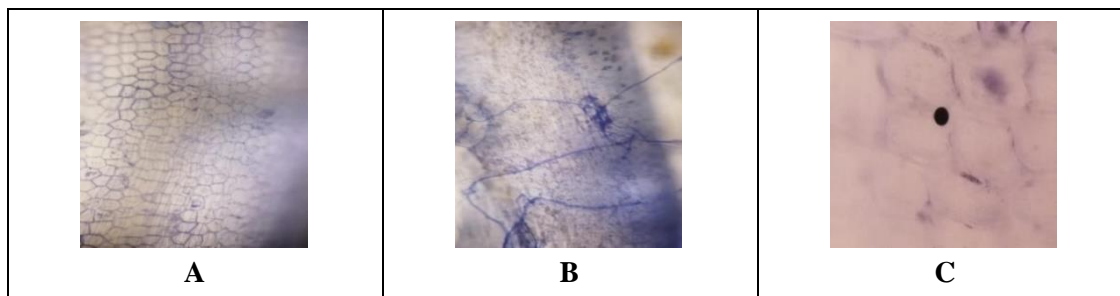
Mikoriza (g)	PGPR (mL L ⁻¹)				Rataan
	0	10	20	30	
0 g	47,87 b B	51,07 ab B	57,27 a B	58,73 a B	53,73
5 g	54,83 a A	51,53 a B	51,37 a B	59,13 a B	54,22
10 g	59,13 b A	56,10 a B	61,93 b B	68,03 b B	61,30
15 g	57,63 b A	64,27 b A	62,37 a A	75,97 a A	65,06
Rataan	54,87	55,74	58,23	65,47	58,58

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama pada kolom yang sama Dan huruf kecil yang sama pada baris yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf = 0,05.

Tabel 8 menunjukkan bahwa terdapat interaksi nyata antara pemberian mikoriza dan PGPR terhadap infeksi mikoriza pada bibit kelapa sawit. Peningkatan konsentrasi PGPR cenderung meningkatkan persentase infeksi mikoriza, terutama pada perlakuan 20 dan 30 mL L⁻¹. Pada dosis mikoriza 10 g, PGPR 10 mL L⁻¹ menghasilkan tingkat infeksi lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, sedangkan pada dosis mikoriza 15 g, PGPR 10 dan 30 mL L⁻¹ menghasilkan infeksi tertinggi.

Semakin tinggi tingkat kolonisasi akar, maka semakin besar kemampuan hifa mikoriza dalam membantu penyerapan unsur hara, terutama fosfor, sehingga mendukung pertumbuhan bibit kelapa sawit secara lebih optimal. Pengambilan nutrisi oleh mikoriza melibatkan hifa yang berada di dalam tanah yang akhirnya dipindahkan ke dalam sel akar.

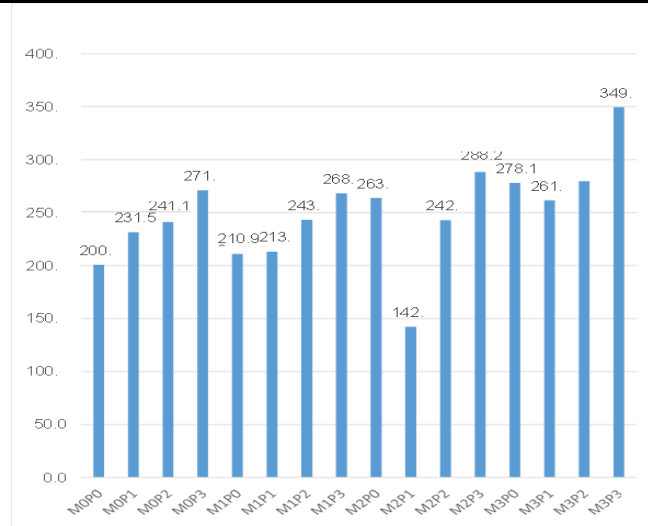
Aliran fosfor di dalam hifa mengikuti aliran sitoplasma sedangkan pemindahan nutrisi dari fungi ke tanaman inang diduga melalui arbuskular. Hifa eksternal pada mikoriza dapat menyerap unsur fosfat dari dalam tanah, dan segera diubah menjadi senyawa polifosfat. Senyawa polifosfat kemudian dipindahkan ke dalam hifa dan dipecah menjadi fosfat organik yang dapat diserap oleh sel tanaman. Efisiensi pemupukan P sangat jelas meningkat dengan penggunaan mikoriza.



Gambar 1. Infeksi akar pada tanaman kelapa sawit (A). akar yang tidak terinfeksi mikoriza, (B) Akar yang terinfeksi hifa mikoriza, (C). Akar yang terinfeksi spora mikoriza.

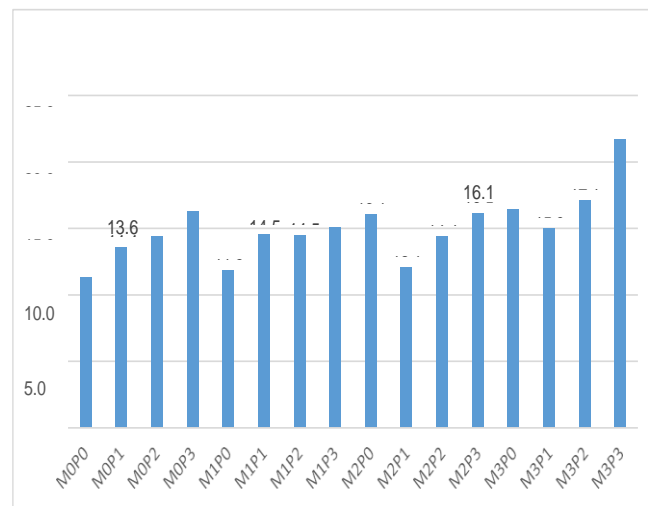
Serapan Unsur Hara N, P, K

Berdasarkan hasil analisis laboratorium kombinasi perlakuan pupuk hayati Mikoriza dan Pupuk PGPR terhadap serapan unsur hara N, P, K, pada daun pada bibit kelapa sawit 12 MST di pembibitan utama.



Gambar 1. Grafik hasil analisis serapan nitrogen (N) pada daun bibit kelapa sawit akibat aplikasi mikoriza dan PGPR di pembibitan utama.

Grafik menunjukkan bahwa serapan fosfor (N) pada daun bibit kelapa sawit dipengaruhi oleh kombinasi pemberian mikoriza dan PGPR. Secara umum, peningkatan konsentrasi PGPR pada setiap dosis mikoriza cenderung meningkatkan serapan P. Pada tanpa mikoriza, serapan P meningkat seiring kenaikan PGPR dari 0 hingga 30 mL L⁻¹. Pada dosis mikoriza 5 g dan 10 g, serapan P menunjukkan pola fluktuatif, namun tetap cenderung meningkat pada konsentrasi PGPR yang lebih tinggi. Sementara itu, pada dosis mikoriza tertinggi (15 g), serapan P menunjukkan nilai tertinggi, terutama pada kombinasi dengan PGPR 30 mL L⁻¹. Nitrogen merupakan unsur hara esensial yang sangat dibutuhkan tanaman dalam pembentukan protein, asam amino, dan klorofil sehingga sangat berperan dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman (Seleiman *et al.*, 2021).



Gambar 1. Grafik hasil analisis serapan nitrogen (N) pada daun bibit kelapa sawit akibat aplikasi mikoriza dan PGPR di pembibitan utama.

Grafik menunjukkan bahwa serapan fosfor (P) pada daun bibit kelapa sawit dipengaruhi oleh kombinasi pemberian mikoriza dan PGPR. Secara umum, peningkatan konsentrasi PGPR pada setiap dosis mikoriza cenderung meningkatkan serapan P. Pada tanpa mikoriza, serapan P meningkat seiring kenaikan PGPR dari 0 hingga 30 mL L⁻¹. Pada dosis mikoriza 5 g dan 10 g, serapan P menunjukkan pola fluktuatif, namun tetap cenderung meningkat pada konsentrasi PGPR yang lebih tinggi. Sementara itu, pada dosis mikoriza tertinggi (15 g), serapan P menunjukkan nilai tertinggi, terutama pada kombinasi dengan PGPR 30 mL L⁻¹. PGPR berperan dalam melarutkan fosfor terikat di dalam tanah sehingga dapat tersedia bagi tanaman, sedangkan mikoriza membantu meningkatkan penyerapan fosfor melalui jaringan hifa eksternal (Kumar *et al.*, 2021).



Gambar 3. Grafik hasil analisis serapan kalium (K) pada daun bibit kelapa sawit akibat aplikasi pupuk hayati mikoriza dan PGPR di pembibitan utama.

Gambar 3 menunjukkan bahwa serapan kalium (K) pada daun bibit kelapa sawit dipengaruhi oleh pemberian mikoriza dan PGPR. Secara umum, peningkatan konsentrasi PGPR pada setiap dosis mikoriza cenderung meningkatkan serapan K, meskipun pada beberapa perlakuan terlihat fluktuasi. Pada tanpa mikoriza (0 g), serapan K meningkat hingga PGPR 20 mL L⁻¹, kemudian sedikit menurun pada 30 mL L⁻¹. Pada dosis mikoriza 5 g dan 10 g, serapan K menunjukkan pola meningkat seiring peningkatan PGPR, dengan nilai relatif tinggi pada konsentrasi menengah hingga tinggi. Sementara itu, pada dosis mikoriza 15 g, serapan K mencapai nilai tertinggi, terutama pada kombinasi dengan PGPR 30 mL L⁻¹. Kalium berperan penting dalam pengaturan tekanan osmotik sel, aktivitas enzim, dan menjaga keseimbangan fisiologis tanaman sehingga sangat dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman (Lamade & Bouillet, 2020).

Keterbatasan Penelitian

Durasi penelitian relatif singkat, kondisi tanah steril dan perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai efektivitas mikoriza dan PGPR pada fase pembibitan lanjutan maupun setelah bibit dipindahkan ke lapangan untuk mengetahui keberlanjutan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan adaptasi tanaman kelapa sawit pada lahan Ultisol.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan interaksi nyata terhadap infeksi mikoriza pada akar bibit kelapa sawit, di mana kombinasi mikoriza 15 g dan PGPR 10–30 mL L⁻¹ menghasilkan tingkat kolonisasi tertinggi. Pemberian mikoriza secara tunggal mampu meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit pada media ultisol, terutama pada tinggi tanaman, jumlah daun, diameter bonggol, panjang rachis, bobot kering tajuk, bobot kering akar, rasio tajuk akar, dan infeksi mikoriza, dengan respons terbaik diperoleh pada dosis 15 g. Pemberian PGPR juga mampu meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit serta meningkatkan serapan unsur hara N, P, dan K. Konsentrasi PGPR 30 mL L⁻¹ umumnya memberikan respons terbaik terhadap pertumbuhan dan efisiensi penyerapan unsur hara pada bibit kelapa sawit di pembibitan utama menggunakan media ultisol.

Rekomendasi praktis: “Dosis mikoriza 15 g dan PGPR 30 mL L⁻¹ merupakan kombinasi terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit di ultisol.”

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianton 2020, Pengaruh Mikoriza Dan Berbagai Konsentrasi Pupuk Organik Cair (POC) Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.). Penerbit Fakultas Pertanian Universitas Tadulako I. Soekaro Hatta.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1–17.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. 2021. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Plant Growth Regulation*, 95(3), 1–15.

- Efriyani & Usnaqul. 2016. Respon Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Terhadap Pemberian Fungi Mikoriza Arbuskula Dan Cekaman Air. Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Jannah, M., Jannah, R., & Fahrunsyah. 2022. Kajian Literatur: Penggunaan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Mengurangi Pemakaian Pupuk Anorganik pada Tanaman Pertanian. *Jurnal Agroteknologi Tropika Lembab*, 5(1), 41–49.
- Kartika, E 2006. Tanggap Pertumbuhan, Serapan Hara dan Karakter Morfofisiologi Terhadap Cekaman Kekeringan Pada Bibit Kelapa Sawit Yang Bersimbiosis Dengan CMA.ipb.
- Kartika, E 2010. Pertumbuhan Tanaman Kelapa Sawit Belum Menghasilkan (TBM I) pada Pemberian Mikoriza Indigen dan Dosis Pupuk Organik di Lahan Marjinal. *Biospecies*, 9(1).
- Khairuna, Syafrudin dan Marlina. 2015. Pengaruh Fungi Mikoriza Arbuskular dan Kompos pada Tanaman Kedelai Terhadap Sifat Kimia Tanah. *Jurnal*.
- Kumar, A., Singh, S., Gaurav, A. K., Srivastava, S., & Verma, J. P 2021. Plant growth-promoting bacteria: Biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1–17.
- Lamade, E., & Bouillet, J. P 2020. Nutrient dynamics and fertilization management in oil palm plantations. *Agronomy*, 10(12)
- Leiwakabessy, F. M. 1988. Kesuburan Tanah. Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Lubis, Y.H., & Azhari, E.L.P 2019. Effect of manure and mycorrhizal application on the growth of oil palm plants (*Elaeis guineensis* Jacq.) in pre-nursery nurseries. *Agrotekma, Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 3(2), 85- 98.
- Nur, S., Siregar, H., & Hasibuan, A 2024. The Impact of the Downstreamization of the Palm Oil Industry on National Economic Development. *Jiic: Jurnal Intelek Insan Cendikia*.
- Prasetyo, T.B., Yasin, S. dan Yeni, E 2010. Pengaruh pemberian abu batubara sebagai sumber silika (si) bagi pertumbuhan dan produksi tanaman padi (*Oryza sativa* L). *Jurnal Solum* 7(1):1-10, doi: 10.25077/js.7.1.1-6.
- Ritung, S., Nugroho, K., Mulyani, A., & Suryani, E 2021. *Land suitability evaluation for agricultural commodities in Indonesia*. Bogor: Indonesian Center for Agricultural Land Resources Research and Development.
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S., Orozco-Mosqueda, M. C., & Glick, B. R 2021. Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*, 252, 126–138.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Agronomy*, 11(2), 259.
- Setyawati, Ety Rosa, and Gilang Witjaksono 2021. “Respon Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Di Pre Nursery Terhadap Komposisi Bahan Organik Dan Konsentrasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria”. *Agroista: Jurnal Agroteknologi* 5 (2):25-35.
- Smith SE dan Read 2008. ROLES OF Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annual Review of Plant Biology*, 227-250.