

## KEANEKARAGAMAN CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULA INDIGENOUS PADA PERKEBUNAN KELAPA SAWIT RAKYAT

### *Diversity of Indigenous Mycorrhizal Arbuscular Fungi at Different Oil Palm Smallholder Plantation*

Suprih Wijayani<sup>1\*</sup> dan Herry Wirianata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Stiper  
Jalan Nangka II, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta

Alamat korespondensi: wiwik.swijayani@gmail.com

#### ABSTRAK

Cendawan mikoriza arbuskula (CMA) mempunyai beragam peran dalam banyak agroekosistem, termasuk perkebunan kelapa sawit. CMA menjadi bagian strategis dalam budidaya kelapa sawit secara berkelanjutan, termasuk perkebunan rakyat. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap diversitas dan populasi CMA dalam hubungan dengan sifat tanah perkebunan rakyat. Sampel tanah komposit diambil dari zona perakaran kelapa sawit sedalam 5-20 cm pada 6 lokasi perkebunan rakyat yang berbeda. Isolasi dan kepadatan spora CMA ditentukan dengan metode tuang saring dilanjutkan dengan identifikasi genus dan observasi kolonisasi kelapa sawit. Sifat tanah diamati untuk menentukan status hara, kandungan bahan organik, pH dan KPK. Hasil penelitian menunjukkan diversitas CMA di perkebunan rakyat rendah, hanya ditemukan 3 genus dengan kepadatan yang berbeda. *Acaulospora* sp. ditemukan pada semua kebun dengan kepadatan tertinggi dan *Glomus* sp. dengan kepadatan rendah, sedangkan *Gigaspora* sp. jarang ditemukan. Spora *Acaulospora* sp. dan *Glomus* sp. melimpah pada tanah masam dengan kandungan bahan organik rendah. Spora CMA tidak ditemukan pada tanah yang mempunyai pH netral dan kandungan bahan organik, P total dan tersedia, Fe dan Zn yang tinggi dan sering kali tergenang (kebun Sungai Kupang). *Acaulospora* sp. dan *Glomus* sp. berpotensi besar menjadi pupuk hayati untuk perkebunan kelapa sawit rakyat, terutama pada tanah yang kurang subur.

Kata kunci : sifat tanah, perkebunan sawit rakyat, diversitas, FMA

#### ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) play a significant role in various agroecosystem, such as oil palm plantation. AMF became strategic component of sustainable oil palm cultivation, including smallholder plantation. The objective of research was to reveal the AMF diversity and population in relation to soil properties. The composite soil samples were taken from the root zone of oil palm with 5-20 cm in depth collected from six different plantation sites. The isolation and density of AMF spores were determined by screen pour method followed by genus identification and observation of oil palm root colonization. Soil properties were observed to determine nutrient status, organic matter content, pH and cation exchangeable capacity. The results showed that the diversity of AMF in smallholder plantations was only found in three genera with different densities. *Acaulospora* sp was found in all soil sample with the highest density and *Glomus* sp. with the lowest density, whereas *Gigaspora* sp. was rarely found. *Acaulospora* and *Glomus* spores are abundant in acid soils with low organic matter content. AMF spores are not found in soils that have neutral pH and higher in organic matter content, total and available P, Fe and Zn and prolonged flooding soil condition such as in Sei Kupang plantation. Both *Acaulospora* sp. and *Glomus* sp. have great potential to become biofertilizers for oil palm smallholder, especially on less fertile soils.

Key words : soil properties, oil palm smallholder plantation, AMF diversity

#### PENDAHULUAN

Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 16,34 juta hektar, 6,55 juta hektar merupakan perkebunan rakyat (PR) yang produksinya masih di bawah

potensi produksinya. Ada *yield gap* 11 ton tandan buah segar/ha/tahun dari *potential yield* 25 ton tandan buah segar /ha/tahun. Faktor penyebabnya beragam, mulai kesuburan tanah, kultur teknis, hingga

pengaruh iklim yang semakin besar kontribusinya di era pemanasan global ini. Dampak faktor tersebut lebih besar di PR daripada perkebunan besar, sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi akibat tersebut. Pengelolaan Sawit Rakyat Berkelanjutan antara lain berhubungan dengan konservasi sumber daya alam dan keanekaragaman hayati, termasuk mikroorganisme tanah.

Mikoriza yang merupakan bentuk asosiasi antara fungi dan perakaran tumbuhan, diketahui mempunyai peranan besar dalam produksi biomassa tanaman dan kesuburan tanah. Simbiosis mikoriza arbuskula ditemukan pada 250.000 spesies tumbuhan. Namun hanya 150-200 spesies CMA yang dapat diidentifikasi berdasarkan morfologinya, namun diperkirakan terdapat jumlah yang lebih banyak daripada jumlah tersebut (Field et al., 2020; Soka & Ritchie, 2014). Mikoriza arbuskula merupakan komponen kunci ekosistem tanaman-tanah yang berkelanjutan, karena berperan penting dalam akuisisi hara tanaman, keanekaragaman tanaman dan siklus hara (Helena Devi et al., 2021). CMA tersebar luas pada berbagai ekosistem (Silva et al., 2014). Keberhasilan simbiosis tersebut dapat memperbaiki status keharaan tanaman dan mengurangi penggunaan pupuk P, K, Ca, Mn (Khriea, 2019). Peningkatan serapan hara oleh akar bermikoriza dapat memperbaiki toleransi

terhadap cekaman abiotik (Willis et al., 2013). Potensi dan pemanfaatan CMA untuk memperbaiki toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik telah diketahui sejak lama (Smith & Reid, 2008) dan aplikasinya terus menerus dalam pertanian menunjukkan peranan yang luar biasa untuk kualitas tanah dan produksi tanaman dalam kondisi lingkungan yang stres (Lal, 2009; Smith & Read, 2008).

Diversitas dan populasi CMA dipengaruhi oleh faktor tanah, iklim, dan kultur teknis. Gangguan fisik tanah pada kedalaman 20-30 cm mempengaruhi potensi inokulum dalam jangka pendek karena jaringan miselium fungi menjadi terputus. Pemulihan (*recovery*) jaringan tersebut berlangsung lebih cepat pada tanah pasiran atau tanah yang kandungan haranya rendah (Berruti et al., 2016). Diversitas spesies CMA pada bekas lahan terbakar meningkat setelah penanaman vegetasi bawah yang bermikoriza. Banjir dapat menghambat kolonisasi CMA. Dalam jangka panjang, jumlah spora CMA berkurang karena pengolahan tanah yang intensif. Monokultur tanaman pangan dan rotasi tanaman semusim dapat mengurangi diversitas CMA. Diversitas CMA meningkat drastis dalam tanah yang tidak diolah (*fallow*) dan pertanian organik. Diversitas spesies dan tingkat populasi CMA menjadi indikator status kesuburan dan bahan organik tanah (Chen et al., 2018)

CMA peka terhadap perubahan kandungan hara tanah. Pemupukan berpengaruh positif, negatif, atau tidak signifikan terhadap pertumbuhan CMA melalui adanya perubahan lingkungan mikro tanah. Pemupukan N mempengaruhi kelimpahan CMA, sebaliknya aplikasi P mempengaruhi diversitas CMA. Kandungan hara yang tinggi, seperti N dan P dapat meningkatkan sporulasi CMA, pemberian pupuk organik menguntungkan bagi pertumbuhan flora tanah, dan pH tanah dan K berpengaruh nyata terhadap komposisi komunitas CMA. Hal ini menunjukkan bahwa spesies CMA dapat hidup hanya pada tanah masam atau basa, sebaliknya spesies lain pada kedua lingkungan tersebut (Zhang et al., 2021).

Perkembangan sistem perakaran yang terbatas namun menunjukkan tingkat kolonisasi mikoriza yang tinggi, mengungkapkan kelapa sawit memperoleh manfaat besar dari simbiosis mikoriza arbuskula. Akar tanaman ini tidak mempunyai rambut akar, sehingga simbiosis ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk terutama pada tanah yang masam. Hasil penelitian Schultz (2001) menunjukkan ada 4 isolat CMA yang dapat memperbaiki pertumbuhan kelapa sawit setelah transplanting. Namun ada perbedaan respon pertumbuhan yang besar antar-isolat tersebut, sehingga seleksi isolat CMA perlu mendapat perhatian untuk

meningkatkan efektivitas inokulasinya. Oleh karena itu, CMA isolat lokal menjadi bagian penting dalam rangka pengembangan pupuk hayati mikoriza. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap keanekaragaman dan populasi CMA dalam hubungan dengan sifat tanah beberapa perkebunan kelapa sawit rakyat.

## **METODE PENELITIAN**

Contoh tanah diambil dari kebun kelapa sawit rakyat yang berstatus sebagai plasma maupun petani swadaya jenis ultisol podzolik merah kuning miskin hara. Sampel tanah diambil dari enam kebun rakyat yang berlokasi di enam desa berikut: Laburan (Kalimantan Timur). Gunung Mas (Kalimantan Tengah), Senakin, Sawita, Batu Ampar, dan Sei Kupang (Kalimantan Selatan). Contoh tanah diambil dari zona perakaran kedalaman 5-20 cm (mempergunakan bur tanah) secara komposit dari 10 titik. Masing-masing titik diambil sebanyak 500 gram tanah, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label.

Isolasi ini dilakukan dari contoh tanah dengan metode tuang saring basah mempergunakan saringan bertingkat dan penghitungan spora yang menggunakan mikroskop (Brundrett et al., 1996). Spora hasil ekstraksi dibuat preparat dengan pewarna Melzer dan bahan pengawet PVLG (*polyvinyl lactoglycerol*). Awetan

PVLG tidak mengubah warna asli spora dan mempunyai daya simpan permanen, jika ditambahkan Melzer terjadi perubahan warna pada genus CMA tertentu. Penggunaan larutan Melzer dapat mempercepat identifikasi sampai ke tingkat genus. Dengan bantuan mikroskop dan pinset spora, spora dikumpulkan berdasarkan ukuran, warna dan bentuk. Selanjutnya teteskan pada slide preparat masing-masing PVLG dan Melzer, tutup dengan kaca penutup, dan tekan sedikit pada larutan Melzer agar spora pecah dan terjadi reaksi. Analisis jenis spora CMA sesuai morfologi, ukuran, warna dan struktur subseluler (INVAM, 2005).

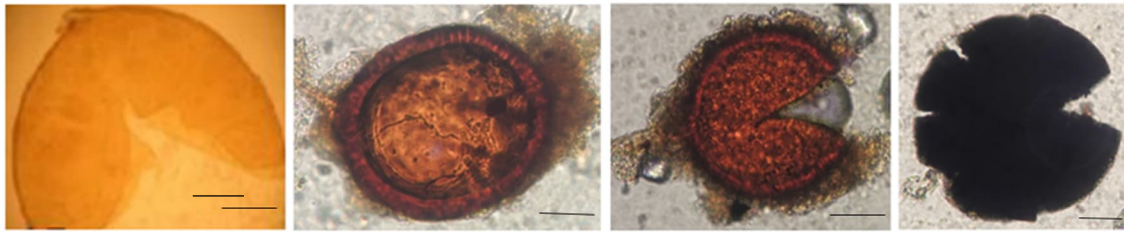
Kolonisasi CMA di akar diamati sesuai dengan prosedur (Trejo-Aguilar & Banuelos, 2020). Metode ini melalui beberapa tahap yaitu tahap pertama akar dicuci sampai bersih. Selanjutnya, akar direndam dalam larutan KOH 2.5% lalu dipanaskan dalam oven dengan suhu 90°C (30-40 menit). Tahap ketiga, akar dibilas dan direndam kembali dengan larutan HCl 0.1 M (10 menit). Tahap keempat yaitu akar dibilas dengan air untuk membersihkan larutan HCl 0.1 M kemudian diberi cairan trypan blue dan dipanaskan dalam oven dengan suhu 90°C (30-40 menit). Tahap terakhir, akar yang telah dipanaskan dalam oven dibilas dan direndam dengan larutan alkohol 50%.

Parameter penelitian meliputi: jenis CMA dan dominansinya (berdasarkan jumlah spora yang ditemukan pada sampel tanah), karakter tanah mencakup pH, kandungan N, P, K, Fe dan Zn, KPK, dan bahan organik (Ilao & Lastimosa, 1985). Tingkat marginalitas lahan ditentukan dengan membandingkan karakter tanah sampel dengan karakter baku untuk perkebunan kelapa sawit (Fairhurst et al., 2006)

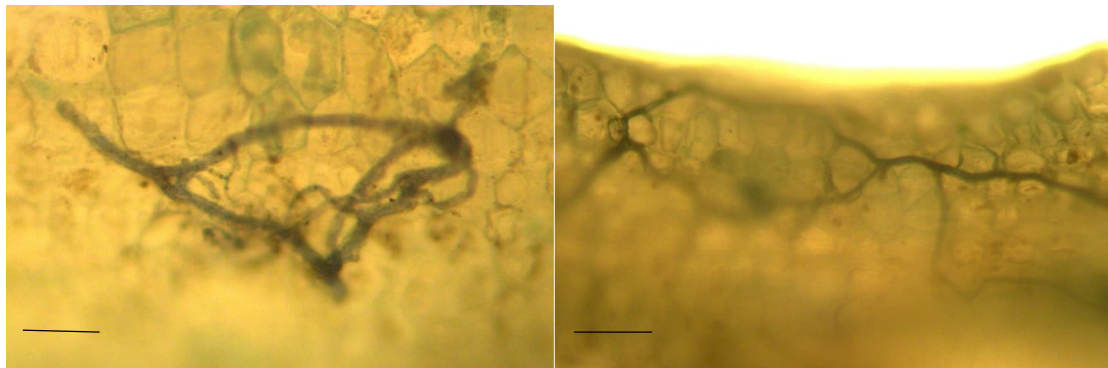
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Semakin terbatasnya lahan subur dan regulasi yang berkenaan dengan lingkungan menyebabkan areal pengembangan perkebunan kelapa sawit semakin terbatas. Luas areal perkebunan rakyat meningkat pesat dalam satu dekade terakhir, umumnya dilakukan pada tanah tidak subur (S3, bahkan N1).

*Sustainability* menjadi prinsip utama dalam pengembangan kelapa sawit di samping pertimbangan efisiensi usaha (komersial). Oleh karena itu, input produksi (pupuk) harus sejalan dengan prinsip tersebut. Penggunaan CMA menjadi alternatif penting sebagai pupuk hayati yang secara bertahap dapat meningkatkan kesuburan hayati tanah yang tidak subur. Namun demikian, manfaat CMA yang dipergunakan selama ini tidak konsisten, antara lain karena daya adaptasinya yang



Gambar 1. Spora *Gigaspora* sp., *Glomus* sp, *Acaulospora* sp. (dari kiri ke kanan (bar=50 µm)



Gambar 2. Kolonisasi FMA di perakaran kelapa sawit (bar=20 µm)

rendah. Untuk mengatasi hal ini, propagul CMA sebaiknya diisolasi dari tanah marginal yang sudah diketahui daya adaptasinya.

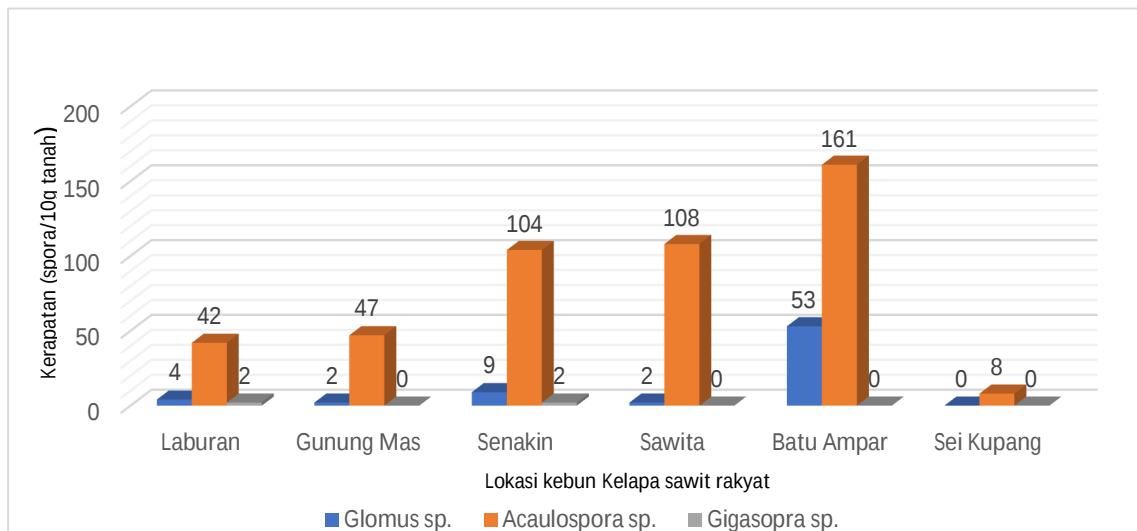
Isolasi dari 6 lokasi kebun rakyat berhasil menemukan tiga jenis FMA yang diidentifikasi sebagai *Glomus* sp., *Acaulospora* sp., dan *Gigaspora* sp. Identifikasi didasarkan pada karakteristik spora dengan mengacu pada (Gambar 1) (INVAM, 2005).

Pengamatan lapangan di perkebunan kelapa sawit rakyat menunjukkan adanya kolonisasi CMA di perakaran (Gambar 2). Hasil ini mengungkapkan potensi CMA lokal untuk dikembangkan menjadi pupuk hayati spesifik lokasi.

Pengamatan kerapatan spora, menunjukkan adanya perbedaan dalam

genus dan tingkat populasi CMA antarlokasi kebun kelapa sawit. Perbedaan tersebut mengindikasikan kemampuan adaptasi masing-masing genus terhadap keterbatasan (marginalitas) kondisi tanah (Gambar 3). Diversitas spesies CMA tergantung pada musim (Dumbrell et al., 2011), sejarah biogeografi dan kondisi lingkungan (Öpik et al., 2013), dan tanaman inang (Frey, 2019).

Gambar 3 menunjukkan bahwa *Acaulospora* sp. merupakan genus FMA yang ditemukan di semua lokasi dengan tingkat kerapatan tertinggi, diikuti oleh *Glomus* sp. dan *Gigaspora* sp. Adaptabilitas *Acaulospora* sp. paling baik dibanding kedua genus lainnya. Komposisi dan dominansi spesies CMA bervariasi antarlokasi. Gao et al., (2021) berhasil



Gambar 3. Genus dan kerapatan CMA pada beberapa lokasi kebun kelapa sawit rakyat.

mengisolasi dari tanah perkebunan karet genera CMA beserta frekuensinya sebagai berikut: *Archaeospora*, *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Scutellospora*, dan *Gigaspora*. *Glomus* dan *Acaulospora* merupakan genus yang paling dominan di perkebunan karet. Hasil penelitian Fernandes et al., (2016) menunjukkan bahwa *Acaulospora* diikuti *Glomus* dan *Gigaspora* merupakan genus yang paling dominan yang diisolasi dari tanah pada beberapa ekosistem di Brasil, termasuk perkebunan kopi. Penelitian Rini et al., (2017) di Lampung menunjukkan bahwa *Gigaspora* dan *Glomus* merupakan isolat yang paling dominan hasil kultur pot. Hasil menunjukkan bahwa *Acaulospora* sp. ditemukan melimpah pada padi yang digenangi maupun yang tidak digenangi (Noppakat et al., 2022). Beberapa karakter yang mempengaruhi hal ini adalah autonomi fungi, spesifisitas inang,

perubahan suksesional dan fenologi fungi, dan inkompatibilitas vegetatif fungi. Setiap genus CMA menunjukkan tingkat kepemilikan satu atau lebih sifat unggul yang berperan dalam kondisi lingkungan atau dalam hubungan dengan inang tertentu yang membuatnya sangat diminati untuk aplikasi praktis. Sifat-sifat tersebut meliputi efektivitas, serapan hara tertentu, kemampuan bertahan terhadap kondisi kekeringan ataupun tingkat spesifisitas inang (Hashem et al., 2018; Jacott et al., 2017). Takson CMA bervariasi besar dalam miselium eksternal dan tingkat pertumbuhan tersebut tergantung pada tanaman inang, ketersediaan hara tanah, pH dan kandungan air (Lehmann et al., 2017).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan sifat tanah yang besar antarlokasi kebun, meskipun lokasi kebun memiliki kelas kesesuaian yang sama (Tabel 1). Tabel 1 menunjukkan tanah di

lokasi penelitian umumnya mempunyai pH < 4,5 (masam) kecuali kebun Sei Kupang yang mempunyai pH > 6,0. Perbedaan ini berpengaruh terhadap kelimpahan spesies CMA, *Acaulospora* sp. paling melimpah pada pH masam diikuti *Glomus* sp. sedangkan *Gigaspora* sp. jarang ditemukan. Hasil ini sesuai dengan penelitian (Giovannetti et al., 2010) yang menyatakan perkecambahan spora *Acaulospora* sp terjadi pada pH 4-5 dan mengalami penurunan nyata pada pH  $\geq$  6. Perkecambahan spora menentukan penetrasi dan kolonisasi CMA di perakaran kelapa sawit serta pertumbuhan miselium eksternal yang mempengaruhi produksi spora di rhizosfer.

Kandungan C-organik mempunyai peran kunci dalam ekosistem tanah, namun informasi pengaruhnya terhadap CMA dan sebaliknya masih terbatas (Naher et al., 2013). Kandungan bahan organik tanah di semua lokasi penelitian termasuk rendah sampai tinggi, kecuali tanah perkebunan rakyat di Sungai Kupang yang mempunyai kandungan bahan organik sangat tinggi. Kandungan bahan organik tanah dinamis, tergantung pada dekomposisi dan

mineralisasi yang melibatkan peran nyata mikroorganisme tanah. Hasil penelitian mengungkapkan keragaman dan propagul CMA lebih tinggi pada tanah yang mempunyai kandungan bahan organik rendah. Meskipun tidak tergolong saprotrof, CMA mempunyai mekanisme tidak langsung dalam dekomposisi bahan organik (Wei et al., 2019). CMA dapat merubah komposisi komunitas mikrobial tanah selama dekomposisi seresah (Bhandari & Garg, 2017). Akar yang bermikoriza dan miselium eksternal CMA menghasilkan eksudat yang lebih banyak dan menjadi sumber karbon untuk mendukung aktivitas mikrobial dekomposer (Brooks et al., 2011). CMA berperan tidak langsung dalam mobilisasi nutrisi dari bahan organik tanah dengan memacu aktivitas mikroorganisme heterotrofik, sehingga kandungan bahan organik tanah yang tinggi di kebun Sei Kupang mengungkapkan pengaruh tidak langsung rendahnya diversitas CMA dan aktivitas mikroorganisme dekomposer. Tanah Sei Kupang sering mengalami *waterlogging* yang menghambat aktivitas mikroorganisme.

Tabel 1. Sifat kimia tanah beberapa lokasi perkebunan kelapa sawit rakyat

| Karakter tanah | Laburan | Gunung Mas | Senakin | Sawita | Batu Ampar | Sei Kupang |
|----------------|---------|------------|---------|--------|------------|------------|
| pH             | 4,39    | 4,30       | 4,06    | 4,13   | 4,58       | 6,08       |
| C-organik (%)  | 2,94    | 0,78       | 1,79    | 1,65   | 2,81       | 8,46       |
| KPK            | 7,60    | 7,70       | 14,30   | 7,10   | 6,68       | 21,41      |

Tabel 2. Kandungan hara tanah beberapa lokasi perkebunan kelapa sawit rakyat

| Karakter tanah        | Laburan | Gunung Mas | Senakin | Sawita | Batu Ampar | Sei Kupang |
|-----------------------|---------|------------|---------|--------|------------|------------|
| N total (%)           | 0,10    | 0,04       | 0,41    | 0,30   | 0,16       | 0,49       |
| P total (mg/kg)       | 133     | 117        | 980     | 151    | 133        | 161        |
| P tersedia (mg/kg)    | 17      | 22         | 185     | 14     | 17         | 169        |
| K tersedia (me/100 g) | 6,68    | 0,34       | 2,43    | 3,21   | 0,12       | 0,58       |
| Fe total (ppm)        | 4.511   | 2.921      | 22.702  | 5.186  | 4.350      | 16.775     |
| Zn total (ppm)        | 1       | 1          | 25      | 2      | 6          | 22         |

Nilai KPK tanah umumnya rendah sangat rendah sampai rendah (nilai 8-12), (Fairhurst et al., 2006), kecuali untuk kebun di Senakin dan Sei Kupang yang termasuk sedang dan sangat tinggi. Bahan organik tanah mempunyai kontribusi paling besar dalam meningkatkan KPK tanah (Churchland & Grayston, 2014). Dekomposisi bahan organik melepaskan asam organik. Asam organik mengalami disosiasi yang tergantung pada pH tanah, KPK pada pH 7 lebih tinggi daripada pH 5, sebagaimana yang ditunjukkan oleh tanah Sei Kupang yang mempunyai kandungan bahan organik tertinggi dibanding lokasi kebun lainnya.

Kandungan N tanah semua kebun kelapa sawit tergolong sedang hingga sangat tinggi (0,15 hingga > 0,25%), kecuali kebun Gunung Mas yang tergolong sangat rendah (Tabel 2). CMA memerlukan N yang tinggi untuk pertumbuhan strukturnya dan sebanyak 31% N diperoleh CMA dari bahan organik (Hodge & Fitter, 2010), namun N tersedia tanah yang tinggi dapat menekan perkembangan hifa eksternal yang juga mempengaruhi

produksi spora CMA (Berruti et al., 2014). Ada korelasi negatif kerapatan spora CMA dan kandungan C tanah (Delelegn et al., 2017) dan P tanah (Bhantana, 2021; Pagano et al., 2016).

Tabel 2 juga menunjukkan bahwa kandungan P total dan tersedia tanah kebun rakyat Senakin lebih tinggi daripada kebun lainnya. P tersedia tanah kebun rakyat Sei Kupang lebih tinggi daripada kebun lain kecuali kebun Senakin namun mempunyai kandungan P total yang hampir sama dengan semua kebun yang diteliti. Kelarutan P terjadi antara lain melalui mekanisme hayati yang melibatkan CMA pada pH masam seperti di kebun Senakin, yang mengakibatkan P terlepas dari kompleks Fe dan Zn, sedangkan di kebun Sei Kupang dengan pH netral, kandungan P tersedia yang tinggi, CMA tidak berkembang. Variasi ketersediaan hara, terutama C, N, dan P berpengaruh besar terhadap komposisi dan diversitas CMA (Sheldrake et al., 2017). Oleh karena itu, variasi spasial kondisi tanah di perkebunan kelapa sawit yang disebabkan oleh pengelolaan tanaman perlu

dipertimbangkan dalam penelitian mikoriza (da Silva Maia et al., 2021), karena sifat fisik, kimia dan biologi dapat berbeda sesuai dengan kultur teknis pengelolaan tanaman (Gottshall et al., 2017).

Berbeda dengan P, kandungan K dalam tanah bervariasi antarkebun rakyat dan menunjukkan hasil yang tidak konsisten. Kebun Batu Ampar yang mempunyai populasi tertinggi *Acaulospora* sp. dan *Glomus* sp. mengandung K tersedia paling rendah diikuti kebun Gunung Mas dan Sei Kupang. Padahal populasi CMA di kebun Gunung Mas tergolong sedang dan kebun Sei Kupang jarang sekali. Dominguez-Nuñez et al. (2016) menyebutkan konsentrasi ion basa  $Mg^{2+}$ ,  $K^{+}$ , dan  $Ca^{2+}$  ditemukan lebih tinggi dalam tanah yang berMA, antara lain karena eksudasi berbagai asam organik yang selanjutnya menaikkan pH. Namun, hal ini tidak terbukti dalam penelitian ini, sebagaimana Meena et al. (2014) yang menyatakan bahwa pengaruh FMA terhadap ketersediaan kation mikro ( $K^{+}$ ) relatif tidak konsisten, ada yang meningkatkan atau menurunkan bahkan tidak berpengaruh. Spora dan tingkat kolonisasi FMA di akar dapat meningkatkan serapan  $K^{+}$  sehingga ketersediaan kation ini dalam tanah menjadi rendah.

Kandungan Fe dan Zn tanah kebun rakyat di Senakin dan Sei Kupang termasuk

status berlebih sementara untuk keempat kebun lain tergolong kahat (Corley & Tinker, 2015; Fairhurst et al., 2006). Tanah kebun Sei Kupang sering kali tergenang (*waterlogging*) selama musim hujan, pH tanah yang sering tergenang berubah ke netral (mendekati 7) setelah beberapa minggu tergenang, perubahan ini tergantung pada kandungan bahan organik. Tanah yang tergenang menyebabkan konsumsi proton selama reaksi reduksi Fe dan Mn.

Kolonisasi mikoriza di akar umumnya dihubungkan dengan densitas spora CMA dalam tanah, meskipun hal ini dipengaruhi oleh status hara tanah (terutama N dan P) dan kandungan lengas tanah, sehingga kultur teknis perkebunan rakyat perlu mendapat perhatian untuk meningkatkan kontribusi CMA lokal dalam kesuburan tanah.

## KESIMPULAN

Identifikasi spora cendawan yang terdapat dari tanah yang berasal dari enam lokasi kebun kelapa sawit rakyat adalah *Acaulospora* sp., *Glomus* sp. dan *Gigaspora* sp. yang mempunyai rerata kerapatan spora berturut-turut 78,3; 14,0 dan 2,0 propagul/10 gram tanah. *Acaulospora* sp. ditemukan merata pada semua kebun dengan tingkat kerapatan tertinggi dibanding kedua genus CMA lain. *Gigaspora* sp. mempunyai sebaran yang

terbatas di lokasi kebun kelapa sawit yang diteliti. Kemelimpahan spora CMA ditemukan pada tanah yang tidak subur, seperti ditunjukkan oleh kandungan N, P, K dan Fe. Tingkat kolonisasi CMA di perakaran kelapa sawit perlu diobservasi untuk melengkapi potensinya sebagai kandidat pupuk hayati.

## DAFTAR PUSTAKA

- Berruti, A., Borriello, R., Orgiazzi, A., Barbera, A. C., Lumini, E., & Bianciotto, V. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi and their value for ecosystem management. In *Biodiversity - The Dynamic Balance of the Planet*. InTech. <https://doi.org/10.5772/58231>
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., & Bianciotto, V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01559>
- Bhandari, P., & Garg, N. (2017). Dynamics of arbuscular mycorrhizal symbiosis and its role in nutrient acquisition: an overview. In A. Varma, R. Prasad & N. Tuteja (Eds.) *Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1>
- Bhantana, P. (2021). Role of mycorrhizal pathways in plant phosphorous and zinc uptake. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 36(2). <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2021.36.005834>
- Brooks, D. D., Chan, R., Starks, E. R., Grayston, S. J., & Jones, M. D. (2011). Ectomycorrhizal hyphae structure components of the soil bacterial community for decreased phosphatase production. *FEMS Microbiology Ecology*, 76(2), 245–255. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01060.x>
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., & Grove, T. (1996). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research. <https://www.aciar.gov.au/publication/working-mycorrhizas-forestry-and-agriculture>
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., & Reinhardt, D. (2018). Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – From Ecology to Application. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01270>
- Churchland, C., & Grayston, S. J. (2014). Specificity of plant-microbe interactions in the tree mycorrhizosphere biome and consequences for soil C cycling. *Frontiers in Microbiology*, 5, 261. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00261>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2015). *The Oil Palm* (5th ed.). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118953297>
- da Silva Maia, R., Vasconcelos, S. S., Viana-Junior, A. B., Castellani, D. C., & Kato, O. R. (2021). Oil palm (*Elaeis guineensis*) shows higher mycorrhizal colonization when planted in agroforestry than in monoculture. *Agroforestry Systems*, 95(4), 731–740. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00627-5>
- Delelegn, Y. T., Purahong, W., Blazevec, A., Yitaferu, B., Wubet, T., Göransson, H., & Godbold, D. L. (2017). Changes in land use alter soil quality and aggregate stability in the

- highlands of northern Ethiopia. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14128-y>
- Dominguez-Nuñez, J. A., Benito, B., Berrocal-Lobo, M., & Albanesi, A. (2016). Mycorrhizal fungi: role in the solubilization of potassium. In V.S. Meena, B.R. Maurya, J.P. Verma, R.S. Meena (Eds). *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture* (pp. 77–98). Springer India. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_6)
- Dumbrell, A. J., Ashton, P. D., Aziz, N., Feng, G., Nelson, M., Dytham, C., Fitter, A. H., & Helgason, T. (2011). Distinct seasonal assemblages of arbuscular mycorrhizal fungi revealed by massively parallel pyrosequencing. *The New Phytologist*, 190(3), 794–804. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03636.x>
- Fairhurst, T., Caliman, J.-P., Härdter, R., & Witt, C. (2006). *Kelapa Sawit : Kelainan Hara dan Pengelolaannya*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.
- Fernandes, R. A., Ferreira, D. A., Saggin-Junior, O. J., Stürmer, S. L., Paulino, H. B., Siqueira, J. O., & Carneiro, M. A. C. (2016). Occurrence and species richness of mycorrhizal fungi in soil under different land use. *Canadian Journal of Soil Science*, 96(3), 271–280. <https://doi.org/10.1139/cjss-2015-0011>
- Field, K. J., Daniell, T., Johnson, D., & Helgason, T. (2020). Mycorrhizas for a changing world: Sustainability, conservation, and society. *Plants, People, Planet*, 2(2), 98–103. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10092>
- Frey, S. D. (2019). Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 50(1), 237–259. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062331>
- Gao, X., Lv, J., Guo, C., Hu, A., Wu, X., & Li, Z. (2021). Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Hevea brasiliensis* in Hainan Island, China. *Phyton*, 90(1), 179–192. <https://doi.org/10.32604/phyton.2021.012968>
- Giovannetti, M., Avio, L., & Sbrana, C. (2010). Fungal spore germination and pre-symbiotic mycelial growth - physiological and genetic aspects. In H. Koltai, & Y. Kapulnik (Eds). *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function* (pp. 3–32). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6_1)
- Gottshall, C. B., Cooper, M. L., & Emery, S. M. (2017). Activity, diversity and function of arbuscular mycorrhizae vary with changes in agricultural management intensity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 241, 142–149.
- Hashem, A., Abd\_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., & Egamberdieva, D. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant stress tolerance. In D. Egamberdieva & P. Ahmad (eds). *Plant Microbiome: Stress Response*. (pp. 81–103). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5514-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5514-0_4)
- Helena Devi, S., Bhupenchandra, I., Sinyorita, S., Chongtham, S. K., & Lamalakshmi Devi, E. (2021). Mycorrhizal Fungi and Sustainable Agriculture. In *Nitrogen in Agriculture - Physiological, Agricultural and Ecological Aspects [Working Title]*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99262>
- Hodge, A., & Fitter, A. H. (2010). Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(31),

- 13754–13759. <https://doi.org/10.1073/pnas.1005874107>
- Ila, S. S. L., & Lastimosa, P. J. (1985). *Research Techniques in Crops*. Philippine Council for Agriculture and Resources Research and Development.
- Khriebe, M. I. (2019). Mycorrhizae's role in plant nutrition and protection from pathogens. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 8(1). <https://doi.org/10.32474/CIACR.2019.08.000277>
- INVAM. (2005). *International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi*. [www.INVAM.wvu.edu.com](http://www.INVAM.wvu.edu.com)
- Jacott, C., Murray, J., & Ridout, C. (2017). Trade-offs in arbuscular mycorrhizal symbiosis: disease resistance, growth responses and perspectives for crop breeding. *Agronomy*, 7(4), 75. <https://doi.org/10.3390/agronomy7040075>
- Lal, R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1(1), 45–57. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0009-z>
- Lehmann, A., Leifheit, E. F., & Rillig, M. C. (2017). Mycorrhizas and soil aggregation. In N. C. Johnson, C. Gehring & J. Jansa (Eds). *Mycorrhizal mediation of soil: fertility, structure, and carbon storage* (pp. 241–262). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804312-7.00014-0>
- Meena, V. S., Maurya, B. R., & Verma, J. P. (2014). Does a rhizospheric microorganism enhance K<sup>+</sup> availability in agricultural soils? *Microbiological Research* 169: 337–347). <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.003>
- Naher, U. A., Othman, R., & Panhwar, Q. A. (2013). Beneficial effects of mycorrhizal association for crop production in the tropics - a review. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15, 1021–1028.
- Noppakatt, K., Runsaeng, P., & Klinnawee, L. (2022). Acaulospora as the dominant arbuscular mycorrhizal fungi in organic lowland rice paddies improves phosphorus availability in soils. *Sustainability*, 14(1), 31. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14010031>
- Öpik, M., Zobel, M., Cantero, J. J., Davison, J., Facelli, J. M., Hiiesalu, I., Jairus, T., Kalwij, J. M., Koorem, K., Leal, M. E., Liira, J., Metsis, M., Neshataeva, V., Paal, J., Phosri, C., Põlme, S., Reier, Ü., Saks, Ü., Schimann, H., Thiéry O., Vasar M., & Moora, M. (2013). Global sampling of plant roots expands the described molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 23(5), 411–430. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0482-2>
- Pagano, M. C., Dantas, B. L., Weber, O. B., Correa, E. A., Tancredi, F. D., Duarte, N. F., Bago, A., & Cabello, M. N. (2016). In. M. C. Pagano (Ed.). *Mycorrhizas in Agroecosystems* (pp. 91–100). Springer Int. Publishing Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24355-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24355-9_8)
- Rini, M. V., Sitio, S. N. S., & Hidayat, K. F. (2017). Population and diversity of arbuscular mycorrhiza fungi in the rhizosphere of kasetsart cassava clone grown on two different locations. *Journal of Tropical Soils*, 22(3), 183–189. <https://doi.org/10.5400/jts.2017.v22i3.183-189>
- Schultz, C. (2001). Effect of (vesicular-) arbuscular mycorrhiza on survival and post vitro development of micropropagated oil palms ( *Elaeis guineensis* Jacq .). *Gottingen University*, 160. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2002/schultz/schultz.pdf>

- Sheldrake, M., Rosenstock, N. P., Revillini, D., Olsson, P. A., Mangan, S., Sayer, E. J., Wallander, H., Turner, B. L., & Tanner, E. V. J. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungal community composition is altered by long-term litter removal but not litter addition in a lowland tropical forest. *New Phytologist*, 214(1), 455–467. <https://doi.org/10.1111/nph.14384>
- Silva, I. R. da, Mello, C. M. A. de, Ferreira Neto, R. A., Silva, D. K. A. da, Melo, A. L. de, Oehl, F., & Maia, L. C. (2014). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along an environmental gradient in the Brazilian semiarid. *Applied Soil Ecology*, 84, 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.07.008>
- Smith, S. E., & Read, D. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Third edition. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370526-6.50001-5>
- Soka, G., & Ritchie, M. (2014). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and ecosystem processes: Prospects for future research in tropical soils. *Open Journal of Ecology*, 04(01), 11–22. <https://doi.org/10.4236/oje.2014.41002>
- Trejo-Aguilar, D., & Banuelos, J. (2020). Isolation and Culture of Arbuscular Mycorrhizal Fungi from Field Samples. *Methods Mol. Biol.*, 2146, 1–18. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0603-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0603-2_1)
- Wei, L., Vosátka, M., Cai, B., Ding, J., Lu, C., Xu, J., Yan, W., Li, Y., & Liu, C. (2019). The role of arbuscular mycorrhiza fungi in the decomposition of fresh residue and soil organic carbon: A mini-review. *Soil Science Society of America Journal*, 83(3), 511–517. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.05.0205>
- Willis, A., Rodrigues, B. F., & Harris, P. J. C. (2013). The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.683375>
- Zhang, S., Luo, P., Yang, J., Irfan, M., Dai, J., An, N., Li, N., & Han, X. (2021). Responses of arbuscular mycorrhizal fungi diversity and community to 41-year rotation fertilization in brown soil region of northeast China. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.742651>