



INTERAKSI JAMUR METARHIZIUM ANISOPLIAE DAN TANAH: PENGARUH TERHADAP KARAKTER KIMIA TANAH

INTERACTION OF METARHIZIUM ANISOPLIAE FUNGI AND SOIL: INFLUENCE ON SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS

Anna Kusumawati ^{(1)*}, Hartini ⁽²⁾, Rahma Lutfi Hanifah ⁽³⁾, Wispramono Budiman ⁽⁴⁾ & Arif Rokhman ⁽⁵⁾

^{1,2,3)} Program Studi Pengelolaan Perkebunan, Politeknik LPP Yogyakarta, Indonesia

^{4,5)} PT. Perkebunan Nusantara VIII (Persero), Indonesia

*Corresponding Email: kusumawatianna@gmail.com

Abstrak

Oryctes rhinoceros yang merupakan hama utama dalam perkebunan kelapa sawit. Salah satu agens hayati yang menjanjikan dan merupakan jamur entomopatogen yang mampu menginfeksi dan menjadi upaya pengendalian hama *Oryctes rhinoceros* adalah *Metarhizium anisopliae*. Aplikasi jamur *Metarhizium anisopliae* ini kemungkinan besar dapat mempengaruhi karakteristik tanah. Tujuan dari penelitian ini menganalisa dampak pemberian jamur *Metarhizium anisopliae* pada tanah, khususnya karakter kimia tanah. Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari hingga Mei 2023. Metode Penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) Non Faktorial dengan 5 perlakuan dan 2 ulangan. Parameter yang diambil antara lain : Kontrol (A0), 30 mL/ aplikasi (A1), 50 mL/aplikasi (A2), 70 mL/ aplikasi (A3), dan 90 mL/ aplikasi (A4). Parameter penelitian yang digunakan adalah pH tanah, C-Organik, N-total, P-Tersedia, K-Tersedia, Kapasitas pertukaran kation (KPK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan yang digunakan dapat sebagai penambah nitrogen, pelarut fosfat dan fitohormon, serta tidak mengandung patogen *Escherichia coli* dan *Salmonella sp.* Pemberian jamur *Metarhizium anisopliae* pada semua perlakuan tidak menunjukkan beda nyata pada parameter pH tanah, C-Organik, N-Total, K- Tersedia dan Kapasitas Pertukaran Kation, tetapi menunjukkan beda nyata pada perlakuan P-Tersedia dengan hasil tertinggi pada A1 (30 ml). Diperlukan penelitian lanjutan mengenai dampaknya terhadap kondisi tanah dalam jangka panjang, sehingga diharapkan bahan tersebut bisa bermanfaat tidak hanya untuk pengendalian hama, tetapi memperbaiki kesuburan tanah.

Kata kunci : hayati, hama, potensi, tanah.

Abstract

Oryctes rhinoceros is a major pest in oil palm plantations. One of the promising biological agents and entomopathogenic fungi capable of infecting and controlling *Oryctes rhinoceros* pests is *Metarhizium anisopliae*. The application of this *Metarhizium anisopliae* fungus is likely to affect soil characteristics. The purpose of this study was to analyze the impact of administering the *Metarhizium anisopliae* fungus on the soil, especially the chemical characteristics of the soil. This study was conducted from January to May 2023. The research method used was a Non-Factorial Randomized Block Design (RBD) with 5 treatments and 2 replications. The parameters taken included: Control (A0), 30 mL/application (A1), 50 mL/application (A2), 70 mL/application (A3), and 90 mL/application (A4). The research parameters used were soil pH, C-Organic, N-total, P-Available, K-Available, Cation Exchange Capacity (CEC). The results of the study showed that the materials used can be used as nitrogen additives, phosphate solvents and phytohormones, and do not contain *Escherichia coli* and *Salmonella* sp pathogens. The application of *Metarhizium anisopliae* fungus to all treatments did not show significant differences in soil pH, C-Organic, N-Total, K-Available and Cation Exchange Capacity parameters, but showed significant differences in the P-Available treatment with the highest results in A1 (30 ml). Further research is needed regarding its impact on long-term soil conditions, so it is hoped that this material can be useful not only for pest control, but also to improve soil fertility.

Keywords: *biological, pests, potential, soil.*

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas strategis di sektor perkebunan Indonesia yang berkontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional. Industri ini tidak hanya menyumbang sekitar 3,5 % terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional, tetapi juga menjadi penyumbang terbesar ekspor non-migas dengan andil antara 11–15 % dari total ekspor non-migas, dan menyerap sekitar 16–17 juta tenaga kerja secara langsung dan tidak langsung (Muflihani et al., 2024). Namun, produktivitas kelapa sawit seringkali terkendala oleh serangan hama, seperti

Oryctes rhinoceros dan *Rhynchophorus ferrugineus*, yang merusak bagian tajuk dan batang tanaman (Irawan et al., 2018). Dalam mengendalikan hama tersebut, penggunaan agens hayati mulai banyak dikembangkan sebagai alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan insektisida sintesis.

Salah satu agens hayati yang menjanjikan adalah *Metarhizium anisopliae*, jamur entomopatogen yang mampu menginfeksi berbagai jenis serangga. Selain efektivitasnya dalam pengendalian hama, aplikasi *M. anisopliae* di lingkungan tanah berpotensi memberikan dampak terhadap sifat-sifat tanah, baik secara fisik, kimia, maupun biologi. Studi sebelumnya

menunjukkan bahwa beberapa jenis jamur entomopatogen dapat berinteraksi dengan mikroorganisme tanah lain, serta memengaruhi dinamika bahan organik dan ketersediaan unsur hara (Siqueira et al., 2020).

Dampak aplikasi *M. anisopliae* terhadap karakteristik tanah, khususnya pada ekosistem perkebunan kelapa sawit, masih terbatas. Padahal, pemahaman mengenai efek jangka panjang dari aplikasi agens hayati terhadap kualitas tanah sangat penting untuk mendukung pertanian yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak aplikasi *Metarhizium anisopliae* terhadap karakter tanah khususnya kimia tanah, guna menilai potensi peranannya dalam mendukung kesehatan tanah dan keberlanjutan sistem budidaya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di di Wedomartani, D.I. Yogyakarta, secara geografis terletak pada garis lintang selatan 7° 44'16.06"S dan garis bujur utara 110°26'29.48"E. Kondisi lahan memiliki jenis tanah regosol dengan 86,4% bertekstur pasir, 10,9% debu dan 2,7% lempung. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) Non Faktorial dengan 5 perlakuan dan 3 ulangan, Faktor yang akan digunakan pada penelitian

jamur *Metarhizium anisopliae* yang terdiri dari 5 taraf perlakuan, yaitu : Kontrol (A0), 30 mL/ aplikasi (A1), 50 mL/aplikasi (A2), 70 mL/ aplikasi (A3), dan 90 mL/ aplikasi (A4). Luasan lahan yang digunakan setiap ulangan atau blok adalah 50m².

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan metode survei (kedalaman tanah 15-20 cm), dengan mengambil sampel tanah pada masing-masing titik sampel. Setiap percobaan terdapat 5 titik pengambilan sampel tanah dengan 5 blok sampel sehingga terdapat total sampel tanah sebanyak 25 titik sampel. 25 titik sampel tersebut dikomposit menjadi 5 sampel dengan 2 kali ulangan. Variabel pengamatan yang diamati antara lain pH tanah, bahan organik (BO), total nitrogen, fosfor tersedia (P), kalium tersedia (K), dan Kapasitas Penukaran Kation (KPK) tanah. Dilakukan juga analisa karakterisasi Agensi Pengendalian Hayati (APH) Jamur *Metarhizium anisopliae* dalam bentuk pupuk cair hayati. Pupuk cair hayati ini berupa bahan cair yang merupakan proses pelarutan dari bahan alami. Asal isolate *Metarhizium anisopliae* dari Medan Sumatera Utara dari BBPPTP (Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan) Medan.

Analisa data yang digunakan dengan data yang sudah diperoleh kemudian disusun menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji lanjut DMRT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Agensi Pengendalian Hayati (APH) Jamur *Metarhizium anisopliae*

Berdasarkan hasil uji fungsi sebagaimana disajikan pada Tabel 1, salah satu komponen utama yang ditemukan adalah mikroorganisme penambat nitrogen. Mikroorganisme ini berperan penting dalam proses biokimia di tanah, yaitu mengubah nitrogen bebas (N_2) menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman, seperti amonium dan nitrat. Selain itu, *M. anisopliae* juga memiliki kemampuan melarutkan fosfat, yaitu dengan mengkelat ion-ion logam (Al, Fe, Ca) melalui gugus hidroksil dan karboksilnya, sehingga fosfat yang terikat dapat diubah menjadi bentuk yang larut dan tersedia bagi tanaman (Siqueira et al., 2020).

Jamur ini juga diketahui menghasilkan fitohormon (Tabel 1), yaitu senyawa alami yang berperan dalam pengaturan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fitohormon tersebut seperti auksin dan sitokinin, yang jika diserap tanaman dapat meningkatkan pertumbuhan akar, sehingga memperluas volume perakaran dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah serta merangsang pembelahan sel akar, mempercepat eksudasi akar yang menjadi sumber karbon bagi mikroba tanah (Hasan et al., 2024). *M. anisopliae* mengandung mikroorganisme pengurai bahan organik (Tabel 1), termasuk pengurai nitrogen dan

karbon yang berasal dari sisa-sisa jaringan organisme yang telah mati. Terdapat pula mikroba selulolitik yang mampu mendegradasi selulosa, serta mikroba lignolitik yang memiliki kemampuan merombak senyawa lignin (Mesquita et al., 2023).

Tabel 1. Analisis uji fungsi jamur *Metarhizium anisopliae*

No	Uji Fungsi	Hasil
1.	Penambat Nitrogen	Positif
2.	Pelarut Fosfat	Positif
3.	Penghasil Fitohormon	Positif
4.	a) Selulolitik b) Lignolitik	Positif Positif

Tabel 2. Karakterisasi *Metarhizium anisopliae* dalam pupuk hayati cair

Variabel	Hasil
Bahan Organik	1,68%
N Total	0,02%
P Tersedia	0,01%
K Tersedia	0,05%
pH	3,12
Uji Patogenitas	Positif Pada Sampel Asli dan Negatif Pada Pengenceran 10-1
<i>Escherichia coli</i>	Negatif Pada Sampel Asli dan Negatif Pada Pengenceran 10-1
<i>Salmonella sp.</i>	Negatif Pada Sampel Asli dan Negatif Pada Pengenceran 10-1

Pengujian terhadap jamur *Metarhizium anisopliae* dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan kimia dan biologis yang dimilikinya. Hasil analisis

menunjukkan bahwa jamur ini mengandung bahan organik sebesar 1,683 %, yang berperan sebagai sumber energi dan nutrisi bagi mikroorganisme tanah. Keberadaan bahan organik tersebut dapat merangsang aktivitas mikroba tanah dalam proses dekomposisi dan ketersediaan hara bagi tanaman (Khatoon et al., 2017).

Kandungan nitrogen total (N-total) dalam *M. anisopliae* juga tercatat sebesar 1,683 %. Selain kemampuannya sebagai penambat nitrogen, keberadaan unsur nitrogen ini menunjukkan potensi tambahan untuk dapat mendukung pembelahan sel, pembentukan anakan dan pemanjangan batang (Saleem et al., 2012). Nitrogen merupakan faktor kunci dalam menentukan hasil tanaman yang berkelanjutan (Yang et al., 2019) terutama nitrat karena merupakan sumber utama N untuk tanaman (Robinson et al., 2011).

Kadar fosfor tersedia dalam jamur ini hanya sebesar 0,010 %, yang tergolong rendah untuk mendukung kebutuhan fosfat tanaman secara signifikan. Demikian pula, kadar kalium tersedia sebesar 0,050 % juga masih di bawah ambang batas untuk pupuk hayati atau pupuk organik cair yang sesuai standar teknis. Fosfor (P) adalah elemen penting untuk kesehatan dan pertumbuhan tanaman. P merupakan konstituen penting dalam DNA, RNA, ATP, dan sistem fotosintesis dan mengkatalisis sejumlah proses biokimia pada tumbuhan (Ukwattage

et al., 2020). Kalium berfungsi dalam hal penyerapan air oleh tanaman, pembukaan stomata, menjaga tekanan turgor sel dan yang paling penting untuk tanaman karena kalium berperan dalam translokasi gula (Gopalasundaram et al., 2012).

Pengukuran pH menunjukkan bahwa jamur ini memiliki tingkat keasaman tinggi (pH 3,12), sehingga termasuk dalam kategori masam. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, kandungan yang terdapat pada jamur *M. anisopliae* belum sepenuhnya memenuhi kriteria pupuk hayati maupun pupuk cair organik sebagaimana tercantum dalam Permentan No. 216 Tahun 2019 tentang persyaratan teknis minimal pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah.

Hasil uji patogenitas sampel, menunjukkan bahwa Positif Pada Sampel Asli dan Negatif Pada Pengenceran 10-1. Hasil uji kontaminasi sampel menunjukkan bahwa sampel tidak mengandung jenis mikroorganisme yang dapat menjadi kontaminan (*Escherichia coli* dan *Salmonella* sp.). Hal ini menunjukkan bahwa bahan tersebut, aman untuk digunakan dan ramah lingkungan, karena jika ada kehadirannya di tanah pertanian, mengindikasikan kualitas tanah yang buruk atau tercemar (Maruf & Rahman, 2024).

Tabel 3. Karakter pH, C organik dan N total tanah setelah aplikasi perlakuan

Perlakuan	pH	C-Organik (%)	N-Total (%)
A0	6,75a	1,98a	0,25a
A1	6,75a	2,57a	0,39a
A2	6,65a	2,27a	0,36a
A3	6,75a	2,18a	0,34a
A4	6,7a	2,08a	0,28a

Keterangan : Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji lanjut Duncan pada taraf nyata $\alpha = 5\%$. A0 (Metarhizium anisopliae 0 ml), A1 (Metarhizium anisopliae 30 ml), A2 (Metarhizium anisopliae 50 ml), A3 (Metarhizium anisopliae 70 ml), A4 (Metarhizium anisopliae 90 ml).

pH memberikan gambaran mengenai praktek management dan penggunaan lahan apakah dapat berkelanjutan atau tidak, jika terjadi pemasaman maka berkorelasi dengan dampak pada sistem berkelanjutan jangka panjang (Cheong et al., 2009). Dari data analisa diatas nilai pH tanah semua percobaan aplikasi jamur Metarhizium anisopliae memiliki nilai rata-rata sebesar 6,7 hanya perlakuan A2(50 ml) yang memiliki rata-rata sebesar 6,6 (Tabel 3). Nilai pH tanah dari semua percobaan di kategorikan baik. Data analisa diatas dapat disimpulkan bahwa semua percobaan pengalokasian jamur Metarhizium anisopliae tidak berbeda nyata.

Bahan organik berperan dalam menjaga agregasi tanah, meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan menyediakan habitat untuk organisme dalam tanah (Minasny & McBratney, 2018). Hasil analisa bahan organik dengan aplikasi

pemberian jamur Metarhizium anisopliae dari semua perlakuan menunjukkan pengaruh tidakbeda nyata (Tabel 3). Hasil presentase data tertinggi sebesar 4,43% pada perlakuan A1 dan terendah pada perlakuan A0 sebesar 3,41%. Namun rata-rata bahan organik setiap perlakuan memiliki nilai yang baik sehingga peranan bahan organik dalam tanah dapat berperan dengan baik. Kondisi ini dipengaruhi oleh hasil analisa c-organik pada jamur Metarhizium anisopliae di Laboratorium memiliki nilai sebesar 1,63%. Nilai tersebut dapat dikategorikan kandungan bahan organik yang sedang. Bahan organik yang terkandung dalam jamur Metarhizium anisopliae dapat menyebabkan kenaikan jumlah bahan organik. Hal ini dapat dilihat bahwa perlakuan A0 (kontrol) memiliki nilai rata-rata terendah sedangkan pada perlakuan A1 dengan dosis 30 ml dapat meningkatkan jumlah bahan organik dengan rata-rata sebesar 4,43%.

Pemberian jamur Metarhizium anisopliae dapat menaikkan nilai N- Total dibandingkan dengan yang tidak diberikan jamur Metarhizium anisopliae, tapi tidak signifikan (Tabel 3). Hal ini dikarenakan pada hasil analisa uji fungsi jamur Metarhizium anisopliae menunjukkan penambat nitrogen yang positif. Penambat nitrogen merupakan proses biokimia yang terjadi di dalam tanah dengan mengubah nitrogen bebas menjadi nitrogen tertambat sehingga dapat meningkatkan nilai nitrogen

dalam tanah. Nitrogen dibutuhkan tanaman karena memiliki peran dalam pembentukan klorofil, pertumbuhan batang, cabang dan daun, sehingga memiliki peran besar dalam proses fotosintesis (Saleem et al., 2012).

Tabel 4. Karakter P tersedia, K tersedia dan KPK tanah setelah aplikasi perlakuan

Perlakuan	P Tersedia (ppm)	K Tersedia (ppm)	KPK (c mol/kg)
A0	22,22ab	0,16a	10,81a
A1	28,84a	0,22a	12,51a
A2	18,90ab	0,26a	12,01a
A3	19,00ab	0,28a	12,22a
A4	15,04b	0,16a	11,90a

Keterangan : Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji lanjut Duncan pada taraf nyata $\alpha = 5\%$. A0 (Metarhizium anisopliae 0 ml), A1 (Metarhizium anisopliae 30 ml), A2 (Metarhizium anisopliae 50 ml), A3 (Metarhizium anisopliae 70 ml), A4 (Metarhizium anisopliae 90 ml).

Tabel 4 menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi Jamur Metarhizium anisopliae 30 ml (A1) memiliki pengaruh beda nyata terhadap 90 ml (A4) dan tidak berpengaruh beda nyata terhadap perlakuan aplikasi Jamur Metarhizium anisopliae lainnya. Rata-rata kadar P dalam tanah di setiap percobaan tergolong dalam kategori sedang dimana kadar P yang baik untuk sebesar 25-50. Hasil analisa uji jamur Metarhizium anisopliae menunjukkan kandungan P sebesar 0,010%. Dimana kandungan posfor dalam jamur Metarhizium anisopliae mampu memberikan dampak bagi perlakuan 30 ml (A1). Hasil uji fungsi

pelarut fosfat dalam jamur Metarhizium anisopliae menunjukkan hasil yang positif dimana jamur Metarhizium anisopliae memiliki kemampuan untuk melarutkan fosfat yang ada didalam tanah sehingga dapat menyalurkan ke dalam tanaman.

Kalium tersedia pada lahan yang diaplikasikan jamur Metarhizium anisopliae tertinggi sebesar 0,28 pada perlakuan 70 ml (A3) dan terendah 0,16 pada perlakuan kontrol dan 90 ml (A4) (Tabel 4). Hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa pada setiap perlakuan pengalokasian jamur Metarhizium anisopliae tidak berbeda nyata terhasap setiap perlakuannya. Pada perlakuan dosis 70 ml jamur Metarhizium anisopliae menunjukkan hasil yang positif dari perlakuan kontrol atau tanpa pengaplikasian jamur Metarhizium anisopliae. Hasil uji pada cairan jamur Metarhizium anisopliae memiliki nilai K total sebesar 0,050 %. Nilai ini termasuk dalam kategori yang rendah sehingga mengakibatkan tidak beda nyata terhadap setiap percobaan, namun dapat memberikan hasil positif atau peningkatan dalam perlakuan A3 (70 ml). Faktor pH dalam jamur Metarhizium anisopliae yang asam sebesar 3,1 juga dapat mempengaruhi kandungan kalium dalam tanah.

Tabel 4 menunjukkan bahwa setiap perlakuan menunjukan tidak adanya perbedaan nyata terhadap perlakuan aplikasi jamur Metarhizium anisopliae lainnya. Faktor

yang mempengaruhi nilai KPK tanah salah satunya tekstur tanah, tekstur tanah pada lahan kebun Wedomartani memiliki komposisi pasir yang tinggi sebesar 86,39% yang dimana daya serap pertukaran kation menjadi rendah karena partikel pasir yang kecil. pH tanah yang rendah juga dapat mempengaruhi aktivitas pertukaran kation dalam tanah. Cairan jamur *Metarhizium anisopliae* memiliki pH sebesar 3,12 dimana keadaan ini dikategorikan asam dan pH tanah dalam kondisi tanpa pemberian jamur *Metarhizium anisopliae* sebesar 6,7 kondisi ini dikategorikan normal. Kondisi pH ini dapat menyebabkan keadaan tanah lebih asam jika diberikan dosis yang lebih besar sehingga dapat mempengaruhi aktivitas pertukaran kation.

KESIMPULAN

Hasil pemberian jamur *Metarhizium anisopliae* pada semua perlakuan tidak menunjukkan beda nyata pada parameter pH tanah, C- Organik, N-Total, K-Tersedia dan KPK, tetapi menunjukkan beda nyata pada perlakuan P-Tersedia dengan hasil tertinggi pada A1 (30 ml). Perlu dilakukan penelitian lanjut mengenai sifat biologi tanah seperti jumlah mikroba dalam tanah dan juga jamur *Metarhizium anisopliae* sehingga dapat menghasilkan dampak yang positif untuk kesuburan tanah

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan kepada PT. Perkebunan Nusantara VIII (Persero) atas bantuan dana penelitian dan publikasi yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheong, L. R. N., Kwong, K. F. N. K., & Preez, C. C. D. (2009). Effects of sugar cane (*saccharum hybrid sp.*) cropping on soil acidity and exchangeable base status in mauritius. *South African Journal of Plant and Soil*, 26(1), 9–17. <https://doi.org/10.1080/02571862.2009.10639926>
- Gopalasundaram, P., A.Bhaskaran, & P.Rakkiyappan. (2012). Integrated Nutrient Management in Sugarcane. *Sugar Tech*, 14(1), 3–20. <https://doi.org/10.1007/s12355-011-0097-x>
- Hasan, A., Tabassum, B., & Hashim, M. (2024). *Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as a Plant Growth Enhancer for Sustainable Agriculture : A Review*. 59–75.
- Irawan, J., Rustam, R., & Fauzana, H. (2018). Uji Pestisida Nabati Sirih Hutan (*Piper aduncum L .*) terhadap Larva Kumbang Tanduk *Oryctes rhinoceros L .* pada Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Agroteknologi*, 9(1), 41–50.
- Khatoon, H., Solanki, P., Narayan, M., & Tewari, L. (2017). Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem. *International Journal of Chemical Studies*, 5(6), 1648–1656.
- Maruf, M., & Rahman, S. (2024). *Journal of Hazardous Materials Advances*

- Salmonella in the environment: A review on ecology , antimicrobial resistance , seafood contaminations , and human health implications ☆. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13(October 2023), 100407. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100407>
- Mesquita, E., Hu, S., Lima, T. B., Golo, P. S., & Bidochka, M. J. (2023). Utilization of *Metarhizium* as an insect biocontrol agent and a plant bioinoculant with special reference to Brazil. *Front. Sustain. Food Syst*, December, 1–10. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2023.1276287>
- Minasny, B., & McBratney, A. B. (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 39–47. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>
- Muflihani, A. R., Mulyasari, G., Yuliarso, M. Z., & Sulistyowati, E. (2024). Analisa Sistem Agribisnis pada Tanaman Kelapa Sawit Rakyat. *Jurnal Agricultural Review*, 3(2), 82–95.
- Robinson, N., Brackin, R., Vinall, K., Soper, F., Holst, J., Gamage, H., Paungfoo-Lonhienne, C., Rennenberg, H., Lakshmanan, P., & Schmidt, S. (2011). Nitrate Paradigm Does Not Hold Up for Sugarcane. *PLoS ONE*, 6(4), e19045. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019045>
- Saleem, M. A., Ghaffar, A., Anjum, S. A., Cheema, M. ., & Bilal, M. F. (2012). Effect of Nitrogen on Growth and Yield of Sugarcane. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, 32, 75–93.
- Siqueira, A. C. O., Mascarin, G. M., Gonçalves, C. R. N. C. B., Marcon, J., Quecine, M. C., Figueira, A., & Delalibera, I. J. (2020). Multi-Trait Biochemical Features of *Metarhizium* Species and Their Activities That Stimulate the Growth of Tomato Plants. *Front. Sustain. Food Syst*, 4(September), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00137>
- Ukwattage, N. L., Li, Y., Gan, Y., Li, T., & Gamage, R. P. (2020). Effect of Biochar and Coal Fly Ash Soil Amendments on the Leaching Loss of Phosphorus in Subtropical Sandy Ultisols. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(2). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4393-5>
- Yang, Y., Gao, S., Su, Y., Lin, Z., Guo, J., Li, M., & Wang, Z. (2019). Transcripts and low nitrogen tolerance : Regulatory and metabolic pathways in sugarcane under low nitrogen stress. *Environmental and Experimental Botany*, 163(April), 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.04.010>