

**ANALISIS SIFAT FISIK, KIMIA DAN ESTIMASI FUNGI
MIKORIZA ARBUSKULAR (FMA) BERDASARKAN UMUR
TANAMAN PADA LAHAN KELAPA SAWIT**

**OLEH :
SUKURIA
A0321003**



**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANA
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT**

MAJENE

2026

**ANALISIS SIFAT FISIK, KIMIA DAN ESTIMASI FUNGI
MIKORIZA ARBUSKULAR (FMA) BERDASARKAN UMUR
TANAMAN PADA LAHAN KELAPA SAWIT**

Skripsi

Diajukan kepada Program Studi Agroekoteknologi
untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Tugas Akhir
atau Penelitian pada Program Studi Agroekoteknologi

Oleh :

SUKURIA

A0321003



**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT**

MAJENE

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Analisis Sifat Fisik, Sifat Kimia dan Estimasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) Berdasarkan Umur Tanaman Pada Lahan Kelapa Sawit

Nama : Sukuria

NIM : A0321003

Program Studi : Agroekoteknologi

Fakultas : Pertanian dan Kehutanan

Majene, 1 Agustus 2025

Menyetujui,

Pembimbing 1



Dr. Niken Nur Kasim, S.P.,M.P
NIP. 198805262022032008

Pembimbing 2



Muhammad Fahyu Sanjaya, S.P.,M.P
NIP. 1994040072022031006

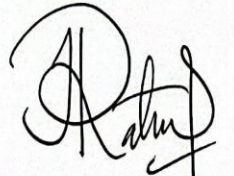
Mengetahui,

Dekan,
Fakultas Pertanian dan Kehutanan



Prof. Dr. M. Kaimuddin, M.Si
NIP. 196005121989031003

Ketua,
Program Studi Agroekoteknologi



Dwi Ratna Sari, S.P.,M.Si
NIP. 199208022022032001

Tanggal disetujui : 27 Januari 2026

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sukuria
NIM : A0321003
Program Studi : Agroekoteknologi
Fakultas : Pertanian dan Kehutanan
Instansi : Universitas Sulawesi Barat

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri bukan merupakan pengambilan alihan tulisan atau fikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi saya ini adalah jiplakan maka saya bersedia menerima sanksi atau perbuatan tersebut sesuai peraturan yang berlaku

Majene, 1 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Sukuria
NIM. A0321003

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul :
Analisis Sifat fisik, Kimia dan Estimasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA)
Berdasarkan Umur Tanaman pada Lahan Kelapa Sawit

Disusun Oleh :

SUKURIA

A0321003



Telah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi

Fakultas Pertanian dan Kehutanan

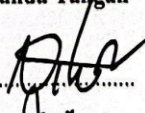

Universitas Sulawesi Barat

Pada tanggal 15 Desember 2025 dan dinyatakan **LULUS**

SUSUNAN TIM PENGUJI

Tim Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1. Dian Utami Zainuddin, S.Si.,M.Si		25 / 02 / 2026
2. Ilham, S.Pd.,M.P		02 / 02 / 2026

SUSUNAN TIM PEMBIMBING

Tim Pembimbing	Tanda Tangan	Tanggal
1. Dr. Niken Nur Kasim, S.P.,M.Si		02 / 02 / 2026
2. Muhammad Fahyu Sanjaya, S.P.,M.P		30 / 01 / 2026

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peranan penting dalam pembangunan ekonomi di Indonesia. Komoditas ini berkontribusi besar terhadap perolehan devisa negara serta berperan dalam penyediaan lapangan kerja bagi masyarakat, baik melalui perkebunan rakyat maupun perkebunan skala besar. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, hingga tahun 2024 luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai sekitar 16,8 juta hektar dengan produksi minyak sawit mentah (Crude Palm Oil/CPO) lebih dari 47 juta ton, sehingga menempatkan Indonesia sebagai salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia (BPS, 2024).

Besarnya luasan dan produksi kelapa sawit tersebut menunjukkan bahwa komoditas ini memiliki posisi strategis dalam sektor pertanian nasional. Namun, pengelolaan lahan yang kurang tepat berpotensi menurunkan produktivitas tanaman dan kualitas lingkungan, sehingga diperlukan upaya pengelolaan lahan yang berkelanjutan agar produktivitas kelapa sawit dapat dipertahankan dalam jangka panjang. Dalam kegiatan budidaya kelapa sawit, tanah merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan pertumbuhan dan produksi tanaman. Tanah berfungsi sebagai media tumbuh yang menyediakan unsur hara, air, serta ruang bagi perkembangan sistem perakaran. Pada wilayah tropis seperti Indonesia, tanah umumnya telah mengalami pelapukan yang intensif dan bersifat masam. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan unsur hara tertentu terutama fosfor, menjadi terbatas karena terikat oleh unsur aluminium dan besi sehingga tidak mudah diserap oleh tanaman (Adli et al., 2023).

Keterbatasan ketersediaan unsur hara tersebut menyebabkan pemupukan menjadi salah satu praktik penting dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Namun demikian, efektivitas pemupukan sangat dipengaruhi oleh kondisi dan sifat tanah, sehingga pemupukan yang dilakukan tanpa mempertimbangkan karakteristik tanah dapat menghasilkan respon tanaman yang kurang optimal. Kesuburan tanah pada lahan kelapa sawit tidak hanya ditentukan oleh satu faktor,

tetapi merupakan hasil interaksi antara sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Sifat fisik tanah seperti *Bulk Density*, *Particle Density* dan porositas berpengaruh terhadap kemampuan tanah dalam menyimpan air, menyediakan aerasi serta mendukung pertumbuhan akar. Sifat kimia tanah yang meliputi pH, P-tersedia dan C-organik berperan dalam menentukan ketersediaan unsur hara dan keseimbangan reaksi tanah. Selain itu, sifat biologi tanah juga memiliki peranan penting dalam keberadaan Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) yang mampu meningkatkan penyerapan unsur hara khususnya fosfor serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan hara oleh tanaman kelapa sawit (Zebua et al., 2024). Fungi Mikoriza Arbuskular diketahui membentuk simbiosis dengan akar tanaman dan berperan dalam memperluas daerah serapan akar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa keberadaan FMA dapat meningkatkan ketersediaan fosfor, jumlah mikroorganisme tanah serta aktivitas biologis tanah pada tanaman kelapa sawit (Hazra et al. 2024).

Kondisi tersebut juga dijumpai pada lahan kelapa sawit di Kecamatan Tommo, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat yang menjadi lokasi penelitian ini. Pada lokasi tersebut, lahan penelitian terbagi ke dalam tiga area dengan tingkat pengelolaan yang berbeda yaitu area tanpa perlakuan pemupukan, area dengan tingkat pemupukan sedang dan area dengan tingkat pemupukan tinggi. Perbedaan tingkat pemupukan ini mencerminkan variasi pengelolaan lahan yang diduga berpengaruh terhadap sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Variasi pengelolaan tersebut berpotensi menyebabkan perbedaan kondisi tanah antar area yang selanjutnya dapat memengaruhi keberadaan serta aktivitas mikroorganisme tanah termasuk FMA.

Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan peran sifat tanah dan Fungi Mikoriza Arbuskular pada lahan perkebunan kelapa sawit. Namun, kajian yang mengintegrasikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah secara bersamaan pada lahan kelapa sawit dengan perbedaan tingkat pemupukan masih tergolong terbatas, terutama pada kondisi lokal Sulawesi Barat. Informasi mengenai hubungan antara tingkat pengelolaan lahan, kondisi tanah dan keberadaan FMA di wilayah ini masih belum banyak dilaporkan secara ilmiah. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji sifat fisik tanah (*Bulk Density*, *Particle*

Density dan porositas), sifat kimia tanah (P-tersedia, pH dan C-organik), serta sifat biologi tanah yang diwakili oleh Fungi Mikoriza Arbuskular pada lahan kelapa sawit dengan perbedaan tingkat pemupukan di Kecamatan Tommo, Kabupaten Mamuju. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan lahan kelapa sawit yang lebih tepat dan berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik sifat fisik (*Particle Density* (PD), *Bulk Density* (BD), Porositas) dan kimia tanah (P-tersedia, pH, C-organik) serta estimasi keberadaan Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) pada lahan kelapa sawit?
2. Bagaimana sebaran sifat fisik, sifat kimia dan estimasi keberadaan FMA pada lahan kelapa sawit di lokasi penelitian?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini meliputi :

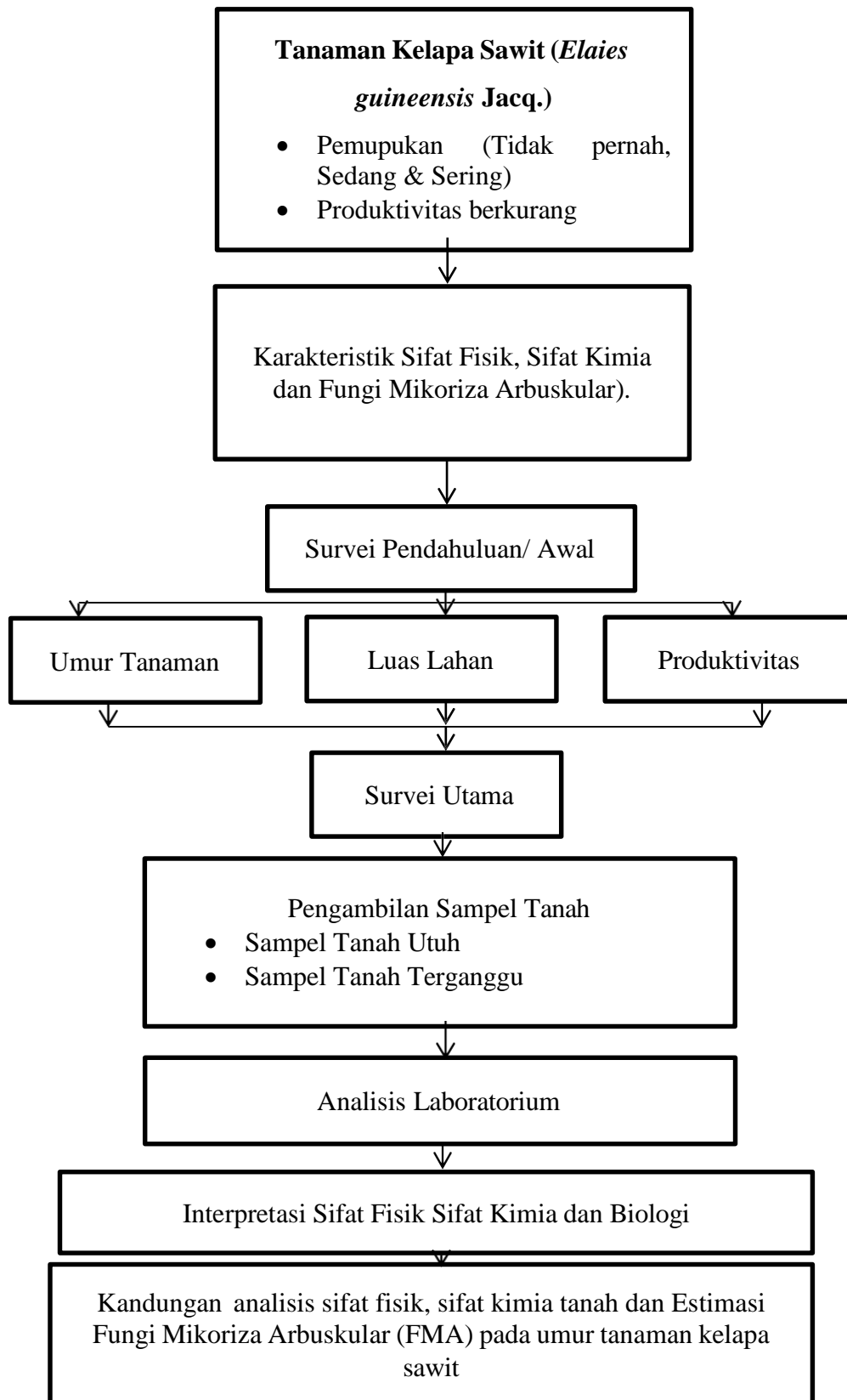
1. Mengetahui karakteristik sifat fisik, sifat kimia tanah dan estimasi FMA (Fungi Mikoriza Arbuskular) pada lahan kelapa sawit.
2. Menentukan sebaran sifat fisik, sifat kimia, dan estimasi keberadaan FMA (Fungi Mikoriza Arbuskular) pada lahan kelapa sawit di lokasi penelitian.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini meliputi:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik sifat fisik dan kimia tanah serta estimasi FMA, yang dapat digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman kelapa sawit.
2. Menjadi acuan dalam pemetaan kesuburan tanah secara *site-specific*, sehingga pengelolaan lahan dan pemupukan dapat dilakukan secara efisien dan ramah lingkungan.
3. Memberikan informasi praktis bagi petani dan pengelola perkebunan dalam mengambil keputusan terkait pengelolaan lahan, pemupukan.

1.5. Kerangka Pemikiran



Gambar 1.1. Kerangka Pemikiran

Produktivitas kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah khususnya yang berkaitan dengan karakter fisik, kimia dan aktivitas biologis di dalamnya. Unsur kimia seperti fosfor tersedia (P-tersedia), pH tanah serta kadar karbon organik (C-organik) menjadi komponen penting untuk menentukan tingkat kesuburan tanah. Di sisi lain, karakter fisik tanah misalnya kepadatan *bulk density*, porositas dan partikel yang berperan dalam mengatur kemampuan tanah menahan air, menyediakan ruang udara dan mempermudah penetrasi akar. Kombinasi kedua aspek ini tidak hanya menentukan ketersediaan unsur hara tetapi juga memengaruhi kehidupan mikroorganisme tanah termasuk Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA).

FMA merupakan organisme simbiotik yang hidup pada akar tanaman dan berperan membantu penyerapan fosfor sekaligus meningkatkan kemampuan tanaman menghadapi kondisi tanah yang kurang mendukung. Keberadaan dan keanekaragaman FMA sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik dan kimia tanah serta fase pertumbuhan tanaman. Seiring bertambahnya umur kelapa sawit struktur akar mengalami perubahan dan jumlah serasah yang terakumulasi juga meningkat sehingga kondisi ini dapat memengaruhi lingkungan mikro di sekitar akar tempat FMA berkembang.

Perbedaan umur kelapa sawit, seperti pada tanaman berusia 5, 10 dan 15 tahun, berpotensi menghasilkan variasi pada karakteristik tanah baik fisik, kimia maupun biologi. Tanaman muda biasanya menunjukkan perkembangan akar yang masih aktif tumbuh sedangkan tanaman yang lebih tua memiliki perakaran yang lebih mapan dan tingkat penumpukan bahan organik yang lebih besar. Keadaan tersebut berpotensi memunculkan variasi distribusi dan jumlah FMA serta mempengaruhi dinamika unsur hara dalam tanah.

Dengan mempertimbangkan hal tersebut, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana perbedaan umur kelapa sawit memengaruhi sifat fisik dan kimia tanah meliputi P-tersedia, pH, C-organik, kepadatan bulk, porositas dan ukuran partikel serta melakukan estimasi FMA. Selain itu, penelitian ini juga menyertakan pemetaan spasial menggunakan perangkat lunak GIS (*Geographic Information System*) guna menghasilkan informasi yang lebih menyeluruh dan mudah diterapkan dalam pengelolaan lahan. Dengan ini,

diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang agroekologi, terutama dalam pengembangan strategi pengelolaan lahan kelapa sawit yang berkelanjutan dan sesuai kondisi setempat.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai analisis sifat fisik tanah yang meliputi *Bulk Density*, *Particle Density* dan Porositas, sifat kimia tanah yang meliputi P-tersedia, pH dan C-Organik serta estimasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) pada lahan kelapa sawit berdasarkan perbedaan umur tanaman, dapat disimpulkan bahwa karakteristik tanah dipengaruhi oleh umur tanaman kelapa sawit. Perbedaan umur tanaman kelapa sawit umumnya diikuti oleh perbedaan pola dan intensitas pengelolaan lahan khususnya dalam hal pemupukan, yang berkaitan dengan tingkat kebutuhan hara serta kemampuan sistem perakaran tanaman dalam menyerap unsur hara. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya variasi kandungan unsur fisik, kimia dan biologis tanah pada setiap kelompok umur tanaman. Selanjutnya, tanaman kelapa sawit pada umur muda hingga tua menunjukkan pola serapan unsur hara yang berbeda yang erat kaitannya dengan tingkat kepadatan tanah. Pada lahan dengan tanaman kelapa sawit berumur lebih muda kondisi tanah umumnya masih lebih gembur sehingga mendukung perkembangan sistem perakaran dan meningkatkan efisiensi penyerapan hara. Sebaliknya, pada tanaman kelapa sawit yang telah berumur lebih tua peningkatan kepadatan tanah cenderung terjadi, yang berdampak pada menurunnya daya serap tanah terhadap unsur hara dibandingkan dengan kondisi pada tanaman muda.

6.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan, beberapa saran dapat diajukan sebagai masukan dalam pengelolaan lahan kelapa sawit. Pertama, diperlukan pemantauan dan perbaikan sifat fisik tanah, terutama *Bulk Density* (BD), *Particle Density* (PD) dan porositas agar kondisi tanah tetap mendukung pertumbuhan akar serta aktivitas mikroorganisme. Kedua, sifat kimia tanah seperti P-tersedia, pH dan C-organik perlu dievaluasi secara berkala untuk memastikan kesuburan tanah tetap sesuai dengan kebutuhan tanaman pada setiap tahap umur. Ketiga, pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) sebagai biofertilizer perlu dipertimbangkan karena dapat membantu meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman kelapa sawit. Selain itu, penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas kajian

mengenai dinamika perubahan sifat tanah pada berbagai umur tanaman sehingga informasi yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan dalam pengelolaan lahan kelapa sawit yang lebih efektif, adaptif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajeng, A. A., Abdullah, R., Malek, M. A., Chew, K. W., Ho, Y.-C., Ling, T. C., Lau, B. F., & Show, P. L. (2020). *The effects of biofertilizers on growth, soil fertility, and nutrients uptake of oil palm (Elaeis guineensis) under greenhouse conditions*. *Processes*, 8(12), 1681. <https://doi.org/10.3390/pr8121681>
- Anandyawati, S., Sumarsih, E., Nugroho, B., & Widyastuti, R. (2017). *Study of root exudate organic acids and microbial population in the rhizosphere of oil palm seedlings*. *Journal of Tropical Soils*, 22(1), 29-36. <https://doi.org/10.5400/jts.2017.v22i1.29-36>
- Apriliani, S., Sudradjat, S., & Yahya, S. (2017). *Optimization of N, P, and K Single Fertilizer Package for Oil Palm Aged Four Years*. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 36(1), 202-212. <https://gssrr.org/JournalOfBasicAndApplied/article/view/7973>
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2022). *Luas tanaman perkebunan yang menghasilkan menurut jenis tanaman, 2018–2021*. Jakarta: Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id>
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik, Jakarta. <https://www.bps.go.id>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Barat. (2021). *Provinsi Sulawesi Barat dalam angka 2021*. <https://sulbar.bps.go.id/publication.html>
- Behera, S. K., Suresh, K., Rao, B. N., Mathur, R. K., & et al. (2016). *Spatial variability of some soil properties varies in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) plantations of west coastal area of India*. *Solid Earth*, 7, 979-993. <https://doi.org/10.5194/se-7-979-2016>
- Ch'ng, H. Y., & Ahmed, O. H. (2014). *Improving phosphorus availability in an acid soil using organic amendments produced from agro-industrial wastes*. *The Scientific World Journal*, 2014, 506356. <https://doi.org/10.1155/2014/506356>
- Chaudhari, P. R., Ahire, D. V., Ahire, V. D., Chakravarty, M., & Maity, S. (2013). *Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil*. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(2), 1439. <https://www.ijsrp.org/research-paper-0213/ijsrp-p1439.pdf>
- Darlita, R. D. R., Joy, B., & Sudirja, R. (2017). *Analisis beberapa sifat kimia tanah terhadap peningkatan produksi kelapa sawit pada tanah pasir di*

Perkebunan Kelapa Sawit Selangkun. Agrikultura, 28(1), 15-20.
<https://doi.org/10.24198/agrikultura.v28i1.12294>

- Etesami, H., Jeong, B.R., & Glick, B.R. (2021). *Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Phosphate-Solubilizing Bacteria, and Silicon to P Uptake by Plant*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 699618.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699618>
- Fakhrezi, A., Rizal, K., Triyanto, Y., & Adam, D. H. (2023). *Increasing the Productivity of Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq) Farmers in Tebing Linggahara Baru Village, Bilah Barat District, Indonesia*. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA)*.
<https://doi.org/10.36378/juatika.v7i2.4825>
- Febriyanti Suardi, T., Sulistyowati, L., Noor, T. I., & Setiawan, I. (2022). *Analysis of the sustainability level of smallholder oil palm agribusiness in Labuhanbatu Regency, North Sumatra*. *Agriculture*, 12(9), 1469.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12091469>
- Frene, J. P., Pandey, B. K., & Castrillo, G. (2024). *Under pressure: elucidating soil compaction and its effect on soil functions*. *Plant and Soil*, 502, 267–278.
<https://doi.org/10.1007/s11104-024-06573-2>
- Fuady, Z., & Satriawan, H. (2019). *Effects of Combination of Inorganic and Organic Fertilizers Application on Morphology and Physiology of Immature Oil Palm*. *Planta Tropika*.
<https://journal.umy.ac.id/index.php/pt/article/view/5237>
- Ginting, E. N., & Sutarta, E. S. (2024). *Chemical characteristics of acid sulphate soil at various depths of sulfuric layers and their impact on the development of oil palm plant roots*. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 32(1), 45-56.
<https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v32i1.250>
- Golicz, A. A., Smith, P., & Jones, D. L. (2024). *The older, the better: a comprehensive survey of soil organic carbon under commercial oil palm plantations*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196, 13540.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-024-13540-y>
- Gui, W., You, Y., Yang, F., & Zhang, M. (2023). *Soil Bulk Density and Matrix Potential Regulate Soil CO₂ Emissions by Altering Pore Characteristics and Water Content*. *Land*, 12(9), 1646.
<https://doi.org/10.3390/land12091646>
- Handayani, I. P., Widiastuti, H., Coyne, M. S., & Widawati, S. (2020, October). *Soil organic carbon fractions in oil palm management systems*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 583(1),

012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/583/1/012006>

Hazra, F., Istiqomah, F. N., Novanto, P. R., & Fadilla, A. N. (2024). *Infectiveness and effectiveness tests of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in increasing the availability of nutrient P, total microbes, and soil respiration in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seeds*. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 32(2), 71-82. https://mikoriza.id/wp-content/uploads/2025/01/Jurnal-Efektivitas-Fumyco-dalam-meningkatkan-unsur-P-total-mikrob-respirasi-tanah-di-bibit-kelapa-sawit-JPKS-2024_2.pdf

Hazra, F., Nur Istiqomah, F., & Nurul Fadilla, A. (2023). *The Potential of Fumyco (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) in Increasing The Growth of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Seedling in Nursery*. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 31(3), 153-162. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v31i3.232>

He, J., Zhang, Y., Li, Q., & Wang, X. (2025). *Arbuscular mycorrhizal fungi enhance soil nutrient cycling by regulating soil bacterial community structures in orchards with different soil fertility rates*. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1615694. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2025.1615694/full>

Hasibuan, H. A. (2021). *Potensi minyak sawit merah sebagai pangan fungsional dan nutrasetikal*. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 26(3), 178–184. <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v26i3.52>

Hidayat, N., Pane, H., & Ginting, R. (2022). *Peran mikroorganisme tanah dalam meningkatkan ketersediaan fosfor pada lahan pertanian tropis*. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 46(2), 115–124. <https://doi.org/10.21082/jti.v46n2.2022.115-124>

<https://power.larc.nasa.gov/>

Jia, M., Wang, Y., Zhang, Q., Lin, S., Zhang, Q., Chen, Y., Hong, L., Jia, X., Ye, J., & Wang, H. (2024). *Effect of Soil pH on the Uptake of Essential Elements by Tea Plant and Subsequent Impact on Growth and Leaf Quality*. *Agronomy*, 14(6), 1338. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/6/1338>

Kirkman, E. R., Hilton, S., Sethuraman, G., Elias, D. M. O., Taylor, A., Clarkson, J. P., Soh, A. C., Bass, D., Ooi, G. T., McNamara, N. P., & Bending, G. D. (2022). *Diversity and ecological guild analysis of the oil palm fungal microbiome across root, rhizosphere, and soil compartments*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 792928. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.792928>

- Kirsten, M., Mikutta, R., Kimaro, D. N., Feger, K.-H., & Kalbitz, K. (2021). *Aluminous clay and pedogenic Fe oxides modulate aggregation and related carbon contents in soils of the humid tropics*. *SOIL*, 7, 363-375. <https://doi.org/10.5194/soil-7-363-2021>
- Kusuma, A. R., & Hidayat, T. (2023). *The role of arbuscular mycorrhizal fungi in enhancing nutrient uptake and growth performance of oil palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. *Agrivita: Journal of Agricultural Science*, 45(2), 215–226. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v45i2.3893>
- Li, Z., Wu, Q., Peng, Y., Lei, J., Liu, S., Mao, C., Liu, X., Wang, J., Yan, W., & Chen, X. (2024). *Diurnal, Seasonal, and Vertical Changes in Photosynthetic Rates in Cinnamomum camphora Forests in Subtropical China*. *Forests*, 15(1), 183. <https://doi.org/10.3390/f15010183>
- LibreTexts. (2021). 5.3: Bulk Density. In *Introduction to Soil Science Laboratory Manual* (Schwyter & Vaughan). [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Soil_Science/Introduction_to_Soil_Science_Laboratory_Manual_\(Schwyter_and_Vaughan\)/05%3A_Soil_Physics_and_Water_Relations/5.03%3A_Bulk_Density/Geosciences_LibreTexts+1](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Soil_Science/Introduction_to_Soil_Science_Laboratory_Manual_(Schwyter_and_Vaughan)/05%3A_Soil_Physics_and_Water_Relations/5.03%3A_Bulk_Density/Geosciences_LibreTexts+1)
- Luo, Z., Li, Y., Zhang, H., Wang, J., & Chen, S. (2019). *Soil Organic Carbon Shapes AMF Communities in Soils and Roots of Cynodon dactylon under Anti-Seasonal Drying-Wetting Cycles*. *Diversity*, 11(10), 197. <https://www.mdpi.com/1424-2818/11/10/197>
- Masebo, N., Birhane, E., Takele, S., Belay, Z., Lucena, J. J., Pérez-Sanz, A., & Anjulo, A. (2023). *Diversity of Arbuscular Mycorrhizal fungi under different agroforestry practices in the drylands of Southern Ethiopia*. *BMC Plant Biology*, 23, 634. <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-023-04645-6>
- Megayanti, L., Zurhalena, Junedi, H., & Fuadi, N. A. (2022). *Kajian Beberapa Sifat Fisika Tanah yang Ditanami Kelapa Sawit pada Umur dan Kelerengan yang Berbeda (Studi Kasus Perkebunan Sawit Kelurahan Simpang Tuan, Kecamatan Mendahara Ulu, Tanjung Jabung Timur)*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), 413-420. <https://repository.unja.ac.id/36621/1/413-420%2C%20MEGAYANTI%20et%20al>
- Mulyadi, M., & Jiang, Y. (2023). *The Combined Application of Biochar and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Enhanced the Physical and Chemical Properties of Soil and Rice Productivity in Indonesia*. *Sustainability*, 15(12), 9782. <https://www.mdpi.com/2071->

1050/15/12/9782

- Natural Resources Conservation Service. (2020). *Emerging 2020 USDA Explanatory Notes – Natural Resources Conservation Service*. U.S. Department of Agriculture.
<https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/27nrsc2020notes.pdf>
- Nimmo, J. R. (2012). In *Infiltration of Water Into Soil. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*.
<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001-e-768>
- Nugroho, A., & Handayani, I. P. (2022). *Soil physical properties and oil palm plant (Elaeis guineensis Jacq.)*. Jurnal Ilmu Pertanian Terapan, 5(2), 55-67.
<https://ejournal.uniks.ac.id/index.php/JUATIKA/article/download/803/1423/>
- Pane, R. D. P., Noviandi Ginting, E., & Hidayat, F. (2022). Mikroba pelarut fosfat dan potensinya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 27(1), 51-59.
<https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v27i1.81>
- Pauwels, R., Graefe, J., & Bitterlich, M. (2023). *An arbuscular mycorrhizal fungus alters soil water retention and hydraulic conductivity in a soil texture specific way*. *Mycorrhiza*, 33, 165-179
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-023-01106-8>
- Pauwels, R., Graefe, J., & Bitterlich, M. (2023). *An arbuscular mycorrhizal fungus alters soil water retention and hydraulic conductivity in a soil texture specific way*. *Mycorrhiza*, 33(3), 165-179.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-023-01106-8>
- Pebrianto, A. R., Angka, A. W., Karim, I., & Abdullah, M. A. (2024). *Analysis of Indonesian Palm Oil Competitiveness: A Case Study from Central Mamuju, West Sulawesi*. *Journal of Integrated Agribusiness*, 6(2), 234–251. <https://journal.ubb.ac.id/jia/article/view/5569>
- Pradiko, I., Hariyadi, H., & June, T. (2023). *Quantification of Climate Factors Contributing to Variation of Oil Palm Yield*. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 31(2), 108-123.
<https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v31i2.222>
- Ramadhan, A., Nur, F., & Hidayat, S. (2024). *Effects of NPK Fertilizer and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on the Growth of Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.) Seedlings*. *Planta Tropika*, 10(2), 101-110. <https://journal.umy.ac.id/index.php/pt/article/view/26091>

- Reni Rahmawati, Patricia E. Putir, M. Damiri, & Yusinta Tanduh. (2020). *Keragaman fungi mikoriza arbuskula (FMA) di lahan gambut konversi hutan alam menjadi perkebunan kelapa sawit*. *Jurnal Hutan Tropika*, 15(1), 1-???.
<https://doi.org/10.36873/jht.v15i1.1710>
- Rini, M. V., Suharjo, R., Wibowo, L., Irvanto, D., & Ariyanto, A. (2021). *Selection of four types arbuscular mycorrhizal fungi in oil palm seedling planted in histosol soil*. *Menara Perkebunan*, 89(1), 8-16.
<https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v89i1.406>
- Rini, N., Sutrisno, T., & Wulandari, P. (2021). *Selection of four types arbuscular mycorrhizal fungi in oil palm seedling planted in histosol soil*. *Mycorrhiza Journal*, 5(1), 45-53.
<https://mp.iribb.org/mpjournal/article/view/406>
- Salamat, H. S., Hoshino, Y., Nakagawa, Z., MIB (2021). *Effect of inorganic fertilizer application on soil microbial diversity in an oil palm plantation*. *BioResources*, 16(2), 2279-2302.
<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/effect-of-inorganic-fertilizer-application-on-soil-microbial-diversity-in-an-oil-palm-plantation>
- Sales, G. de B., Lessa, T. A. M., Freitas, D. A., Veloso, M. das D. M., Silva, M. L. de S., Fernandes, L. A., & Frazão, L. A. (2020). *Litterfall dynamics and soil carbon and nitrogen stocks in the Brazilian palm swamp ecosystems*. *Forest Ecosystems*, 7, Article 39.
<https://doi.org/10.1186/s40663-020-00251-2>
- Saragih, M. H., Silaban, S., & Eddiyanto, E. (2023). *The Impact of Temperature and Antioxidants on Oxidation and The Formation of Trans Fatty Acids in Several Palm Oil Derivatives*. *Al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 10(2), 74–86.
<https://doi.org/10.15575/ak.v10i2.25256>
- Setyawan, R., & Suprayogo, D. (2021). Evaluasi perubahan karakteristik tanah, pembungaan dan produktivitas akibat perbedaan umur kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Skripsi, Universitas Brawijaya. Retrieved from <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/192890/>
- Shintarika, F., Sudradjat, & Supijatno. (2015). Optimasi Dosis Pupuk Nitrogen dan Fosfor pada Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Belum Menghasilkan Umur Satu Tahun. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 43(3), 250-256.
<https://media.neliti.com/media/publications/7728-none-79d8baab>

- Sihaan, H.P., Wawan, & Khoiri, M.A. (2023). *Intensity Of Soil Treatment And Frequency Of Inorganic Fertilizer Application On Nutrient Levels And Growth Of Palm Oil (Elaeis guineensis Jacq) At The Replanting Stage*. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA)*, 5(1), 281-290.
<https://doi.org/10.36378/juatika.v5i1.2833>
- Simanullang, H. D., Denaneer, D., & Afrianti, S. (2023). *Soil Physical Properties of Oil Palm Plantations in Tidal Areas of Peatland*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 13(4), 1101-1108.
<https://doi.org/10.23960/jtep-l.v13i4.1101-1108>
- Siregar, M. A., & Putra, H. A. (2024). The impact of oil palm plantation management on soil fertility dynamics. *Jurnal Niagro*, 11(1), 55–66. Universitas Lancang Kuning.
<https://journal.unilak.ac.id/index.php/nia/article/view/25826>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2020). *Mycorrhizal Symbiosis* (4th ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01431-0>
- Sofiyati, E., Nusantara, R.W., & Gafur, S. (2023). *Potensi spora mikoriza vesikular arbuskular pada lahan tanaman kelapa sawit yang berbeda umur di Desa Sungai Ambangah, Kabupaten Kubu Raya*. *Jurnal Sains Pertanian Equator*.
<https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jspp/article/view/97243>
- Thompson-Morrison, S., Robinson, B., & van Noordwijk, M. (2023). *Nutrients and Contaminants in Soils of Current and Former Oil Palm Production Systems from Indonesia*. *Lands*, 12(12), 2144.
<https://doi.org/10.3390/land12122144>
- Utami, I., Nugroho, A., & Prasetyo, L. (2021). *Soil macroporosity, physical properties and nutrient leaching after forest conversion to rubber and oil palm plantation in an Acrisol of Jambi, Indonesia*. ResearchGate.
<https://www.researchgate.net/publication/355004989>
- Wahab, A., Abdalalela, A., Ahmad, M., Zaki, N. I., & et al. (2023). *Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, water-use efficiency and nutrient uptake of plants under abiotic stress*. *Plants*, 12(17), 3102. <https://doi.org/10.3390/plants12173102>
- Weatherspark. (2025). *Climate reports with the weather by month, day, even hour*. <https://weatherspark.com/>
- Wijayani, S.; Wirianata, H.; Burhanuddin, A. (2021). Inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskula untuk Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit di Pre Nursery. *AGROISTA : Jurnal Agroteknologi*, 2(2).
<https://doi.org/10.55180/agi.v2i2.36>

- Yunus, M., Syafruddin, & Syamsuddin. (2016). *Pemanfaatan fungi mikoriza arbuskular spesifik lokasi dan pupuk kompos tandan kosong kelapa sawit pada tanah Ultisol terhadap pertumbuhan tanaman kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.)*. Universitas Syiah Kuala. <https://media.neliti.com/media/publications/238149-pemanfaatan-fungi-mikoriza-arbuskular-sp-db095aa4.pdf>
- Zebua, A. C., Zulfarina, & Wawan. (2024). *Application of FMA on Soil Chemical Properties in Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.) plants*. Jurnal Agronomi Tanaman Tropika, 6(3), 894-903. <https://doi.org/10.36378/juatika.v6i3.3822>