



DOI: <https://doi.org/10.38035/jgpp.v4i1.728>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pengaruh Kombinasi Pupuk Hayati Mikoriza dan Dolomit terhadap Pertumbuhan Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jack)

TBM 1

Rio Andika^{1*}, Subagiono²

^{1*}Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Muara Bungo, Indonesia, randikapasker@gmail.com

²Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Muara Bungo, Indonesia, subagionosp@gmail.com

Abstract : This study aims to determine the effect of the combination of mycorrhizal and dolomite biofertilizers on the high growth of oil palm plants (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the Unyielding Crops (TBM) phase 1. This research was carried out in Rantau Kelayang village, Pelepat District, Bungo Regency, Jambi Province, namely at an altitude of ± 120 m above sea level with a pH of 4.8 in the Ultisol type, this research was carried out on May 26 - August 10, 2025. This study used a randomized design of a non-factorial group with five treatments, namely M0 (100 g mycorrhiza), M1 (30 g mycorrhizah + 650 g dolomite), M2 (80 g mycorrhizah + 550 g dolomite), M3 (130 g mycorrhizah + 450 g dolomite), and M4 (180 g mycorrhizae + 350 g dolomite), each repeated three times. The observation variables were the increase in the height of the oil palm plant (cm), the increase in the trunk circumference (cm), the increase in the area of the leaves (cm²), and the increase in the number of fronds (fruit). To see the effect of the combination of treatments on the observation variables, the data obtained was statistically analyzed with various fingerprints, if it had a real effect, it was followed by the DNMRT test at the level of 5%. The results of the variety-analysis showed that the application of a combination of mycorrhizal and dolomite had a very significant effect on the growth of TBM 1 oil palm. The M0 treatment provided the best growth with an average height increase of 10.57 cm, followed by an increase in stem circumference, leaf area, and better fronds count compared to the mycorrhiza dolomite combination treatment. The growth pattern shows an upward trend over time with clear growth points on the 30th, 60th, and 70th days. These results indicate that the application of a single mycorrhizal is more effective in supporting the vegetative growth of oil palm TBM 1 compared to the combination with dolomite.

Keywords: oil palm, mycorrhiza, dolomite, growth, TBM 1

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas perkebunan unggulan dan utama di Indonesia serta memiliki nilai ekonomi tinggi dalam subsektor perkebunan.

Hasil utamanya berupa crude palm oil (CPO) dan produk turunannya telah menjadi komoditas perdagangan internasional yang menyumbang devisa terbesar bagi negara dari ekspor non-migas tanaman perkebunan. Kelapa sawit berperan penting dalam perekonomian Indonesia yang merupakan negara produsen dan eksportir kelapa sawit terbesar di dunia (Sulardi, 2022).

Luas areal tanaman menghasilkan di Indonesia mengalami peningkatan hingga tahun 2021 mencapai 12.593.035 ha dengan nilai produksi 49.710.345 ton dan menghasilkan nilai produktivitas CPO yakni sebesar 3,162 ton/ha. Namun pada tahun 2022 luas areal tanaman menghasilkan mengalami penurunan menjadi sebesar 11.991.914 ha serta nilai produksi menjadi sebesar 45.741.845 ton, akan tetapi produktivitas CPO meningkat menjadi sebesar 3,814 ton/ha. Untuk Provinsi Jambi, data perkembangan kelapa sawit tahun 2018–2022 menunjukkan adanya fluktuasi luas areal, produksi, dan produktivitas. Pada tahun 2018 luas areal mencapai 1.032.145 ha dengan produksi 2.691.270 ton dan produktivitas 3,296 ton/ha. Tahun 2019, luas areal meningkat menjadi 1.070.723 ha, namun produksi turun menjadi 2.281.336 ton, meskipun produktivitas naik menjadi 3,413 ton/ha. Pada tahun 2020 dan 2021, produksi sawit mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Produksi tahun 2020 mencapai 3.022.565 ton dengan produktivitas 3,596 ton/ha, dan tahun 2021 naik menjadi 3.109.205 ton dengan produktivitas tertinggi 3,646 ton/ha. Hal ini menunjukkan bahwa pada periode tersebut tanaman menghasilkan (TM) berada dalam kondisi optimal, namun pada tahun 2022 terjadi penurunan produksi menjadi 2.720.529 ton dengan produktivitas 3,472 ton/ha. Dapat disimpulkan di Provinsi Jambi produksi kelapa sawit selama lima tahun terakhir berfluktuasi sedangkan untuk produktivitasnya mengalami peningkatan kecuali pada tahun 2022, dimana produktivitas di Provinsi Jambi masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan produktivitas nasional. Hal ini disebabkan karena sebagian besar perkebunan kelapa sawit di Provinsi Jambi didominasi oleh perkebunan rakyat yang umumnya mengelola kebun dengan cara yang kurang tepat mulai dari pemilihan bibit, pemupukan, perawatan, hingga pemanenan. Selain itu, penyebab rendahnya produktivitas adalah banyaknya tanaman yang tidak menghasilkan atau tanaman rusak, sehingga salah satu upaya peningkatan produktivitas kelapa sawit diantaranya melalui kegiatan replanting (Ditjenbun 2022). Pembibitan merupakan tahap awal yang menentukan keberhasilan bagi tanaman. Keberhasilan suatu usaha perkebunan kelapa sawit ditentukan dalam proses pembibitan, kualitas bibit sangat menentukan produksi akhirnya. Dalam hal ini media tanam dan pemupukan sangat berpengaruh dalam perkembangan dan pertumbuhan kecambah kelapa sawit (Asra *et al.*, 2014). Faktor utama yang mempengaruhi produktivitas tanaman perkebunan kelapa sawit yaitu penggunaan bibit yang berkualitas. Bibit merupakan produk dari suatu proses penggandaan tanaman yang dapat berpengaruh terhadap pencapaian produksi dan keseimbangan usaha perkebunan (Afrizon, 2017).

Tanaman kelapa sawit yang memiliki produktivitas yang baik selalu berasal dari bibit yang baik. Bibit kelapa sawit yang sering digunakan biasanya berasal dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) atau berasal dari benih yang ditangani sesuai dengan aturan dan pedoman. Tujuan dilakukannya pembibitan yaitu untuk mempersiapkan fisik bahan tumbuhan supaya dapat menyesuaikan diri dengan area tumbuhnya secara optimal. Pembibitan merupakan bagian penting dalam menyediakan bibit yang unggul dan bermutu (Setiawan *et al.*, 2017). Masa pembibitan ini merupakan masa penting dalam kelapa sawit, karena harapan hasil dari proses pembibitan ini adalah bibit yang unggul dan bermutu. Penggunaan bibit yang unggul dan bermutu dapat menjadi penentu tingkat produktivitas tanaman kelapa sawit pada 20 atau 30 tahun mendatang.

Pemberian pupuk di pembibitan merupakan salah satu tindakan agar pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat optimal yang pada akhirnya memacu peningkatan bibit. Efisiensi pemupukan dapat dicapai dengan takaran pupuk yang tepat yang dipengaruhi oleh

hubungan antara sifat-sifat tanah dan tanaman. Pembibitan kelapa sawit memerlukan fisik tanah yang bersifat permeabel (mudah menyerap air dan udara tanah), dan agregasi tanah yang baik, serta kandungan air tanah yang sesuai kebutuhan tanaman (Hakim, 2007).

Perkembangan industri kelapa sawit yang sangat pesat mengakibatkan perambahan areal kelapa sawit tidak hanya pada lahan mineral, tetapi juga terjadi di lahan marginal. Luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 1990 sebesar 1,1 juta hektar menjadi sekitar 8,9 juta hektar pada tahun 2011 (Amalia, 2012). Menurut Subardja *et al.* (2006), lahan yang berpotensi untuk dikembangkan kelapa sawit di Indonesia adalah sekitar 26 juta hektar, tetapi lebih dari separuhnya merupakan lahan marginal.

Beberapa contoh lahan marginal seperti tanah berpasir, lahan pasang surut, dan lahan gambut. Dari berbagai macam lahan marginal tersebut, lahan gambut yang paling luas digunakan hingga kini. Subagyo *et al.* (1996) mengemukakan bahwa lahan gambut yang potensial masih bisa digunakan sebagai areal kelapa sawit adalah seluas 5,6 juta hektar. Namun secara umum lahan-lahan marginal tersebut memiliki sifat fisik, kimia, maupun biologi tanah yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah mineral. Oleh karena itu penggunaan lahan marginal sebagai lahan perkebunan kelapa sawit membutuhkan berbagai macam material yang dapat memperbaiki sifat-sifat tanah tersebut.

Mikoriza merupakan salah satu material yang dapat memperbaiki sifat-sifat tanah. Mikoriza dapat membantu meningkatkan penyerapan unsur fosfor bagi tanaman. Beberapa hasil penelitian mengemukakan bahwa simbiosis mikoriza dengan inangnya dapat mengakibatkan serapan unsur hara yang baik, terutama pada tanaman yang tumbuh pada lahan-lahan marginal dengan tingkat kesuburan tanah yang ekstrim. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Widiastuti *et al.* (2006) bahwa simbiosis mikoriza dengan tanaman kelapa sawit dapat meningkatkan

serapan unsur fosfor, memperbaiki sistem perakaran, dan memineralisasikan fosfor organik tanah. Kondisi yang demikian menguntungkan bagi tanaman. Dengan adanya aplikasi mikoriza di lahan marginal diharapkan dapat menghasilkan pertumbuhan kelapa sawit yang baik.

Penggunaan pupuk hayati, terutama jamur mikoriza, yang dipadukan dengan pupuk dolomit, menunjukkan hasil yang baik untuk pertumbuhan dan kesehatan tanaman kelapa sawit. Menggabungkan pupuk hayati dengan pupuk kimia dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanah, dengan meningkatkan penyerapan nutrisi sambil mempertahankan keanekaragaman mikroba di dalam tanah. Sebagai contoh, penerapan pupuk hayati menggunakan

jumlah pupuk kimia yang lebih sedikit terbukti efektif dalam meningkatkan parameter pertumbuhan kelapa sawit, seperti tinggi, luas daun, dan kandungan nutrisi, serta menjaga tingkat keanekaragaman hayati mikroba tanah tetap tinggi (Zainuddin *et al.* 2022)

Jamur mikoriza arbuskular (AMF) berperan penting dalam menciptakan hubungan simbiosis dengan akar tanaman, sehingga meningkatkan penyerapan dan transportasi nutrisi penting seperti fosfor, yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa AMF mampu mengurangi kebutuhan pupuk kimia dengan meningkatkan ketersediaan dan penyerapan nutrisi, sehingga meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit (Nizar *et al.* 2023). Penggunaan AMF telah terbukti efektif dalam menurunkan jumlah pupuk majemuk yang dibutuhkan, sehingga mengurangi dampak lingkungan akibat penggunaan pupuk yang berlebihan (Ryadin *et al.* 2022). Selain itu, kombinasi pupuk hayati dan dolomit yang merupakan sumber kalsium dan magnesium dapat lebih meningkatkan kesuburan tanah serta pertumbuhan tanaman.

Dolomit berperan dalam menetralkan keasaman tanah, sehingga meningkatkan ketersediaan nutrisi dan efektivitas pupuk hayati seperti AMF. Kombinasi ini telah menunjukkan hasil yang baik dalam mengoptimalkan kondisi pertumbuhan bibit kelapa sawit, yang berujung pada peningkatan tinggi tanaman, luas daun, dan biomassa secara keseluruhan (Kartika *et al.* 2022).

Secara keseluruhan, penggabungan pupuk hayati mikoriza dengan dolomit dan pengurangan pupuk kimia memiliki potensi untuk secara signifikan meningkatkan pertumbuhan serta kesehatan tanaman kelapa sawit. Metode ini tidak hanya memperbaiki penyerapan nutrisi dan kesuburan tanah, tetapi juga mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan melestarikan keanekaragaman mikroba tanah (Sodikin *et al.* 2022).

Sifat kimia tanah, khususnya pH, merupakan faktor utama yang menentukan dinamika ketersediaan unsur hara serta produktivitas tanaman dalam sistem budidaya. Tanah dengan pH rendah umumnya mengalami berbagai kendala kesuburan, seperti meningkatnya kelarutan ion toksik Al^{3+} dan Fe^{2+} , menurunnya aktivitas mikroba menguntungkan, serta terhambatnya ketersediaan unsur hara makro seperti fosfor (P), nitrogen (N), dan kalium (K) (Havlin *et al.*, 2014; Brady & Weil, 2017). Untuk mengatasi kondisi tersebut, aplikasi dolomit sebagai bahan pengapuran menjadi strategi penting karena mampu meningkatkan pH tanah, menetralkan ion toksik, serta menyediakan unsur Mg dan Ca sekaligus memperbaiki keseimbangan kimia tanah. Selain itu, pemanfaatan pupuk mikoriza sebagai agen hayati turut berperan dalam meningkatkan efisiensi serapan hara melalui pembentukan hubungan simbiotik antara jamur dan akar tanaman, yang secara signifikan memperluas wilayah jelajah akar, memobilisasi fosfor terikat, dan meningkatkan penyerapan unsur mikro esensial (Marschner, 2012; Smith & Read, 2008). Dengan demikian, integrasi antara perbaikan pH melalui pemberian dolomit dan peningkatan aktivitas biologis melalui aplikasi mikoriza merupakan pendekatan terpadu yang efektif untuk mendukung peningkatan ketersediaan hara dan produktivitas tanaman secara berkelanjutan dalam berbagai kondisi agroekosistem.

Dosis mikoriza yang optimal untuk tanaman kelapa sawit TBM 1 (Tanaman Belum Menghasilkan tahun pertama) bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan bibit sekaligus mengurangi kebutuhan pupuk anorganik. Penggunaan mikoriza sebanyak 20–50 gram per tanaman, dikombinasikan dengan pengurangan dosis pupuk anorganik hingga 50%, terbukti memberikan hasil pertumbuhan bibit yang optimal. 50 gram mikoriza per tanaman dengan 50–75% dosis pupuk standar menghasilkan pertumbuhan bibit kelapa sawit yang optimal, serta dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik hingga 25–50% tanpa menurunkan kualitas pertumbuhan (Sakiah *et al.* 2023). Dan dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pupuk dolomit meningkatkan secara nyata terhadap peubah tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, dan kandungan khlorofil daun, namun tidak berpengaruh terhadap kandungan Mg dalam jaringan daun. Berdasarkan tanggap peubah tinggi tanaman, dosis optimum pupuk dolomit untuk tanaman kelapa sawit pada umur satu tahun adalah 306.4 g dolomit tanaman (Sudradjat and Fitriya 2015).

Klasifikasi dan Botani Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tanaman monokotil tanpa kambium dengan batang lurus berdiameter 25–75 cm yang mulai tampak setelah umur ± 4 tahun. Pertumbuhan batang dipengaruhi faktor genetik, kesuburan tanah, dan iklim, dengan kenaikan tinggi 25–45 cm/tahun atau bahkan 100 cm/tahun pada kondisi optimal. Tinggi tanaman di perkebunan

umumnya 15–18 m, sementara di alam dapat mencapai 30 m (Sunarko 2017; Dewi 2015). Sistem perakarannya berupa akar serabut yang terdiri atas akar primer, sekunder, tersier, dan kuarter yang tumbuh horizontal dan vertikal, termasuk adanya akar nafas pada tanah basah (Nuraini et al., 2021; Dewi 2015).

Daun kelapa sawit merupakan daun majemuk bersirip genap dengan panjang pelepah hingga 7,59 m dan jumlah anak daun 250–400 helai. Tanaman dewasa mampu menghasilkan 40–50 pelepah, sedangkan luas permukaan daun umur 10–13 tahun mencapai 10–15 m². Semakin luas permukaan daun, semakin optimal proses fotosintesis dan produktivitas, dengan luas ideal sekitar 11 m² (Dewi 2015; Lubis dan Widanarko 2011).

Syarat Tumbuh Kelapa Sawit

Kelapa sawit tumbuh baik pada tanah gembur dengan pH 5,0–5,5 (toleransi 4–6,5), solum tanah >80 cm, serta drainase baik. Syarat tumbuh ini penting untuk menunjang pertumbuhan, perkembangan, dan produktivitas tanaman (Nora & Mual, 2018). Sawit merupakan tanaman tropis yang idealnya berada pada wilayah 15° LU–15° LS dan tumbuh optimal pada ketinggian <500 mdpl, karena produksi menurun pada ketinggian lebih tinggi (Nugroho 2019).

Kondisi iklim optimal bagi kelapa sawit mencakup curah hujan 2.500–3.000 mm/tahun yang merata, kelembapan 80–90%, serta suhu 25–27°C. Berbagai jenis tanah seperti latosol, podsolik merah kuning, aluvial, dan gambut tipis dapat mendukung pertumbuhan sawit selama pH berada dalam kisaran optimal (Nugroho 2019).

Mikoriza

Mikoriza adalah simbiosis mutualisme antara jamur dan akar tumbuhan tingkat tinggi, di mana hifa jamur memperluas area penyerapan hara dan air, sementara tanaman memasok karbohidrat hasil fotosintesis. Mikoriza Arbuskular (MA) merupakan tipe yang paling umum, membentuk struktur arbuskula, vesikel, dan hifa ekstraseluler yang berperan dalam penyerapan P, N, dan unsur mikro (Jumadi et al., 2021; Pratama et al., 2023; Supriadi et al., 2022). Jamur MA berasal dari filum Glomeromycota yang bereproduksi melalui spora dan bersifat obligat biotrof (Smith et al., 2024).

MA meningkatkan penyerapan hara terutama fosfor, memperbaiki struktur tanah melalui pembentukan agregat, serta mendukung efisiensi penggunaan pupuk. Mekanisme kerja mikoriza mencakup penyaluran nutrisi melalui hifa berdiameter kecil dan sekresi asam organik yang melarutkan P terikat. Peran mikoriza sangat penting untuk keberlanjutan pertanian dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia (Herawati et al., 2020; Permata et al., 2021; Wati et al., 2021; Ningsih & Marwansyah, 2024).

Dolomit

Dolomit adalah mineral karbonat CaMg(CO₃)₂ yang digunakan sebagai pembenah tanah sekaligus sumber Ca dan Mg bagi tanaman. Kandungan CaO dan MgO pada dolomit mendukung berbagai proses fisiologis tanaman, sementara sifat dasarnya efektif menaikkan pH tanah masam yang umum ditemukan di lahan pertanian Indonesia (Wahyudi et al., 2021; Maulana et al., 2020). Tanah ber-pH rendah sering menyebabkan toksisitas Al dan Fe serta menurunkan ketersediaan P dan Mo, sehingga dolomit menjadi penting terutama pada tanah Ultisol dan Oxisol (Wardiana et al., 2020).

Selain menetralkan keasaman, dolomit meningkatkan ketersediaan P dengan mengurangi ikatan P oleh Al dan Fe sehingga lebih mudah diserap tanaman. Pemberian dolomit juga memperbaiki kesehatan akar, meningkatkan pembentukan klorofil, dan mendukung metabolisme tanaman, yang berdampak pada peningkatan hasil (Yuliana et al., 2023; Lubis et al., 2021).

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian lapangan ini dilaksanakan di kawasan perkebunan kelapa sawit yang berlokasi di Desa Rantau Keloyang, Kecamatan Pelepat, Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi. Secara geografis, lokasi penelitian ini berada pada area topografi dengan ketinggian sekitar ± 120 meter di atas permukaan laut. Karakteristik tanah di lokasi penelitian merupakan jenis tanah Ultisol yang secara umum memang dikenal memiliki tingkat keasaman yang tinggi serta ketersediaan unsur hara makro yang relatif sangat rendah. Kondisi ini dibuktikan dengan hasil pengukuran pH tanah awal di lokasi yang menunjukkan angka 4,8. Oleh karena itu, penggunaan bahan amelioran seperti dolomit dan agen biologis sangat relevan untuk diaplikasikan guna memperbaiki sifat kimia tanah. Rangkaian kegiatan eksperimen secara keseluruhan berlangsung selama kurang lebih tiga bulan lamanya, dimulai dari tahapan persiapan awal lahan hingga proses pengumpulan data akhir, yakni sejak tanggal 26 Mei 2025 hingga tanggal 10 Agustus 2025.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam pelaksanaan eksperimen ini terdiri dari beberapa komponen agronomi penting. Pertama, pupuk hayati mikoriza dengan merek dagang Fumyco, yang berfungsi untuk bersimbiosis dengan perakaran, memperluas area serapan akar, dan meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara bagi tanaman. Kedua, kapur pertanian dolomit yang diaplikasikan secara khusus untuk menaikkan pH tanah Ultisol yang asam serta mensuplai unsur esensial berupa Magnesium dan Kalsium. Ketiga, bahan tanam utama yang digunakan sebagai objek observasi adalah bibit tanaman kelapa sawit fase Tanaman Belum Menghasilkan 1 (TBM 1) yang berasal dari Varietas Sriwijaya 6.

Untuk menunjang seluruh proses kegiatan teknis di lapangan, berbagai perlengkapan dan peralatan turut dipersiapkan. Alat pertanian dasar meliputi cangkul dan parang yang digunakan secara intensif untuk persiapan lahan dan pembersihan areal piringan. Peralatan teknis untuk pengumpulan data dan perlakuan mencakup ember, meteran untuk mengukur tinggi tanaman, penggaris untuk mengukur dimensi organ daun, serta timbangan digital dengan tingkat akurasi tinggi untuk menimbang dosis takaran pupuk secara presisi. Selain itu, digunakan pula kamera digital untuk dokumentasi visual seluruh kegiatan, tali rafia untuk alat bantu pengukuran lingkaran batang, serta perlengkapan alat tulis untuk mencatat segala data sekunder maupun primer.

Rancangan Penelitian

Pendekatan eksperimen ini menggunakan desain Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktor tunggal guna meminimalisir dan mengontrol pengaruh heterogenitas kondisi lingkungan tempat tumbuh di lapangan. Penelitian ini secara spesifik menguji lima taraf perlakuan yang merupakan formulasi kombinasi pemberian dosis pupuk mikoriza dan kapur dolomit. Kelima taraf perlakuan tersebut secara rinci adalah sebagai berikut: M0 (perlakuan kontrol berupa pemberian 100 g mikoriza murni tanpa tambahan dolomit), M1 (kombinasi pemberian 30 g mikoriza yang ditambah dengan 650 g dolomit), M2 (kombinasi pemberian 80 g mikoriza yang ditambah dengan 550 g dolomit), M3 (kombinasi pemberian 130 g mikoriza yang ditambah dengan 450 g dolomit), dan M4 (kombinasi pemberian 180 g mikoriza yang ditambah dengan 350 g dolomit). Setiap perlakuan tersebut diulang sebanyak empat kali ulangan (blok), sehingga secara keseluruhan terbentuk 20 unit percobaan. Di dalam setiap satu unit percobaan, terdapat dua sampel tanaman yang dievaluasi, sehingga total keseluruhan populasi tanaman yang diaplikasikan perlakuan dan diamati secara intensif berjumlah sebanyak 40 pokok tanaman.

Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan di lapangan diawali dengan kegiatan pembersihan lahan atau sanitasi kebun. Pembersihan gulma di area gawangan dilakukan menggunakan bantuan alat

berupa mesin pemotong rumput agar menghemat waktu kerja. Sementara itu, untuk area piringan tanaman yang selebar 150 cm dari pangkal batang bawah, pembersihan gulma wajib dilakukan secara manual dan berhati-hati guna menghindari risiko kerusakan pada struktur akar dangkal sawit, dan kegiatan ini rutin diulang dalam interval setiap dua bulan sekali. Sebelum aplikasi pemupukan dimulai, setiap pokok tanaman dipastikan benar-benar bersih gulma pada area piringannya.

Langkah operasional selanjutnya adalah pemasangan label identifikasi perlakuan secara acak pada masing-masing kelompok tanaman sesuai dengan bagan percobaan. Aplikasi perlakuan dilakukan dengan cara menimbang secara teliti dosis mikoriza maupun dolomit menggunakan instrumen timbangan digital yang sesuai dengan proporsi pada masing-masing taraf perlakuan. Aplikasi pupuk hayati mikoriza dilakukan menggunakan metode tugal, yakni dengan melubangi lapisan tanah berjarak sekitar 30 cm dari pusat pangkal batang utama hingga kedalamannya mencapai zona perakaran aktif tanaman. Di sisi lain, kapur dolomit diaplikasikan dengan menggunakan metode tebar secara merata persis di dalam area piringan pada jarak radius 1 meter dari pokok tanaman. Pemeliharaan tanaman tetap dilakukan secara optimal melalui kegiatan pengendalian gulma secara manual yang frekuensinya sangat disesuaikan dengan fluktuasi tingkat pertumbuhan gulma harian di lapangan.

Parameter Pengamatan

Variabel parameter pertumbuhan vegetatif yang diamati secara berkesinambungan mencakup empat kriteria utama. Pertama, laju pertumbuhan tinggi tanaman, yang diukur secara cermat bermula dari titik patok permukaan ajir referensi yang menancap di tanah hingga membentang ke batas ujung titik daun tertinggi yang ditarik lurus. Pengukuran ini dilakukan secara periodik rutin setiap interval 30 hari berturut-turut hingga batas umur 90 hari setelah pemberian perlakuan awal. Kedua, parameter pertumbuhan lingkaran batang, yang diukur dengan cara teknis melingkarkan tali rafia secara ketat pada pangkal ukuran batang bawah tanaman, yang mana kemudian tali tersebut diukur panjang riilnya. Data final didapat dari selisih angka ukuran akhir perlakuan dengan ukuran awal. Ketiga, total luas daun, yang pengukurannya secara spesifik difokuskan pada bagian pelepah nomor tiga dihitung dari urutan paling bawah, dan ini secara teknis dilaksanakan hanya pada tahap paling akhir dari periode penelitian. Keempat, pertumbuhan jumlah pelepah helaian daun baru, yang dihitung dari total selisih angka antara jumlah helaian pelepah yang muncul di akhir dan jumlah helaian di awal penelitian, dengan merujuk menggunakan formulasi rumus paten $P = P_2 - P_1$.

Analisis Data

Seluruh data mentah yang bersifat kuantitatif dari perolehan hasil pengukuran lapangan akan melalui tahapan tabulasi terstruktur dan kemudian dianalisis menggunakan prosedur statistik analisis sidik ragam mutakhir (Analysis of Variance/ANOVA). Analisis mendalam ini secara eksklusif bertujuan untuk mengevaluasi secara kritis tingkat signifikansi pengaruh perlakuan yang telah dikerjakan. Apabila konklusi hasil perhitungan dari analisis sidik ragam ini mengindikasikan adanya suatu pengaruh nyata yang terukur terhadap ragam parameter yang sedang diamati, maka seluruh pengujian data statistik akan dilanjutkan lebih jauh dengan menggunakan uji komparatif beda nyata Duncan New Multiple Range Test (DNMRT). Proses pengujian lanjutan ini secara seragam dioperasikan pada ketetapan taraf signifikansi di angka 5% untuk menjustifikasi perlakuan mana yang memberikan keluaran paling superior, dengan tetap mengacu penuh secara runut pada prosedur baku kaidah keilmuan statistika yang ditelaah dan telah ditetapkan sebelumnya oleh pakar seperti Steel dan Torrie (1994).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertambahan Tinggi Tanaman (cm)

Hasil analisa ragam menunjukkan bahwa pemberian kombinasi pupuk hayati mikoriza dan dolomit berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap tinggi tanaman (cm) sawit TBM 1 (lampiran 5). Rataan pertambahan tinggi tanaman (cm) kelapa sawit TBM 1 dari pemberian kombinasi pupuk hayati mikoriza dan dolomit dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1. Pengaruh kombinasi mikoriza dan dolomit terhadap pertambahan tinggi tanaman (cm)

Perlakuan	Rataan tinggi tanaman (cm)
M0 : 100 g Mikoriza	10,57 a
M1 : 30 g Mikoriza + 650 g Dolomit	7,24 b
M2 : 80 g Mikoriza + 550 g Dolomit	6,46 b
M3 : 130 g Mikoriza + 450 g Dolomit	6,38 b
M4 : 180 g Mikoriza + 350 g Dolomit	5,93 b
KK : 16,89 %	

Keterangan: Angka-angka diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMR pada taraf 5%

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kombinasi pupuk hayati mikoriza dan dolomit memberikan pengaruh nyata terhadap pertambahan tinggi kelapa sawit TBM 1, menegaskan bahwa pemupukan organik-biologis dan pengapuran berperan signifikan pada fase awal pertumbuhan kelapa sawit di lahan masam. Berdasarkan Tabel 1, perlakuan M0 (100 g mikoriza) menghasilkan pertumbuhan tinggi terbaik sebesar 10,57 cm dan berbeda nyata dari perlakuan lainnya. Efektivitas mikoriza tunggal ini berkaitan dengan kemampuannya meningkatkan serapan hara esensial seperti P, N, dan unsur mikro melalui perluasan bidang serapan akar oleh hifa eksternal, sehingga tanaman memperoleh suplai hara dan air lebih optimal untuk mendukung pemanjangan batang (Setiawan et al., 2021).

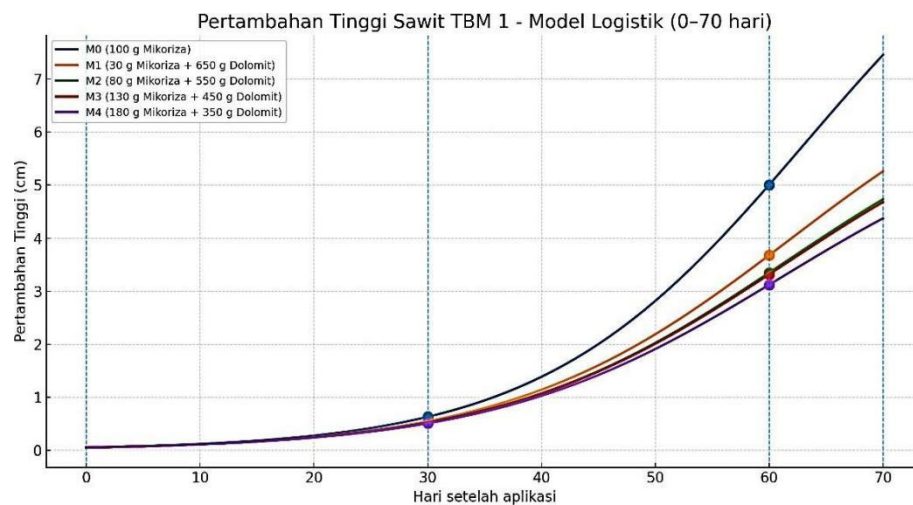
Sebaliknya, perlakuan kombinasi mikoriza–dolomit (M1–M4) menghasilkan pertambahan tinggi yang lebih rendah, yaitu 5,93–7,24 cm. Meskipun dolomit berfungsi sebagai amelioran tanah masam, dosis berlebih dapat meningkatkan pH tanah secara drastis sehingga menurunkan ketersediaan fosfor akibat pengikatan dengan Ca. Kelebihan Ca dan Mg juga berpotensi memunculkan antagonisme terhadap penyerapan K dan Zn, yang pada akhirnya menekan pertumbuhan tanaman (Prayuda et al., 2022). Kondisi ini selaras dengan temuan Utami et al. (2023), bahwa kolonisasi mikoriza optimal pada tanah masam hingga netral, namun menurun pada tanah yang terlalu basa, sehingga efektivitas mikoriza dalam mendukung pertumbuhan vegetatif menjadi lebih rendah.

Nilai koefisien keragaman (KK) sebesar 16,89% menunjukkan tingkat homogenitas data yang cukup baik sehingga hasil penelitian dapat dipercaya. Temuan ini konsisten dengan Supriadi et al. (2022) yang melaporkan bahwa mikoriza tunggal lebih efektif meningkatkan pertumbuhan vegetatif bibit kelapa sawit dibandingkan kombinasi dengan dosis pengapuran tinggi. Secara fisiologis, peningkatan tinggi pada M0 tidak hanya dipengaruhi peningkatan serapan hara, tetapi juga peran mikoriza dalam memproduksi hormon pertumbuhan seperti auksin dan sitokinin yang memacu pembelahan serta pemanjangan sel batang dan daun (Widjajanti et al., 2021).

Secara agronomis, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan keseimbangan antara ameliorasi kimia tanah menggunakan dolomit dan pemanfaatan

mikroba simbiotik seperti mikoriza. Dolomit memang diperlukan untuk memperbaiki sifat kimia tanah masam, tetapi penggunaannya harus tepat dosis agar tidak menurunkan efektivitas mikoriza. Diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan dosis kombinasi optimal yang mampu memberikan pengaruh sinergis terhadap pertumbuhan vegetatif kelapa sawit di tanah masam. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa mikoriza tunggal dengan dosis 100 g merupakan perlakuan paling efektif dalam meningkatkan pertambahan tinggi tanaman kelapa sawit TBM 1 dibandingkan kombinasi mikoriza dan dolomit. Dinamika pertumbuhan tinggi tanaman selama 70 hari setelah perlakuan ditampilkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Dinamika pertumbuhan tinggi tanaman sawit TBM 1 sebelum perlakuan sampai hari setelah aplikasi



Berdasarkan gambar, Pemodelan pertumbuhan tinggi kelapa sawit TBM 1 menggunakan model logistik pada periode 0–70 hari menunjukkan pola pertumbuhan sigmoid, yakni pertumbuhan cepat pada 0–30 hari, kemudian melambat pada usia 40–60 hari, dan mendekati titik jenuh menjelang hari ke-70. Setiap perlakuan (M0–M4) mengikuti pola tersebut, namun dengan perbedaan kecepatan pertumbuhan. Perlakuan M0 (100 g mikoriza) memberikan kurva pertumbuhan tertinggi, dengan rata-rata tinggi 10,57 cm pada akhir pengamatan, yang menunjukkan bahwa mikoriza tunggal lebih efektif dibandingkan kombinasi mikoriza dan dolomit.

Pada perlakuan kombinasi (M1–M4), pertumbuhan cenderung lebih rendah. M1 masih menunjukkan pertumbuhan cukup baik, tetapi tetap di bawah M0, sedangkan M4 memberikan pertumbuhan paling rendah dengan rata-rata hanya 5,93 cm. Kurva M4 yang lebih landai sejak awal hingga hari ke-70 mengindikasikan bahwa dosis kombinasi tersebut kurang sesuai untuk mendukung pertumbuhan tinggi tanaman. Perbedaan respons ini berkaitan dengan peran fisiologis masing-masing input; mikoriza meningkatkan serapan hara terutama fosfor dan memperluas bidang serapan akar (Rini et al., 2021; Nurhalimah et al., 2022), sementara dolomit memperbaiki pH tanah dan menyediakan Ca serta Mg. Namun, dosis dolomit yang tidak seimbang berpotensi menurunkan ketersediaan unsur mikro seperti Fe, Mn, dan Zn, sehingga menghambat pertumbuhan (Sari et al., 2021).

Nilai koefisien keragaman (KK) sebesar 16,89% menunjukkan variabilitas yang masih tergolong cukup tinggi, mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan seperti heterogenitas tanah atau perbedaan iklim mikro turut memengaruhi hasil pertumbuhan. Secara keseluruhan, pemodelan logistik menguatkan bahwa perlakuan mikoriza tunggal (M0) paling optimal dalam meningkatkan pertumbuhan tinggi kelapa sawit TBM 1 pada kondisi penelitian ini,

sementara kombinasi mikoriza–dolomit masih memerlukan penyesuaian dosis agar dapat memberikan efek sinergis yang lebih baik.

Pertambahan lingkaran Batang (cm) Hasil analisis ragam menunjukkan pemberian pupuk hayati mikoriza dan dolomit berpengaruh nyata ($P < 0,01$) terhadap lingkaran batang (cm) tanaman sawit TBM 1 (lampiran 7). Rataan pertambahan lingkaran batang (cm) kelapa sawit TBM 1 dari pemberian kombinasi pupuk hayati mikoriza dan dolomit dapat dilihat dari Tabel.

Tabel 2. Pengaruh kombinasi mikoriza dan dolomit terhadap pertambahan lingkaran batang (cm)

Perlakuan	Rataan lingkaran batang (cm)
M0 : 100 g Mikoriza	2,45 a
M1 : 30 g Mikoriza + 650 g Dolomit	2,22 a
M2 : 80 g Mikoriza + 550 g Dolomit	1,37 b
M3 : 130 g Mikoriza + 450 g Dolomit	0,97 b
M4 : 180 g Mikoriza + 350 g Dolomit	0,26 c
KK : 20,82 %	

Keterangan : Angka-angka diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMRT pada taraf 5%

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kombinasi mikoriza dan dolomit berpengaruh nyata terhadap pertambahan lingkaran batang kelapa sawit TBM 1. Secara biologis, pengaruh ini sejalan dengan peran kedua input tersebut dalam meningkatkan kondisi perakaran pada tanah masam: mikoriza memperbesar efisiensi serapan hara terutama P, sementara dolomit menaikkan pH, menekan toksisitas Al, serta meningkatkan ketersediaan Ca–Mg. Literatur mutakhir menegaskan bahwa pada tanah masam, keberhasilan mikoriza sangat dipengaruhi oleh ketersediaan P dan kondisi kimia tanah yang telah diperbaiki oleh pengapuran.

Berdasarkan Tabel 2, perlakuan terbaik diperoleh pada M0 (100 g mikoriza) dan M1 (30 g mikoriza + 650 g dolomit) yang menghasilkan pertambahan lingkaran batang tertinggi dan tidak berbeda nyata satu sama lain. Hal ini menunjukkan bahwa mikoriza dosis memadai sudah mampu menstimulasi pertumbuhan batang, sedangkan kombinasi mikoriza moderat dengan dolomit tinggi memberikan efek sinergis. Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya yang melaporkan bahwa kolonisasi mikoriza bekerja lebih optimal ketika pH tanah meningkat dan fiksasi P oleh Al dan Fe berkurang.

Sebaliknya, peningkatan dosis mikoriza yang disertai penurunan dolomit pada perlakuan M2–M4 justru menurunkan pertumbuhan, dengan nilai terendah pada M4. Dua faktor utama yang menjelaskan pola ini ialah ketidakseimbangan ameliorasi kemasaman sehingga P tetap rendah, serta tingginya dosis mikoriza yang tidak didukung kondisi hara dasar yang memadai. Dalam situasi ini, biaya metabolik untuk mempertahankan simbiosis bisa melebihi manfaat yang diperoleh tanaman, sehingga memicu penurunan pertumbuhan.

Koefisien keragaman sebesar 20,82% masih tergolong sedang, menandakan adanya variasi lingkungan namun tidak mengurangi konsistensi pengaruh perlakuan ($P < 0,01$). Secara praktis, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi “dolomit cukup + mikoriza moderat” lebih efektif dibandingkan peningkatan dosis salah satu input secara berlebihan. Untuk penyempurnaan dosis, diperlukan pengujian lanjutan dengan rentang dolomit dan mikoriza yang lebih spesifik serta pemantauan parameter kimia tanah dan

kolonisasi mikoriza guna memperoleh dosis optimum yang lebih presisi untuk fase TBM 1 di lokasi penelitian.

Pertambahan Luas Daun (cm²)

Hasil analisis ragam menunjukkan hasil dari pemberian kombinasi pupuk hayati mikoriza dan dolomit berpengaruh nyata terhadap pertambahan luas daun (cm²) tanaman sawit TBM 1 (Lampiran 8). Rataan pertambahan luas daun (cm²) kelapa sawit TBM 1 dari pemberian kombinasi pupuk hayati mikoriza dan dolomit dapat di lihat dari Tabel.

Tabel 3. Pengaruh kombinasi mikoriza dan dolomit terhadap pertambahan luas daun (cm²)

Perlakuan	Rataan luas daun (cm ²)
M0 : 100 g Mikoriza	13,02 a
M1 : 30 g Mikoriza + 650 g Dolomit	10,83 ab
M2 : 80 g Mikoriza + 550 g Dolomit	7,82 c
M3 : 130 g Mikoriza + 450 g Dolomit	8,72 bc
M4 : 180 g Mikoriza + 350 g Dolomit	6,73 c
KK : 18,84 %	

Keterangan : Angka-angka diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMRT pada taraf 5%

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kombinasi mikoriza dan dolomit berpengaruh nyata terhadap pertambahan luas daun kelapa sawit TBM. Luas daun meningkat ketika penyerapan P, N, dan Mg lebih efisien, yang merupakan efek langsung dari kolonisasi mikoriza. Perlakuan M0 (100 g mikoriza) dan M1 (30 g mikoriza + 650 g dolomit) menghasilkan luas daun terbesar dan tidak berbeda nyata, menandakan bahwa mikoriza dosis optimum mampu memperbaiki pembentukan lamina daun, terutama ketika didukung oleh dolomit yang menaikkan pH, menekan toksisitas Al, dan meningkatkan ketersediaan Ca–Mg. Temuan ini selaras dengan laporan penelitian terbaru bahwa penggunaan mikoriza pada fase awal pertumbuhan sawit dapat mempercepat pembentukan daun melalui peningkatan efisiensi serapan hara.

Sebaliknya, perlakuan M2 hingga M4 menghasilkan luas daun lebih rendah karena dosis mikoriza yang tinggi tidak diimbangi dengan dolomit yang cukup untuk memperbaiki kemasaman tanah. Pada kondisi pH tetap masam, P masih terikat oleh Al dan Fe sehingga kolonisasi mikoriza tidak memberikan manfaat optimal. Bahkan, beban karbon untuk mempertahankan simbiosis dapat menekan pertumbuhan daun. Koefisien keragaman 18,84% menunjukkan variabilitas masih wajar dan membuktikan bahwa perbedaan antarperlakuan benar-benar dipengaruhi oleh kombinasi mikoriza–dolomit. Secara keseluruhan, M0 dan M1 merupakan perlakuan paling efektif untuk meningkatkan luas daun kelapa sawit TBM karena keseimbangan dosis keduanya mendukung penyerapan hara dan kondisi perakaran yang lebih optimal.

Pertambahan Jumlah Pelepah (buah)

Hasil analisis ragam menunjukkan dari pemberian kombinasi pupuk hayati mikoriza dan dolomit, berpengaruh nyata terhadap pertambahan jumlah pelepah (buah) tanaman sawit TBM 1 (lampiran 9). Rataan jumlah pelepah (buah) tanaman sawit TBM 1 dari pemberian kombinasi pupuk hayati mikoriza dan dolomit dapat di lihat dari Tabel.

Tabel 4. Pengaruh kombinasi mikoriza dan dolomit terhadap pertambahan jumlah pelepah (buah).

Perlakuan	Rataan jumlah pelepah (buah) M0 :
100 g Mikoriza	2,84 a
M1 : 30 g Mikoriza + 650 g Dolomit	2,67 a
M2 : 80 g Mikoriza + 550 g Dolomit	1,56 b
M3 : 130 g Mikoriza + 450 g Dolomit	1,50 b
M4 : 180 g Mikoriza + 350 g Dolomit	1,47 b
KK : 17,43 %	

Keterangan : Angka-angka diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMRT pada taraf 5%

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kombinasi mikoriza dan dolomit berpengaruh nyata terhadap pertambahan jumlah pelepah kelapa sawit TBM 1. Perlakuan M0 (100 g mikoriza) menghasilkan jumlah pelepah tertinggi dan berbeda nyata dengan M2, M3, dan M4, namun tidak berbeda dengan M1. Sebaliknya, M4 (180 g mikoriza + 350 g dolomit) menghasilkan jumlah pelepah terendah. Hal ini menunjukkan bahwa mikoriza pada dosis optimum mampu meningkatkan pembentukan pelepah melalui peningkatan serapan P, N, dan unsur mikro yang mendukung pertumbuhan daun serta melalui stimulasi hormon tumbuh seperti auksin, sitokinin, dan giberelin.

Dolomit berperan penting dalam meningkatkan efektivitas mikoriza karena dapat menetralkan tanah masam, menurunkan toksisitas Al^{3+} , serta meningkatkan ketersediaan Ca dan Mg. Perbaikan pH dan penurunan hambatan kimia tanah memungkinkan akar berkembang lebih baik dan meningkatkan serapan hara. Ca berkontribusi pada pembentukan jaringan baru, sedangkan Mg berperan dalam pembentukan klorofil sebagai sumber energi fotosintesis yang diperlukan untuk pertumbuhan pelepah. Kondisi ini mendukung efektivitas mikoriza dalam memperluas daerah jelajah akar dan meningkatkan efisiensi penyerapan hara.

Meskipun demikian, peningkatan dosis mikoriza secara berlebihan tidak memberikan hasil yang lebih baik, sebagaimana terlihat pada perlakuan M4. Dosis yang terlalu tinggi dapat meningkatkan beban karbon tanaman untuk mempertahankan simbiosis, sehingga mengurangi alokasi asimilat bagi pembentukan pelepah. Ketidakseimbangan antara dosis mikoriza dan dolomit juga dapat mengurangi efektivitas kolonisasi, terutama jika dolomit tidak cukup untuk memperbaiki pH atau justru berlebihan hingga menekan perkembangan mikoriza.

Secara fisiologis, jumlah pelepah merupakan indikator penting bagi vigor kelapa sawit TBM 1 karena berkaitan langsung dengan kapasitas fotosintesis tanaman. Jumlah pelepah yang optimal mendukung pertumbuhan vegetatif yang kuat dan menjadi dasar pembentukan potensi produksi TBS pada fase menghasilkan. Karena itu, pemilihan kombinasi dosis mikoriza dan dolomit yang seimbang menjadi kunci untuk menunjang pertumbuhan vegetatif kelapa sawit secara optimal pada lingkungan tanah masam.

PEMBAHASAN

Pengaruh Kombinasi Pupuk Hayati Mikoriza dan Dolomit terhadap Pertumbuhan Vegetatif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi pupuk hayati mikoriza dan amelioran dolomit memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit Tanaman Belum Menghasilkan (TBM 1). Parameter yang diamati meliputi pertambahan tinggi tanaman, lingkaran batang, luas daun, dan jumlah pelepah. Keempat parameter ini merupakan indikator utama yang merepresentasikan fase pertumbuhan awal tanaman kelapa sawit, di mana pembentukan biomassa vegetatif sangat menentukan kapasitas produksi tanaman di masa depan. Secara fisiologis, respons positif pada fase awal ini sangat krusial karena tanaman kelapa sawit membutuhkan fondasi struktur morfologi yang kuat sebelum memasuki fase generatif.

Respons peningkatan pertumbuhan ini dapat dijelaskan melalui peran penting mikoriza arbuskula (AMF) dalam meningkatkan kapasitas sistem perakaran tanaman untuk menyerap unsur hara esensial dari dalam tanah. Nutrisi yang sangat terdampak oleh kehadiran mikoriza terutama adalah fosfor (P), nitrogen (N), magnesium (Mg), serta beberapa unsur mikro seperti seng (Zn) dan tembaga (Cu) yang sangat mendukung proses pertumbuhan awal tanaman. Fosfor merupakan unsur makro yang sering kali menjadi faktor pembatas di tanah tropis, dan ketersediaannya mutlak diperlukan untuk transfer energi dalam sel (ATP) serta pembentukan asam nukleat.

Mekanisme Fisiologis Mikoriza Arbuskula (AMF)

Nguyen et al. (2025) menjelaskan bahwa AMF mampu memperluas ruang jelajah akar melalui pembentukan dan penyebaran jaringan hifa eksternal (ekstramatrikal) yang meluas jauh melampaui zona penipisan hara di sekitar akar (rhizosphere). Jaringan hifa ini berukuran mikroskopis sehingga mampu menembus pori-pori tanah yang tidak dapat dijangkau oleh rambut akar biasa. Hal ini secara drastis meningkatkan serapan hara dan efisiensi penggunaan air oleh tanaman inang.

Peningkatan serapan nutrisi ini berimplikasi langsung pada peningkatan proses biokimia di dalam jaringan tanaman, termasuk peningkatan sintesis klorofil. Klorofil yang memadai menjamin optimalisasi aktivitas fotosintesis, yang pada gilirannya menghasilkan lebih banyak karbohidrat (fotosintat). Asimilat dari proses fotosintesis inilah yang kemudian ditranslokasikan ke berbagai bagian tanaman untuk mendukung pembelahan dan pembesaran sel, yang bermanifestasi pada pembentukan organ vegetatif seperti pertambahan luas daun, pemanjangan pelepah, dan penebalan lingkaran batang kelapa sawit.

Peran Dolomit dalam Perbaikan Kimia Tanah Masam

Peran dolomit dalam kombinasi perlakuan ini juga tidak dapat diabaikan dan memiliki fungsi yang sangat strategis. Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) berfungsi sebagai amelioran yang memperbaiki kemasaman tanah, meningkatkan pH, dan menyediakan unsur hara sekunder berupa kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Selain itu, fungsi utamanya di tanah masam adalah menurunkan kelarutan ion aluminium (Al^{3+}) dan besi (Fe) yang bersifat toksik bagi perakaran tanaman (Rahman et al., 2022). Toksisitas aluminium dapat menghambat pembelahan sel di ujung akar, membuat akar menjadi pendek, tebal, dan tidak mampu menyerap air serta hara dengan baik.

Pada tanah masam, ameliorasi dengan dolomit menjadi sangat penting karena unsur P sering kali terfiksasi (terikat kuat) oleh Fe dan Al membentuk senyawa yang tidak larut dan tidak tersedia bagi tanaman. Tanpa adanya peningkatan pH melalui aplikasi dolomit, efektivitas mikoriza menjadi sangat berkurang karena jumlah P bebas di dalam larutan tanah sangat minim. Zhang et al. (2024) menegaskan dalam studinya bahwa peningkatan pH dan perbaikan kondisi kimia tanah merupakan prasyarat utama untuk memaksimalkan manfaat mikoriza dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Lingkungan tanah yang kondusif memungkinkan spora mikoriza untuk berkecambah lebih baik dan menginfeksi akar inang dengan persentase

kolonisasi yang lebih tinggi.

Keunggulan Perlakuan Mikoriza Tunggal (M0)

Meskipun secara teoritis kombinasi mikoriza dan dolomit diyakini memberikan hasil terbaik, hasil penelitian ini menunjukkan sebuah temuan yang menarik, yaitu perlakuan mikoriza tunggal (M0: 100 g tanpa dolomit) justru memberikan tingkat pertumbuhan terbaik pada seluruh parameter vegetatif dibandingkan perlakuan kombinasi dengan dolomit. Temuan ini menjadi indikasi kuat bahwa kondisi awal tanah pada lokasi penelitian sebenarnya sudah cukup mendukung terjadinya kolonisasi mikoriza secara alami, meskipun tanpa adanya tambahan bahan amelioran seperti dolomit.

Kolonisasi mikoriza yang optimal pada perlakuan M0 memungkinkan peningkatan serapan hara, terutama hara makro P dan N. Ketersediaan P yang memadai memacu perkembangan akar, sedangkan N berperan langsung dalam pembentukan protein dan klorofil daun. Sinergi ketersediaan hara ini berdampak langsung terhadap peningkatan drastis pada tinggi tanaman, pelebaran helai daun, dan kecepatan pembentukan pelepah baru. Hasil ini sangat sejalan dengan laporan yang dipublikasikan oleh Jurnal Penelitian Kelapa Sawit (2024) yang menunjukkan bahwa aplikasi mikoriza secara tepat pada fase awal pertumbuhan bibit kelapa sawit mampu meningkatkan parameter vegetatif secara signifikan serta mempercepat kesiapan bibit untuk dipindahkan ke lapangan.

Dinamika Fisiologis pada Dosis Kombinasi yang Tidak Seimbang

Sebaliknya, peningkatan dosis aplikasi mikoriza yang tidak disertai dengan penambahan dolomit dalam jumlah yang memadai (seperti yang terlihat pada perlakuan M2, M3, dan M4) menunjukkan adanya tren penurunan dalam laju pertumbuhan vegetatif kelapa sawit. Penurunan ini tidak berarti mikoriza bersifat parasit, melainkan menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara kebutuhan fisiologis tanaman (sebagai inang) dan ketersediaan hara di dalam tanah.

Dalam kondisi ketersediaan unsur P yang sangat rendah akibat fiksasi di tanah masam, tanaman kelapa sawit terpaksa harus mengalokasikan persentase fotosintat (karbon) yang lebih besar dari tajuk ke sistem perakaran. Hal ini dilakukan semata-mata untuk mempertahankan hubungan simbiosis mutualisme dengan jamur mikoriza. Akibatnya, beban karbon (carbon drain) pada tanaman meningkat tajam, alokasi energi untuk pertumbuhan tunas dan daun berkurang, sehingga laju pertumbuhan vegetatif secara keseluruhan menjadi terhambat. Smith & Read (2021) menjelaskan dalam literatur klasik mereka bahwa simbiosis antara tanaman dan AMF tidak selalu berjalan searah dan menguntungkan. Pada kondisi defisiensi hara yang ekstrem atau kondisi tanah yang sangat menekan, biaya karbon yang harus dibayar oleh tanaman inang bisa menjadi lebih besar daripada manfaat hara yang diterimanya dari jamur mikoriza.

Respons negatif yang diamati pada perlakuan dengan kombinasi dolomit rendah juga mengindikasikan bahwa proses ameliorasi tanah masam belum berjalan dengan optimal. Hazra et al. (2023) menyebutkan bahwa tanpa praktik pengapuran atau pendolomitasi yang memadai sesuai dengan kebutuhan kapur (lime requirement) tanah, laju fiksasi P oleh mineral Fe dan Al tetap berada pada level yang sangat tinggi. Akibatnya, hara esensial P tetap tidak tersedia bagi tanaman meskipun persentase infeksi dan kolonisasi mikoriza di dalam akar sangat tinggi. Kondisi defisiensi sekunder inilah yang sesuai dengan fenomena penurunan luas daun dan melambatnya laju pertumbuhan jumlah pelepah pada perlakuan kombinasi mikoriza dosis tinggi yang hanya disertai dolomit dosis rendah.

Kesimpulan dan Implikasi Agronomis

Secara keseluruhan, pembahasan dari hasil penelitian ini menegaskan prinsip penting dalam manajemen kesuburan tanah biologis: keberhasilan aplikasi pupuk hayati mikoriza dalam upaya meningkatkan pertumbuhan vegetatif kelapa sawit sangat bergantung pada keseimbangan kondisi sifat kimia tanah di lahan tersebut. Mikoriza yang diaplikasikan pada

dosis optimum memiliki kapasitas luar biasa untuk meningkatkan serapan hara secara signifikan. Namun, tingkat keberhasilan simbiosis ini sangat ditentukan oleh parameter kualitas tanah seperti pH tanah, kejenuhan aluminium, serta ketersediaan ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) yang secara langsung mempengaruhi aktivitas biologis dan fisiologis pada ekosistem perakaran (rhizosphere).

Implikasi agronomis dari penelitian ini sangat penting bagi manajemen perkebunan kelapa sawit, khususnya pada tahap pembibitan dan TBM. Dengan demikian, aplikasi mikoriza tunggal yang diberikan pada dosis yang presisi dan tepat sasaran terbukti secara empiris mampu memberikan respons pertumbuhan yang jauh lebih baik dibandingkan menerapkan kombinasi perlakuan yang tidak seimbang dengan dosis dolomit. Pemahaman yang mendalam mengenai status awal hara tanah sangat diperlukan sebelum memutuskan untuk mengaplikasikan amelioran, guna menghindari pemborosan biaya pemupukan dan memastikan terwujudnya efisiensi fisiologis yang maksimal bagi tanaman kelapa sawit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan secara komprehensif, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan penting terkait pertumbuhan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) pada fase Tanaman Belum Menghasilkan 1 (TBM 1). Pertama, pemberian kombinasi pupuk hayati mikoriza dan kapur dolomit secara umum memberikan pengaruh yang nyata dan signifikan terhadap berbagai parameter pertumbuhan vegetatif tanaman. Hal ini terlihat dengan jelas dari adanya peningkatan yang terukur secara statistik pada pertambahan tinggi tanaman, pembesaran ukuran lingkaran batang, perluasan area luas daun, serta peningkatan jumlah pelepah yang tumbuh pada tanaman uji.

Namun demikian, temuan yang paling menarik dari penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan mikoriza secara tunggal, khususnya pada taraf perlakuan M0 (yaitu pemberian 100 gram mikoriza tanpa adanya penambahan dolomit sama sekali), justru memberikan respons pertumbuhan yang jauh lebih optimal. Perlakuan tunggal ini terbukti mampu memberikan hasil akhir yang lebih baik pada kecepatan pertambahan tinggi tanaman, ukuran lingkaran batang yang lebih besar, luasan daun yang lebih maksimal untuk proses fotosintesis, serta pembentukan jumlah pelepah yang lebih banyak. Hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi mikoriza tanpa campuran dolomit mampu menciptakan kondisi lingkungan di area perakaran yang lebih ideal bagi simbiosis, sehingga penyerapan nutrisi berjalan lebih efisien dibandingkan perlakuan kombinasi mikoriza-dolomit.

REFERENSI

- Afrizon A. 2017. Pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan pemberian pupuk organik dan anorganik. *Agritepa: Jurnal Ilmu dan Teknologi*. 29(4).
- Amalia, R., M.A. Agustira, dan T. Wahyono. 2012. Statistik industri kelapa sawit 2012. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Andoko, A., dan Widodoro. 2013. *Berkebun Kelapa Sawit Si Emas Cair*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Asra G, T Simanungkalit dan Rahmawati, N. 2014. Respons pemberian kompos tandan kosong kelapa sawit dan zeolit terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di Pre nursery. *Agroteknologi* 3(1): 416-426.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils (15th ed.)*. Pearson.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2022. Statistik Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia (Tree Crop Estate Statistics Palm Oil of Indonesia). 2018-2022. Jakarta.
- Dewi AM. 2015. Pertumbuhan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) pada beberapa tingkat

- kemiringan lahan hutan harapan jambi.skrripsi. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Hakim, M. 2007. Kelapa Sawit, Teknis Agronomis dan Manajemennya. Lembaga Pupuk Indonesia. Jakarta.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers*. Pearson.
- Hazra, F., Nur Istiqomah, F., dan Nurul Fadilla, A. 2023. Potensi Fumyco (Jamur Mikoriza Arbuskular) Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Pembibitan. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 31 (3), 153-162.
- Herawati, A., Syamsiyah, J., Mujiyo, M., dan Rochmadtulloh, M. 2020. Pengaruh aplikasi mikoriza dan bahan pembenah terhadap sifat kimia dan serapan fosfor di tanah pasir. *Soilrens*, 18(2), 26–35.
- Jumadi, Setiawati, M. R., dan Syafrullah. 2021. Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskular pada Rhizosphere Tanaman Kopi di Dataran Tinggi Gayo. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*, 9(3), 570-577
- Jurnal Penelitian Kelapa Sawit (IOPRI). (2024). The Potential of Fumyco (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) in Increasing Growth of Oil Palm in Nursery. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 32(1), 45–54.
- Kartika, E., Duaja, M., dan Gusniwat, G. 2022. Produksi Tandan Bunga Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jack) di Ultisol dengan Aplikasi Pupuk Hayati dan Pupuk Organik ” *Agric* 34 (2): 155–70.
- Lubis, M. R., Ginting, B. S., dan Nasution, Z. 2021. Pengaruh Pemberian Dolomit dan Pupuk Organik terhadap Ketersediaan Fosfor pada Tanah Ultisol dan Pertumbuhan Tanaman Jagung. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*, 9(2), 345- 352.
- Lubis, R.E. dan Widanarko, A., 2011. *Buku Pintar Kelapa Sawit*. Opi, Nofiandi; Penyunting. Agro Media Pustaka. Jakarta.
- Mahmud, MS, dan Chong, KP 2022. Pengaruh Pengapuran terhadap Sifat Tanah dan Perannya dalam Meningkatkan Produktivitas dan Profitabilitas Industri Kelapa Sawit di Malaysia. *Pertanian*, 12 (3),322.<https://doi.org/10.3390/agriculture12030322>
- Maulana, A. H., Prasetyo, H., dan Suryani, R. 2020. Pengaruh Aplikasi Dolomit terhadap Peningkatan pH dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) pada Tanah Masam. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 22(1), 47-53.
- Marschner, P. (2012). *Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Nguyen, H., Tran, Q., & Lee, J. (2025). *Metabolomik terkait akar mengungkapkan manfaat jamur AM yang bergantung pada konteks*. Fenotipe dan Fenomika Tumbuhan, 4 , e10627. <https://doi.org/10.1002/ppp2.10627>
- Ningsih, S., dan Marwansyah. 2024. Pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskular dalam Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Pupuk NPK pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal Agrotek Umpar*, 11(1), 1-10.
- Nizar, Mohd, C Tan, dan M Elya Masya. 2023. “Dampak Psikologis Pupuk KimiaPereduksi Jamur Mikoriza Arbuskular terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit.” Seri Konferensi IOP: Ilmu Bumi dan Lingkungan 1167: 1755- 1315.
- Nugroho. 2019. Teknologi Agroindustri Kelapa Sawit. Lambung Mengkurat Universitas Pers.
- Nuraini, M. ,Ramanata D.,dan Heri, S. 2021. Analisis Kesesuaian Lahan Untuk Tanaman Sawit Di Desa Nunggal Sari Kecamatan Pulau Rimau Kabupaten Banyuasin.*Jurnal Swarnabhumi* Vol. 6, No. 1, Februari 2021.
- Nurhalimah, R., Rini, Y., dan Widodo, A. 2022. Peran mikoriza arbuskular terhadap

- pertumbuhan tanaman pada tanah masam. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 11(2), 145–153.
- Nora, S., dan Mual, C. D. 2018. Budidaya tanaman kelapa sawit. *Kementerian Pertanian. Jakarta*.
- Pahan, I. 2013. Panduan Lengkap Kelapa Sawit. Penebar Swadaya, Jakarta. Permata, D. F., Soedarsono, S., dan Hartati, S. 2021. Peran Fungi Mikoriza Arbuskular dalam Peningkatan Penyerapan Fosfor pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 12(2), 114-121.
- Pratama, I. A., Santoso, E., dan Handoko, R. 2023. Potensi Fungi Mikoriza Arbuskular sebagai Biofertilizer untuk Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) pada Lahan Kering. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 28(4), 575-583.
- Prayuda, A. T., Wulandari, S., dan Hidayat, R. 2022. Peran dolomit dalam meningkatkan pH tanah masam dan hubungannya terhadap ketersediaan hara. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 24(2), 89–97.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS). 2018. Deskripsi Varietas Unggul Kelapa Sawit Sriwijaya.
- Putri, A. A., Sudaryono, dan Rosniawaty, S. 2020. Isolasi dan Identifikasi Fungi Mikoriza Arbuskular dari Rizosfer Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.) di Lampung. *Jurnal Biologi Lingkungan, Industri, Kesehatan*, 6(2), 64-70.
- Rahman, M., Idris, M., dan Harun, N. 2022. Pengaruh pengapuran terhadap sifat tanah dan perannya dalam meningkatkan produktivitas kelapa sawit. *Pertanian*, 12 (3), 322.
- Rini, Y., Supriadi, A., dan Handoko, T. 2021. Aplikasi pupuk hayati mikoriza untuk meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(3), 201–209.
- Ryadin, A., Janz, D., Schneider, D., Tjoa, A., Irawan, B., Daniel, R., dan Polle, A. 2022. Efek Awal Pengurangan Pupuk dan Herbisida terhadap Biota yang Berhubungan dengan Akar di Perkebunan Kelapa Sawit. *Agronomy*, 2022, 12.1: 199.
- Sakiah, Yosephine, I. O. Sukariawan, A. Naibaho, T. Guntoro dan Saragih, A. P. 2023. "Pemanfaatan mikoriza di pembibitan kelapa sawit untuk mengurangi dosis pupuk anorganik." *Seri Konferensi IOP: Ilmu Bumi dan Lingkungan*, 1243.
- Sari, D., Lestari, W., dan Yuliana, A. 2021. Pengaruh pemberian dolomit terhadap ketersediaan hara dan pertumbuhan tanaman pada tanah ultisol. *Soil and Plant Nutrition Journal*, 17(1), 55–63.
- Setiawan W, N Andayani dan E Rahayu. 2017. Pengaruh macam dan dosis limbah organik terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di main nursery. *J. AGROMAST*. 2(2)
- Setiawan, Y., Ramadhan, F., dan Lestari, P. 2021. Pengaruh aplikasi mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman pada tanah marginal. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 10(1), 15–24.
- Simanjuntak, P., Hutapea, R., dan Sitompul, N. 2023. Dolomit sebagai amelioran tanah masam untuk mendukung produktivitas tanaman perkebunan. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 25(1), 12–21.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press. Smith, SE, dan Read, DJ 2021. *Mycor* (edisi ke-4). Ac
- Smith, S. A., dan Read, D. 2024. *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press. Sodikin, E., Sulaiman, F., Amar, M., Achadi, T., Yakup, Y., Sefrila, M., dan Apria, A. 2022. Pengaruh Pemberian Dosis Pupuk Hayati Mikoriza pada Pertumbuhan Bibit Dua Varietas Kelapa Sawit di Pembibitan Awal. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 141–152.
- Subagyo, M, dan S. Karama. 1996. Prospek pengembangan lahan gambut untuk pertanian

- dalam seminar pengembangan teknologi benvawasan lingkungan untuk pertanian pada lahan gambut. 26 September 1996. Bogor.
- Subardja, D., L. Irsal, dan A. Saleh. 2000. Sebaran potensi lahan untuk ekstensifikasi kelapa sawit di Indonesia. Konferensi Kelapa Sawit Internasional. Bali 19-23 Juni 2000. Tp.
- Sudradjat, dan Fitriya. 2015. "Optimasi Dosis Pupuk Dolomit Pada Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Belum Menghasilkan Umur Satu Tahun." *Agrovigor* 8 (1): 1–7.
- Supriadi, S., Kertati, A., dan Setyaningsih, D. 2022. Komunitas Fungi Mikoriza Arbuskular dan Korelasinya dengan Kandungan Fosfor Tersedia pada Tanah Pertanian di Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 27(3), 329-338.
- Supriadi, Y., dan Hendra, A. 2022. Respon bibit kelapa sawit terhadap aplikasi mikoriza pada media tanah masam. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(3), 321–329
- Sulardi. 2022. Budidaya Tanaman Kelapa Sawit. PT Dewangga Energi Internasio nal Medan.
- Sunarko, 2017. Petunjuk Praktis Budi Daya dan Pengolahan Kelapa Sawit. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Steel RGD dan JH. Torrie, 1994. Prinsip dan prosedur Statistik Suatu Pendekatan Biometrik. Gramedia Utama. Jakarta.
- Tan, KS, Abdullah, NAP, dan Hasan, M. 2023. Korelasi produksi daun dan pelepah dengan kinerja hasil awal kelapa sawit (2), 287–298.
- Utami, D., Siregar, A., dan Simanjuntak, R. 2023. Efektivitas mikoriza dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman perkebunan pada lahan masam. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(1), 45–53.
- Wahyudi, B., Susilawati, dan Sumadi. 2021. Analisis Komposisi Kimia dan Kadar Hara Pupuk Dolomit dari Beberapa Sumber di Lampung. *Jurnal Agrotropika*, 6(1), 1-7.
- Wardiana, E., Sutikno, dan Yuliana. 2020. Perbaikan Sifat Kimia Tanah Ultisol dengan Aplikasi Dolomit dan Pupuk Organik. *Jurnal Agroteknologi Terapan*, 1(2), 115-124.
- Wati, A. N., Susanti, I. W., dan Hadi, M. 2021. Peran Fungi Mikoriza Arbuskular dalam Peningkatan Agregasi Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Ultisol. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 45(1), 69-78.
- Weinberger, NV, CibilsStewart, X. , Brien, C. , Jewell, N. , Berger, B. , Cavagnar o, TR , Salomon, MJ , Mikhael, M. , Plett, JM , Plett, KL ,dan Powell, JR (2025). Fenotipe tanaman dan metabolomik terkait akar mengungkapkan wawasan tentang perlindungan patogen oleh beragam jamur mikoriza arbuskular . Tanaman ,*Manusia,Planet* , 7 (4), 1180 – 1194. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10627>
- Widiastuti, H., Suharyanto, A. Susanto, Sugiyono, Rais, dan Budi. 2006. Penilaian efektivitas jamur AM sebagai agen aktif pupuk hayati dan dalam kombinasi dengan Trichoderma sebagai pengendalian hayati untuk bibit kelapa sawit dalam produksi skala komersial. Prosiding Konferensi Kelapa Sawit Internasional 2000. Lembaga Penelitian Kelapa Sawit Indonesia.
- Widjajanti, H., Nugroho, A., dan Fadhillah, R. 2021. Peran mikoriza dalam meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman melalui simbiosis mutualistik. *Jurnal Biologi Tropika*, 21(2), 87–95.
- Yuliana, T., Suharjo, dan Purwanto, A. 2023. Pengaruh Dosis Dolomit terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Masam. *Jurnal Agro Bali*, 6(1), 1-9.
- Zainuddin, N., Keni, M. F., Ibrahim, S. A. S., dan Masri, M. M. M. 2022. Pengaruh biofertilizer terpadu dengan pupuk kimia terhadap pertumbuhan kelapa sawit dan keanekaragaman mikroba tanah. *Biokatalisis dan Bioteknologi Pertanian*, 39: 102237.
- Zhang, Y., Chen, L., dan Wang, J. 2024. *Mekanisme mobilisasi fosfor pada tanah masam yang diberi dolomit*. Science of The Total Environment, 905 , 1663