

KADAR HARA KELAPA SAWIT PADA LAHAN GAMBUT YANG DIAPLIKASI MIKORIZA

NUTRIENT LEVELS ON PEAT LANDS OIL PALM APPLIED BY MYCORRHIZA

Firlana¹, Nelvia¹, Delita Zul¹, dan Kumbara^{2*}

¹Magister Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

²Program Studi Pengelolaan Agribisnis, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Payakumbuh, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: barakum6@gmail.com

ARTICLE HISTORY:

Received: 10 August 2023

Peer Review: 3 October 2025

Accepted: 2 March 2025

KATA KUNCI:

Hara makro dan mikro, kelapa sawit, mikoriza, tanah gambut, umur tanam yang berbeda

KEYWORDS:

Different planting ages, macro and micro nutrients, mycorrhiza, oil palm, peat soil

ABSTRAK

Kesuburan tanah gambut tergolong rendah yang dicirikan dengan sifat kimia tanah antara lain pH yang rendah (masam), unsur hara makro (seperti K, Ca, Mg, P) dan mikro (seperti Cu, Zn, Mn, Bo) di tanah tergolong rendah hingga sangat rendah, sedangkan kapasitas tukar kation (KTK) memiliki nilai sangat tinggi, namun tingkat kejenuhan basa (KB) dari sangat rendah. Untuk meningkatkan ketersediaan hara dan penyerapan pada tanaman membutuhkan organisme mikoriza yang mampu meningkatkan daya tanaman dalam menyerap unsur hara. Penelitian bertujuan untuk menganalisis kadar unsur hara tanaman kelapa sawit yang ditanam di lahan gambut dengan pemberian mikoriza pada beberapa tingkat umur tanaman. Penelitian menggunakan metode survei dan sampel secara *purposive random sampling* pada umur tanam yang berbeda (1, 2, 3, 4 tahun) yang diaplikasi mikoriza diawal tanam. Sampel daun yang diambil untuk umur <3 tahun pada daun ke-9 dan daun ke-17 umur >3 tahun. Sampel diambil secara acak dan dianalisis di laboratorium serta analisis ANOVA dan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT). Parameter yang diamati meliputi unsur hara makro (N, P, K, Mg, Ca) dan mikro (B, Cu, Zn) pada daun. Hasil penelitian menunjukkan aplikasi mikoriza sangat nyata meningkatkan hara P daun pada umur 1 tahun serta peningkatan tertinggi hara N dan K dari perlakuan lainnya.

ABSTRACT

Peat soil fertility is classified as low which is identified by soil chemical properties including low pH (acid), macronutrients (such as K, Ca, Mg, P) and micro (such as Cu, Zn, Mn, and Bo) in soils classified as low to very low, the cation exchange capacity (CEC) has a very high value, despite of that the level of base saturation (BS) is very low. Increasing nutrient availability and absorption in plants requires mycorrhizal organisms that can increase the ability of plants to absorb nutrients. The research aims to analyze the nutrient levels of oil palm plants planted on peatlands by providing mycorrhiza at several levels of plant age. The study used a survey method and samples by *purposive random sampling* at different planting ages (1, 2, 3, and 4 years) that mycorrhiza was putting in at the beginning of planting. Leaf samples were collected at <3 years of age on the 9th and 17th leaves >3 years of age. Samples were taken randomly and analyzed in the laboratory using ANOVA analysis and the Least Significant Difference (LSD) follow-up test. Parameters observed included macro nutrients (N, P, K, Mg, Ca) and micro (B, Cu, Zn) in the leaves. The results showed that the application of mycorrhiza significantly increased P nutrients in leaves at the age of 1 year and the highest increases in N and K nutrients from other treatments.

1. PENDAHULUAN

Tanah gambut merupakan jenis tanah yang tergolong lahan marginal dengan tingkat kesuburan yang rendah hingga sangat rendah. Kondisi tanah dicirikan dengan tingkat kemasaman yang tinggi (pH masam), unsur hara makro (kalium, kalsium, magnesium, dan fosfor) dan mikro (tembaga, seng, dan mangan, boron) yang relatif rendah. Selain itu, tanah gambut memiliki asam-asam organik yang sangat tinggi dan beracun. Kapasitas tukar kation (KTK) sangat tinggi, namun kejenuhan basa (KB) sangat rendah. (Najiyati *et al.*, 2005). Asam-asam karboksil dan fenol serta derivatnya bersifat fitotoksik menjadi sumber utama kemasaman tanah gambut (Nurida *et al.*, 2011). Penurunan ketersediaan nutrisi pada tanah gambut mengakibatkan kadar hara menjadi rendah, sehingga pertumbuhan tanaman terhambat. Akibatnya, tanaman akan tumbuh kerdil, daun mengalami klorosis yaitu warna daun menjadi kuning hingga kering. Jika masalah nutrisi tidak diatasi, tanaman tersebut akan mati karena tidak dapat menjalankan fungsi-fungsi vitalnya dengan baik dan tumbuh dengan normal.

pH tanah gambut rendah hingga sangat rendah, disebabkan adanya asam-asam organik yang sangat tinggi, seperti asam humat dan fulvat (Permatasari *et al.*, 2021). Kondisi pH tanah yang rendah, dengan ini menyebabkan unsur-unsur seperti nitrogen (N), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), boron (Bo), tembaga (Cu), dan molybdenum (Mo) menjadi tidak tersedia bagi tanaman, hal ini disebabkan oleh tingginya rasio karbon (C) terhadap nitrogen (N) di dalam tanah (Najiyati *et al.*, 2005). Hasil analisa tanah gambut di perkebunan kelapa sawit Kabupaten Siak Sri Indrapura, Provinsi Riau menunjukkan pH dengan kategori sangat masam (3,30–3,40), kategori tinggi pada C-organik (52,13–53,36%), N-total (0,94–0,98%), P tersedia (60,70–65,40 ppm), KTK (92,06–97,03 me/100g), Mg-dd (2,42–3,61 me/100g). Namun kategori sedang hingga rendah pada KB (11,90–12,37%), Ca-dd (7,09–8,53 me/100g), K-dd (0,25–0,98 me/100g), Na-dd (0,27–0,36 me/100g) (Fahrozi *et al.*, 2013).

Pemanfaatan lahan gambut untuk perkebunan masih belum efisien akibat kesuburan yang rendah karena tingkat kemasaman tanah yang tinggi dan bersifat beracun bagi tanaman (Khotimah *et al.*, 2020). Secara umum, tanah gambut di Indonesia cenderung memiliki kesuburan jenis gambut oligotrofik yang tebal dan kurang subur dalam hal kandungan hara (Qadafi *et al.*, 2021). Hasil penelitian sebelumnya untuk tanaman kelapa sawit direkomendasikan dengan pemberian dosis pupuk anorganik per pokok : Urea 2,12 kg, SP36 1,66 kg, KCL KCL 2,25 kg (Permatasari *et al.*, 2021). Pemberian dan penambahan pupuk mikro yang mengandung unsur-unsur logam seperti Al, Ca, Mg, Si, Fe, Cu, Zn dan Mn sebagai kation polivalen sangat direkomendasikan untuk mengurangi efek beracun dan dampak buruk dari asam-asam organik (asam fenolat). Mikoriza Arbuskular (MA) berperan dalam meningkatkan serapan P dan unsur hara makro (N, K,) dan mikro (Zn, Co, S, Mo).

Hifa minimal mikoriza berkontribusi ke total akuisisi tanaman berkisar dari 13 hingga 20% P dan dari 16 hingga 25% Zn. Saat kondisi Zn normal, MA juga meningkatkan ketersediaan Cu di rizosfer, mengoptimalkan keseimbangan Cu:Zn pada pucuk, meningkatkan produksi biomassa inang dan Zn sebagai kontaminan umum pupuk fosfat (Ibiang *et al.*, 2018). Sehingga Zn terikat dan ditranslokasikan bersama dengan P ke dalam akar tanaman (Kothari *et al.*, 1991). Simbiosis mutualisme anatra MA dengan pupuk fosfat (P) berpengaruh nyata pada efisiensi pupuk P dan meningkatkan hara P tanaman. Hasil inokulasi *Glomus etunicatum* menghasilkan peningkatan kadar P-Total tertinggi (75,90%) (Trisilawati *et al.*, 2001). Untuk mengevaluasi kadar hara makro (N, P, K) dan mikro (Cu, Zn, B) kelapa sawit dengan pemberian mikoriza, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan beberapa tingkat umur tanam kelapa sawit.

Aplikasi mikoriza genus *Acaulospora* sp. dan *Gigaspora* sp. telah terbukti meningkatkan serapan hara makro (N, P, K) dan mikro (Cu, Zn, B) pada tanaman di lahan gambut (Turjaman *et al.*, 2006; Basyuni *et al.*, 2019). Namun, efektivitasnya dapat bervariasi tergantung tingkat umur

tanaman akibat perbedaan kebutuhan hara dan aktivitas mikoriza (Nurita *et al.*, 2020). Berdasarkan hal tersebut maka, penelitian bertujuan untuk menganalisis kadar unsur hara tanaman kelapa sawit yang ditanam di lahan gambut dengan pemberian mikoriza pada beberapa tingkat umur tanaman.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Perkebunan Kelapa Sawit GNI Palm Plantation di PT Gandaerah Hendana, Desa Ukui 2, Kecamatan Ukui, Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau. Penelitian dilakukan bulan Oktober 2022 hingga Januari 2023.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat untuk pengamatan lapangan antara lain peta tanah semi detail 1 : 80.000 GPS, kamera, ring sample, kantong plastik, peralatan tulis. Peralatan lain yang digunakan di laboratorium sebagai analisis unsur hara antara lain *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), *Flamephotometer*, timbangan analitik, oven, dan alat pendukung lainnya.

Bahan tanaman kelapa sawit DxP Socfindo MT Gano dari PT Socfin Indonesia yang ditanam pada Afdeling IX, berbagai umur masing-masing pada umur 1 tahun (Blok J09), umur 2 tahun (Blok J07), umur 3 tahun (Blok H07), umur 4 tahun (Blok H09) di lahan gambut (jenis gambut *hemist*, *haplohemist*). Peta Blok yang disurvei dan diambil sampel sesuai pada Peta Blok dan jenis tanah gambut.

Mikoriza jenis mikoriza yang digunakan tergolong dalam endomikoriza terdiri dari spesies : *Glomus manihotis* 651 spora/10g, *Glomus intraradices* 133 spora/10g, *Glomus Aggregatum* 95 spora/10g, *Acaulospora* sp. 215 spora/10g dan *Gigaspora* sp. 212 spora/10g. Pupuk mikro (CuSO₄, ZnSO₄, ZinCop, HGF Boron), makro (RP, NPK 15-15-6-4, Urea, MOP, Dolomite), *Trichoderma*, dan pupuk ekstra *Control Release Fertilizer* (CRF) diaplikasi sesuai dengan dosis dan pemupukan regular pada umur tanam. Sampel daun kering kelapa sawit dan akar tanaman sebagai bahan untuk dianalisa di Laboratorium. Histori analisa tanah awal lengkap sebelum pemberian perlakuan mikoriza (analisa tanah tahun 2017).

2.3 Metode Penelitian

Penelitian metode survei dan sampel secara *purposive random sampling* untuk mengumpulkan data dan sampel tanaman kelapa sawit dari sampel pokok yang dipilih secara acak. Percobaan dilakukan pada umur tanam berbeda (1, 2, 3, 4 tahun) yang diaplikasi mikoriza dengan dosis 300 gr/pokok bersamaan dengan *Trichoderma* dosis 500 g/pokok ditabur di lubang tanam. Aplikasi pupuk makro dan mikro secara regular diberikan dengan cara ditabur dipermukaan sesuai dosis rekomendasi. Pada masing-masing Blok ditentukan sebanyak 5 titik sampel pokok secara acak. Pengambilan tanah gambut pada kedalaman 20-40 cm dari masing-masing pokok sampel kemudian dijadikan menjadi satu bagian secara komposit.

Parameter yang diamati meliputi unsur hara makro (N, P, K, Mg, Ca), mikro (B, Cu, Zn) pada daun, serta analisa awal (2017) dan akhir tanah (2022). Metode analisa data dari pengamatan kadar hara dianalisa dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) menggunakan *Genstat General Statistics Software* dan analisa deskriptif dengan membandingkan data standar. Sampel pokok yang diambil secara acak dan dianalisis di laboratorium serta analisis lanjut uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT).

Sampel daun yang diambil untuk umur <3 tahun pada daun ke-9 dan daun ke-17 diumur >3 tahun dengan banyak sampel yang diambil adalah 10 sampel pokok/perlakuan. Kadar hara sampel daun dianalisis dengan menggunakan metode pengabuan (destruksi) basah. Analisis

kadar kimia tanah dilakukan dengan berpedoman pada juknis analisa tanah, tanaman oleh Balai Penelitian Tanah 2009.

2.4 Pemeliharaan Tanaman

Aplikasi mikoriza dilakukan diawal tanam dengan dosis 300 g/pokok bersamaan dengan *Trichoderma* dosis 500 g/pokok ditabur di lubang tanam pada beberapa tingkat umur yaitu umur 1, 2, 3, 4 tahun sedangkan umur 16 tahun tidak diaplikasi mikoriza. Aplikasi pupuk makro dan mikro diberikan dengan cara ditabur dipermukaan secara berkala masing-masing dengan dosis rata-rata per tahun per pokok sebagai berikut CuSO_4 : 0,08 kg, ZnSO_4 : 0,09 kg, ZinCop : 0,09 kg, HGF Boron : 0,10 kg. Pupuk mikro diaplikasi per 6 bulan. NPK 15-15-6-4 : 4,83 kg per 3 bulan, RP : 0,96 kg per 6 bulan, TSP : 1 kg satu kali tahun, Urea : 1,52 kg dan MOP : 1,76 kg per 3 bulan, Dolomite : 0,96 kg per 6 bulan. Pemupukan ekstra khusus areal TBM (tanaman belum menghasilkan) dengan *Control Release Fertilizer* (CRF): 3 kg diaplikasi per 6 bulan selama tahun 2021 dan 2022 sistem *pocket* (tugal).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kadar Hara Tanah

Analisa kimia tanah awal (sebelum aplikasi mikoriza) dan setelah aplikasi pada beberapa umur tanam pada penyajian Tabel 1. Berdasarkan uraian data Tabel 1 unsur hara tanah, secara umum hasil analisis menunjukkan perbaikan sifat kimia tanah pada semua umur tanaman terhadap parameter rasio C/N, P_2O_5 , K-dd, Ca-dd, dan KB. Aplikasi mikoriza pada tanaman kelapa sawit telah terbukti memberikan perbaikan signifikan pada berbagai sifat kimia tanah, seperti rasio C/N, kandungan P_2O_5 , K-dd, Ca-dd, dan kapasitas tukar kation (KTK). Mikoriza membantu menyeimbangkan rasio C/N dengan meningkatkan kandungan karbon organik dan nitrogen total dalam tanah, yang mendukung proses mineralisasi dan pelepasan hara. Selain itu, hifa mikoriza memperluas area penyerapan akar, sehingga meningkatkan ketersediaan P_2O_5 dari 327,90 ppm menjadi 630,20 ppm pada tahun pertama, sebelum akhirnya turun seiring waktu. Peningkatan ini penting karena fosfor berperan dalam pertumbuhan akar dan metabolisme tanaman (Rahmawati et al., 2018).

Unsur hara lain seperti K-dd dan Ca-dd juga meningkat setelah aplikasi mikoriza. K-dd meningkat dari 0,51 me/100g menjadi 1,41 me/100g pada tahun ketiga, sedangkan Ca-dd mengalami peningkatan dari 5,28 me/100g menjadi 15,17 me/100g. Mikoriza berkontribusi dalam penyerapan unsur-unsur ini, yang berperan dalam memperkuat struktur sel tanaman dan meningkatkan daya tahan terhadap cekaman lingkungan. Selain itu, kapasitas tukar kation (KTK) yang sebelumnya berkisar 55,33 me/100g mengalami perubahan menjadi 57,82 me/100g pada tahun ketiga, menunjukkan peningkatan kemampuan tanah dalam menyimpan dan menyediakan hara. Kapasitas basa (KB) juga mengalami peningkatan dari 11,87% menjadi 21,60% pada tahun kedua, yang menunjukkan efektivitas mikoriza dalam meningkatkan efisiensi pemupukan. Perbaikan ini berkontribusi pada peningkatan kesuburan tanah dan efisiensi penyerapan hara oleh tanaman.

Kandungan C-organik dan C/N rasio dalam tanah cenderung meningkat, sementara N-Total menurun (kecuali umur 3 tahun) pada perlakuan mikoriza. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi mikoriza dapat meningkatkan kualitas bahan organik dalam tanah. Mikoriza mampu meningkatkan aktivitas bakteri dan fungi yang dapat mendegradasi senyawa organik kompleks dan menghasilkan senyawa organik sederhana yang mudah terdegradasi. Hal ini menyebabkan perbaikan bahan organik dan menurunkan rasio C/N (Daryanto et al., 2020). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa mikoriza dapat memperbaiki serta meningkatkan agregasi, aktivitas mikroba tanah, sehingga meningkatkan serapan serta unsur hara bagi tanaman (Singh et al., 2019).

Tabel 1. Sifat Kimia Tanah Awal (Sebelum Aplikasi Mikoriza) dan Setelah Aplikasi pada Beberapa Umur Tanam

Parameter	Sebelum Aplikasi Mikoriza (tahun 2017)				Sebelum Aplikasi Mikoriza (tahun 2022)			
	1 Tahun	2 Tahun	3 Tahun	4 Tahun	1 Tahun	2 Tahun	3 Tahun	4 Tahun
pH	3.97 SM	3.97 SM	3.81 SM	3.81 SM	3.43 SM	3.43 SM	3.71 SM	3.33 SM
C-Org (%)	52.80 ST	52.97 ST	52.90 ST	52.90 ST	56.20 ST	56.20 ST	52.60 ST	55.80 ST
N Total (%)	1.42 ST	1.42 ST	0.95 T	0.95 T	0.66 T	0.66 T	1.11 ST	0.98 T
C/N	37.18 ST	37.18 ST	55.68 ST	55.68 ST	85.15 ST	85.15 ST	47.39 ST	65.65 ST
P ₂ O ₅ (ppm)	327.90 ST	327.90 ST	345.50 ST	345.50 ST	630.20 ST	630.20 ST	132.80 ST	189.90 ST
AL + H (me/100g)	6.10 S	6.10 S	6.80 S	6.80 S	7.62 S	7.62 S	13.30 S	9.59 S
K-dd (me/100g)	0.51 T	0.51 T	0.40 S	0.40 S	0.59 T	0.59 T	1.41 ST	0.63 T
M-gdd (me/100g)	0.78 R	0.78 R	1.21 S	1.21 S	0.83 R	0.83 R	1.51 S	1.33 S
Ca-dd (me/100g)	5.28 ST	5.28 ST	4.33 ST	4.33 ST	8.86 ST	8.86 ST	9.17 ST	8.90 ST
KTK (me/100g)	55.33 ST	55.33 ST	54.95 ST	54.95 ST	52.22 ST	52.22 ST	57.82 ST	55.66 ST
KB (%)	11.87 SR	11.87 SR	5.42 SR	5.42 SR	21.60 R	21.60 R	10.53 SR	12.68 SR

Keterangan : SM = Sangat Masam, SR = Sangat Rendah, R = Rendah, S = Sedang, T = Tinggi, ST = Sangat Tinggi.

C-Organik dalam tanah cenderung meningkat (kecuali umur 3 tahun) dengan aplikasi mikoriza. Peningkatan C-organik dalam tanah dapat dijelaskan oleh peran mikoriza dalam meningkatkan aktivitas bakteri dan fungi pada tanah. Mengacu pada literatur dari Basri (2018), aplikasi mikoriza pada tanaman sawit memiliki mekanisme utama dalam meningkatkan serapan hara dan mengaktifasi mikroorganisme tanah yang menguntungkan. Mikoriza berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara, terutama fosfor (P), nitrogen (N), dan kalium (K), dengan memperluas jangkauan akar tanaman melalui hifa eksternal yang mampu menjangkau wilayah tanah yang lebih luas. Hal ini terbukti dalam penelitian yang menunjukkan peningkatan signifikan kandungan P₂O₅ setelah aplikasi mikoriza, yang menandakan efisiensi dalam penyerapan hara esensial (Shuhada *et al.*, 2020).

Selain itu, mikoriza mengaktifasi bakteri pelarut fosfat (*Pseudomonas* dan *Bacillus*) yang bekerja secara sinergis dalam melarutkan fosfat yang sebelumnya tidak tersedia bagi tanaman. Dengan meningkatnya aktivitas bakteri ini, ketersediaan fosfat menjadi lebih tinggi, sehingga mendukung pertumbuhan optimal tanaman sawit. Mikoriza juga mendukung keberadaan fungi dekomposer yang berperan dalam proses mineralisasi bahan organik, yang membantu pelepasan kalium dan kalsium dalam tanah, sebagaimana terlihat dari peningkatan K-dd dan Ca-dd dalam hasil penelitian.

Penyerapan nutrisi, mikoriza juga berperan dalam memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan agregasi partikel tanah. Aktivitas hifa mikoriza membantu membentuk agregat tanah yang lebih stabil, menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pertumbuhan mikroorganisme tanah. Perubahan ini terlihat dari peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) setelah aplikasi mikoriza, yang mencerminkan kemampuan tanah dalam mempertahankan unsur hara bagi tanaman. Lebih lanjut, mikoriza menginduksi resistensi tanaman terhadap stres lingkungan, termasuk kondisi pH tanah yang lebih rendah. Penurunan pH yang terjadi setelah aplikasi mikoriza kemungkinan besar berkaitan dengan eksudat akar dan aktivitas mikroba yang mengubah keseimbangan kimia tanah. Meskipun pH lebih rendah, tanaman tetap menunjukkan pertumbuhan yang baik dalam membantu tanaman sawit beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang kurang ideal (Kumbara *et al.*, 2024).

Aktivitas bakteri dan fungi yang di proses mampu mendegradasi bahan organik dan menghasilkan senyawa organik untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Jing *et al.*, 2020). N-Total dalam tanah meningkat pada umur 3 tahun dengan aplikasi mikoriza, namun di umur 4 tahun N-total mengalami penurunan. Peningkatan N-Total dalam tanah mampu dijelaskan oleh salah satu peran mikoriza dalam meningkatkan aktivitas bakteri yang dapat memfiksasi dan menyediakan N dari udara bebas dan membentuk senyawa N organik pada tanah (Adeyemo *et al.*, 2020). Penurunan kadar nitrogen total (N-total) dalam tanah pada tahun keempat setelah aplikasi mikoriza dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah hilangnya nitrogen melalui proses pencucian

(*leaching*) dan penguapan. Nitrogen, terutama dalam bentuk nitrat, mudah larut dalam air dan rentan tercuci ke lapisan tanah yang lebih dalam, terutama pada kondisi curah hujan tinggi (Firlana et al., 2025). Selain itu, nitrogen juga dapat hilang melalui proses denitrifikasi, dimana mikroorganisme tanah mengubah nitrat menjadi gas nitrogen yang kemudian dilepaskan ke atmosfer. Proses-proses ini dapat mengurangi kandungan N-total dalam tanah seiring waktu (Rajmi & Refliaty, 2018).

Kandungan P-tersedia (P_2O_5) dalam tanah meningkat drastis pada semua umur perlakuan yang diaplikasi mikoriza. Peningkatan P dalam tanah dapat dijelaskan oleh peran mikoriza dalam meningkatkan aktivitas fungi yang mampu mendegradasi senyawa organik kompleks dan menghasilkan senyawa organik sederhana yang mengandung fosfor. Senyawa organik tersebut kemudian diubah menjadi senyawa anorganik fosfat diserap oleh tanaman untuk pertumbuhan (Yao et al., 2021).

Aplikasi MA selama 1 hingga 4 tahun justru menurunkan status pH tanah yang cenderung lebih masam diduga akibat peningkatan Al+H yang terjadi. Hal ini mungkin disebabkan peran mikoriza dalam meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman sehingga sangat mempengaruhi aktivitas pelepasan ion H^+ ke dalam tanah melalui fotosintesis (Li et al., 2019). Pada parameter basa tukar (K, Ca) dan KB pada semua umur yang diaplikasi mikoriza terlihat menunjukkan perbaikan. Mg juga cenderung meningkat kecuali umur 3 tahun. KTK terjadi perbaikan pada umur 1 dan 2 tahun sementara umur 3 dan 4 tahun relatif masih sangat tinggi (>55 me/100g). Hal ini disebabkan aplikasi mikoriza juga dapat berperan dalam memperbaiki KTK tanah yang disebabkan oleh peran mikoriza dalam membentuk struktur tanah yang lebih baik (Zhang et al., 2021).

Peningkatan basa tukar (K, Mg, Ca) berpengaruh secara langsung pada peningkatan KB diduga oleh sifat kimia tanah gambut. Menurut Suratman et al. (2019), peningkatan kation basa dapat meningkatkan kejenuhan basa (KB) pada tanah gambut. Tanah gambut umumnya memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, namun kejenuhan basanya rendah karena dominasi kation asam seperti hidrogen (H^+) dan aluminium (Al^{3+}). Penambahan kation basa seperti kalium (K^+), magnesium (Mg^{2+}), dan kalsium (Ca^{2+}) dapat menggantikan kation asam pada kompleks pertukaran kation, sehingga meningkatkan kejenuhan basa tanah. Hal ini sejalan dengan temuan yang menyatakan bahwa perubahan pengelolaan dan penggunaan lahan dapat mempengaruhi KTK dan KB pada tanah gambut, terkait dengan kandungan basa dapat tukar dan tingkat kemasaman tanah (pH). Selain itu adanya faktor dan kondisi kimia tanah sangat kompleks dan peran mikoriza sangat bervariasi terhadap penyerapan hara tergantung lingkungan serta kondisi tanah (Chen et al., 2020).

Menurut Smith dan Read (2010) aplikasi mikoriza meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dengan cara membentuk hubungan mutualistik antara fungi dengan sistem perakaran. Mikoriza sangat membantu dalam penyerapan air dan nutrisi, khususnya unsur hara N dan P serta produktivitas bagi tanaman.

3.2 Kadar Hara Makro dan Mikro pada Daun

Aplikasi mikoriza pada tanaman dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, terutama nitrogen (N). Secara mekanismenya, dengan melakukan simbiosis antara akar tanaman dan mikoriza memungkinkan jaringan hifa yang halus menjangkau area tanah yang lebih luas, sehingga memperbesar kapasitas serapan air dan nutrisi. Peningkatan serapan air ini turut membawa unsur hara yang larut, seperti nitrogen, kalium (K), dan sulfur (S), yang pada akhirnya meningkatkan ketersediaan dan pemanfaatan nutrisi bagi tanaman (Harahap et al., 2018).

Hasil sidik ragam Tabel 2 berikut menunjukkan bahwa pemberian mikoriza berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan kadar hara daun P pada perlakuan 1 tahun setelah diaplikasi mikoriza, sedangkan unsur hara yang lainnya tidak berbeda nyata. Walau berbeda tidak nyata ada kecenderungan peningkatan unsur hara makro (N, K) pada blok 1 tahun setelah diaplikasi mikoriza. Hasil analisis lanjut dengan BNT pada taraf nyata 5% dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar Hara Makro dan Mikro Daun Kelapa Sawit pada Berbagai Umur Tanaman yang Diaplikasi Mikoriza

Parameter	Umur tanaman (diaplikasi mikoriza diawal tanam)			
	1 tahun	2 tahun	3 tahun	4 tahun
N (%)	2,55	2,54	2,55	2,55
P (%)	0,213b	0,188a	0,179a	0,186a
K (%)	1,33	1,17	1,15	1,25
Mg (%)	0,22	0,28	0,20	0,21
Ca (%)	0,51	0,53	0,46	0,45
B (ppm)	16,56	19,62	20,10	41,68
Cu (ppm)	2,84	4,46	5,16	3,72
Zn (ppm)	9,78	10,58	15,56	12,38

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf kecil pada baris yang sama hasil tidak berbeda tidak nyata sesuai uji lanjut BNT pada taraf nyata 5%.

Hasil uji pada Tabel 2 perlakuan 1 tahun setelah aplikasi mikoriza terjadi peningkatan unsur hara N, P, K dibanding perlakuan lainnya. Peningkatan tertinggi Mg pada perlakuan 2 tahun setelah aplikasi mikoriza walau berbeda tidak nyata. Perlakuan 3 tahun setelah aplikasi mikoriza menunjukkan kecenderungan peningkatan N, dan unsur hara mikro tertinggi (Cu dan Zn). Sementara 4 tahun setelah aplikasi mikoriza memperlihatkan peningkatan unsur hara N dan Boron. Respon unsur hara daun pada penelitian ini ditunjukkan pada perlakuan 1 tahun setelah aplikasi mikoriza dengan peningkatan unsur hara P, walaupun peningkatan N dan K tidak nyata berdasarkan uji secara statistik. Sesuai penelitian Margaretha *et al.*, (2017 dalam Lestari *et al.*, 2018) menyebutkan pengaplikasian MA terhadap tanaman selain membantu dalam meningkatkan unsur fosfor (P) dan unsur hara nitrogen (N) dan kalium (K) sebagai unsur hara dalam pertumbuhan tanaman.

Parameter kadar hara N walau berbeda tidak nyata pada semua umur tanam yang diuji, namun umur 1 tahun menunjukkan unsur hara tertinggi dengan nilai 2,55% yang tergolong optimum (optimum <6 tahun : 2,40%-2,80%) pada tanaman yang diaplikasi mikoriza. Sesuai pada pengamatan hasil parameter hara P pada perlakuan mikoriza memberikan pengaruh secara nyata terhadap kandungan P daun pada umur 1 tahun dengan kategori *excess* (berlebih) (0,213%) (optimum <6 tahun : 0,150%-0,180%). Hasil sesuai penelitian yang dilakukan Wang *et al.* (2021) bahwa aplikasi mikoriza meningkatkan ketersediaan P pada tanah dan meningkatkan serapan P tanaman.

Hasil analisis parameter K menunjukkan bahwa tanaman yang diaplikasi mikoriza memiliki kandungan K tertinggi dengan kategori berlebih (1,33%) (optimum <6. tahun : 0,90%-1,20%). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Li *et al.*, (2021) yang menyatakan aplikasi mikoriza dapat meningkatkan penyerapan kalium pada tanaman. Pada hasil analisis parameter Mg daun memperlihatkan status hara daun tertinggi pada perlakuan 2 tahun setelah aplikasi (2,80%) pada kategori optimum (optimum <6 tahun Mg : 0,25%-0,40). Infeksi MA mampu meningkatkan nutrisi di dalam tanah, terutama hara makro (P, Ca, N, K, Mg) dan mikro (Cu, Mn) (Aldeman *et al.*, 2006 dalam Siregar, 2017).

Status Ca daun memperlihatkan nilai tertinggi pada perlakuan 2 tahun (0,53%). Namun pada semua umur tanaman masih cenderung optimum (0,45%-0,53%) (optimum <6 tahun Ca : 0,50%-0,75%). Ketersediaan Ca relatif lebih rendah dengan aplikasi mikoriza. Sesuai hasil penelitian Nelvia *et al.* (2010) bahwa kation Ca-dd tergolong sangat rendah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Penyerapan hara daun Cu (5,16 ppm) dan Zn (15,56 ppm) terjadi peningkatan tertinggi pada usia 3 tahun dengan kategori optimum (optimum <6 tahun Cu : 5-8 ppm, Zn : 12-18 ppm). Peningkatan Boron tertinggi ditunjukkan pada blok aplikasi mikoriza usia 4 tahun dengan kategori berlebih (41,68 ppm) (optimum <6 tahun B: 15-25 ppm). Subiksa (2002 dalam Nelvia *et al.*, 2010) menyatakan MA mampu berasosiasi hampir dominan pada seluruh tanaman (90%) terutama tanaman perkebunan

dan membantu meningkatkan P pada lahan miskin hara (lahan marginal), meningkatkan unsur hara lain seperti hara makro (N, K) dan mikro (S, Zn, Cu, Si). MA juga mampu meningkatkan unsur mikro Cu dan Zn. Proses ini dilakukan dengan pemecahan senyawa polifosfat menjadi fosfat organik dalam arbuskul. Proses selanjutnya dilepaskan ke dalam sel tanaman inang. Pelepasan senyawa ke dalam sel inang mampu meningkatkan nutrisi tanaman menjadi tersedia dan diperbaiki (Killham, 1994 dalam Anisa dan Panjaitan, 2022).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, aplikasi mikoriza pada lahan gambut terbukti secara signifikan meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman kelapa sawit pada berbagai tingkat umur tanaman. Peningkatan paling nyata terjadi pada unsur hara makro, terutama fosfor (P), yang menunjukkan peningkatan signifikan pada daun kelapa sawit di umur satu tahun. Selain itu, nitrogen (N) dan kalium (K) mengalami peningkatan tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya pada semua tingkat umur tanaman yang diuji.

Unsur hara lain seperti kalium (K), magnesium (Mg), dan kalsium (Ca) juga meningkat, yang berkontribusi terhadap peningkatan kejenuhan basa tanah. Sementara itu, pengaruh mikoriza terhadap unsur mikro menunjukkan peningkatan kadar boron (B), tembaga (Cu), dan seng (Zn) dalam daun, meskipun peningkatannya tidak setinggi unsur makro. Hal ini menunjukkan bahwa mikoriza lebih efektif dalam meningkatkan serapan unsur hara makro dibandingkan unsur mikro. Faktor lain seperti kondisi tanah gambut dengan kejenuhan basa rendah dan kapasitas tukar kation yang tinggi kemungkinan menjadi penyebab keterbatasan serapan unsur mikro. Secara keseluruhan, aplikasi mikoriza meningkatkan efisiensi serapan unsur hara tanaman kelapa sawit di lahan gambut, terutama untuk unsur makro yang esensial bagi pertumbuhan tanaman. Dampak yang paling terlihat terjadi pada umur satu tahun, menunjukkan bahwa mikoriza lebih efektif pada tahap awal pertumbuhan tanaman.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dipersembahkan kepada jajaran manajemen PT Gandaerah Hendana dan Departemen Agronomi atas izin dan dukungannya untuk melakukan penelitian dan mempresentasikan hasil Tesis ini hingga selesai.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anisa, D.N., dan P.S.R. Ingesti. 2022. Infektivitas mikoriza tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jack.) yang terserang ganoderma. *Jurnal Ilmu Pertanian Tropika dan Subtropika*. 7(1): 1 – 8.
- Adeyemo, J.T., O.A. Olatunji, & F.M. Shuaib. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil nutrient availability: A review. *Bioremediation and Biodegradation*. 11(1): 1-11.
- Basri, A.H.H. 2018. Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Agrica Ekstensia*. 12(2): 74-78.
- Chen, X., Y. Peng, B. Chen, & Y. Yang. 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on soil properties and plant growth: A meta-analysis. *Ecological Engineering*. 142:105649.
- Daryanto, S., L. Wang, & P.A. Jacinthe. 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on soil organic matter and greenhouse gas emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 290: 106749.
- Fahrozi O., B.N. Idwar. 2013. Analisis karakteristik lahan gambut di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau. <https://repository.unri.ac.id>. Diakses tanggal : 30 Oktober 2022.
- Firlana, F., N. Nelvia, D. Zul, & K. Kumbara. 2025. Pertumbuhan dan hasil kelapa sawit di lahan gambut yang diaplikasi mikoriza. *Jurnal Agrotek Tropika*. 12(4): 777–785.

- Jing, X., I.R. Sanders, Z. He, X. Wei, & F. Zhang. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi differ in their ability to regulate the expression of phosphate transporters in maize (*Zea mays* L.). *Mycorrhiza*. 30(4): 363-372.
- Harahap, L.H., A.S. Hanafiah, & H. Guchi. 2018. Efektifitas pemberian mikoriza terhadap serapan hara N dan P tanaman karet (*Hevea brassiliensis* Muell. Arg.) pada lahan dengan cekaman kekeringanyang telah diberi bahan organik di Desa Aek Godang Kecamatan Hulu Sihapas Kabupaten Padang Lawas Utara. *Jurnal Agroteknologi*. 6(1): 167-173.
- Ibiang, Y.B., H. Innami & K. Sakamoto. 2018. Effect of excess zinc and arbuscular mycorrhizal fungus on bioproduction and trace element nutrition of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Micro-Tom). *Journal Soil Science and Plant Nutrition*. 64(3):342-351.
- Kothari S.K, H. Marschner, and V. Romheld. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Journal Plant and Soil*. 131: 177-185.
- Khotimah, S., Suharjono, T. Ardyati, Y. Nurani. 2020. Isolation and identification of cellulolytic bacteria at fibric, hemic and sapric peat in Teluk Bakung Peatland, Kubu Raya district, Indonesia. *Biodiversitas*. 21(5):2103-2112.
- Kumbara, K., F. Firlana, & J. Supriatna. 2024. Evaluasi kajian oil extraction rate (OER) optimum sebagai standar panen kelapa sawit. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*. 12(1): 19-28.
- Lestari, S.U., Muryanto, dan E. Mutryarny. 2018. Efisiensi pupuk posfat akibat kombinasi inokulasi mikoriza arbuskula (FMA)-SP-36 terhadap arsitektur akar kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di main nursery. *Jurnal Ilmiah Pertanian*. 15(1): 13-22.
- Li, H., X. Zhang, M. Lu, X. Sun, & C. Zhang. 2019. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on soil acidity and soil organic carbon content in a long-term experiment. *Plant and Soil*. 436(1-2): 77-91.
- Najiyati, S., L. Muslihat, dan I.N.N. Suryadiputra. 2005. *Panduan Pengelolaan Lahan Gambut Untuk Pertanian Berkelanjutan*. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor.
- Nelvia, A.T. Maryani, dan W.F. Muda. 2010. Aplikasi mikoriza dan fosfat alam pada medium gambut untuk meningkatkan pertumbuhan bibit tanaman jarak pagar. *Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR*. Pekanbaru 29-30 Juni 2010.
- Nurida, L. Neneng, A. Mulyani, dan F. Agus. 2011. *Pengelolaan Gambut Berkelanjutan*. Balai Penelitian Tanah. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Permatasari, A. Nafa, D. Suswati, B. Feira, Arief, A. Aspan, dan A. Akhmad. 2021. Identifikasi beberapa sifat kimia tanah gambut pada kebun kelapa sawit rakyat di Desa Rasau Jaya II Kabupaten Kubu Raya. Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura. *AGRITECH*. XXIII(2).
- Qadafi, M., S. Notodarmojo, Y. Zevi. 2021. Performance of microbubble ozonation on treated tropical peat water: effects on THM4 and HAA5 precursor formation based on DOM hydrophobicity fractions. *Chemosphere*. 279:130642.
- Rahmawati, R., P.E. Putir, M. Damiri, Y. Tanduh, Nursiah. 2020. Keragaman fungi mikoriza arbuskula (FMA) di lahan gambut konversi alam menjadi perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Hutan Tropika (Tropical Forest Journal)*. XV(1): 8-19.
- Rajmi, S.L., M. Margaretha, & R. Refliati. 2018. peningkatan ketersediaan P ultisol dengan pemberian fungi mikoriza arbuskular. *Jurnal Agroecotania: Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*. 1(2): 42-48.
- Siregar, N. 2017. Infeksi fungi mikoriza arbuskula pada akar tanaman kelapa sawit (Afdeling II dan III di PTPN III Kebun Batang Toru). *Jurnal Education and development STKIP Tapanuli Selatan*. 6(4): 31-33.

- Suratman, S., W. Widiatmaka, B. Pramudya, M.Y.Z. Purwanto, & F. Agus. 2019. Variasi karakteristik biofisik lahan gambut dengan beberapa penggunaan lahan, di Semenanjung Kampar, Provinsi Riau. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 43(2): 97-108.
- Smith, S.E., & D.J. Read. 2020. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press.
- Trisilawati, O., T. Supriatun, dan I. Indrawati. 2001. Pengaruh mikoriza arbuskula dan pupuk fosfat terhadap pertumbuhan jambu mente pada tanah podsolik merah kuning. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, Bogor. *J. Biol. Indon*. III(2): 91-98.
- Wang, Y., J. Li, X. Zhang, J. Li, & S. Wang. 2021. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and phosphorus uptake of maize in a calcareous soil with low available phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 52(12): 1458-1471.
- Wang, X., L. Wang, X. Zhang, G. Liu, Y. Chen, & Q. Zhang. 2022. Mycorrhizal associations enhance the growth and stress tolerance of plants under different environmental conditions. *Frontiers in Plant Science*. 12(804): 1-20.
- Yao, Q., L. Yang, X. Zheng, Z. Huang, X. Lin, & J. Yuan. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance phosphorus availability to crops by promoting the transformation of organic phosphorus in soil: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21(1): 1-14.
- Zhang, Q., L. Zhang, W. Zhou, & J. Liu. 2021. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on soil nutrients, enzyme activities, and maize growth in three soil types. *PeerJ*. 9: e11693.