

**PENGARUH MACAM PEMUPUKAN NANOKOMPOS TERHADAP
PERTUMBUHAN BIBIT KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) FASE
MAIN NURSERY PADA DUA JENIS TANAH**

SKRIPSI

Oleh:

VALERIAN ENZA DANISWARA

NIM : 222.01.03.1010



**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
MALANG**

2026

**PENGARUH MACAM PEMUPUKAN NANOKOMPOS TERHADAP
PERTUMBUHAN BIBIT KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) FASE
MAIN NURSERY PADA DUA JENIS TANAH**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pertanian Strata
Satu (S-1)*

Oleh :

VALERIAN ENZA DANISWARA

NPM : 222.01.03.1010



**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
MALANG**

2026

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Pengaruh Macam Pemupukan Nanokompos Terhadap
Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Fase
Main Nursery Pada Dua Jenis Tanah

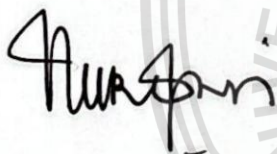
Nama Mahasiswa : Valerian Enza Daniswara

NPM : 22201031010

Program Studi : AGROTEKNOLOGI

Menyetujui

Pembimbing Pertama



Prof. Dr. Ir. Nurhidayati, M.P.

Pembimbing Kedua



Ir. Siti Muslikah, M.P.

Dekan



Dr. Ir. Anis Rosyidah, M. P.

Ketua Program Studi



Anila Qur'ania, S.P., M. Ling.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Penelitian : Pengaruh Macam Pemupukan Nanokompos Terhadap
Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)
Fase *Main Nursery* Pada Dua Jenis Tanah

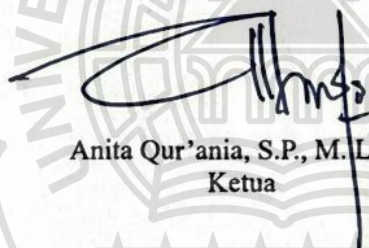
Nama Mahasiswa : Valerian Enza Daniswara

NPM : 22201031010

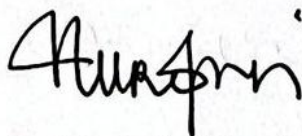
Program Studi : AGROTEKNOLOGI

Mengesahkan

Majelis Penguji



Anita Qur'ania, S.P., M. Ling.
Ketua



Prof. Dr. Ir. Nurhidayati, M.P.
Anggota



Ir. Siti Muslikah, M.P.
Anggota

PERNYATAAN KEASLIAN PENULIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Valerian Enza Daniswara

NPM : 22201031010

Prodi : Agroteknologi

Fakultas : Pertanian Universitas Islam Malang

Judul : Pengaruh Macam Pemupukan Nanokompos Terhadap
Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Fase
Main Nursery Pada Dua Jenis Tanah

Merupakan karya yang saya buat sendiri dan bukan merupakan bagian skripsi lain, apabila ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar, saya sanggup menerima sanksi akademik apapun yang ditetapkan oleh Universitas Islam Malang.

Malang, Februari 2026



Valerian Enza Daniswara
NIM. 22201031010

MOTTO

هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ

"Apakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui?"

(QS. Az-Zumar: 9)



PERSEMBAHAN

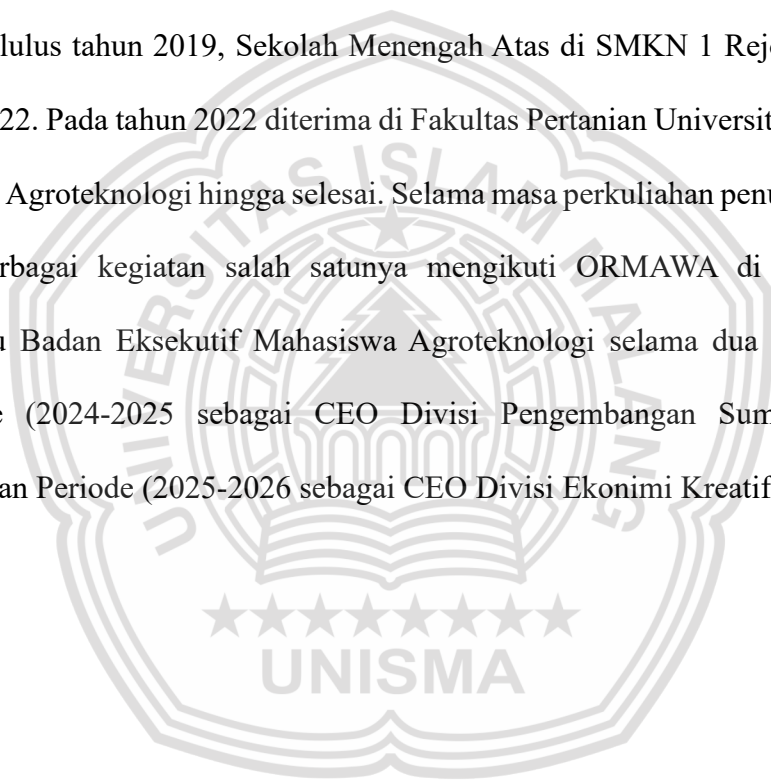
Puji syukur senantiasa terpanjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini tidak akan berjalan dengan lancar tanpa adanya doa, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini izinkan saya untuk mempersembahkan ucapan terima kasih kepada:

1. Kepada Bapak Muhamad Musaidin dan Ibu Eni Wulandari, orang tua yang tidak pernah sekalipun berhenti mendoakan penulis, bahkan di saat penulis sendiri hampir kehilangan arah. Kalian bekerja keras tanpa mengeluh, memberikan yang terbaik tanpa meminta apa pun kembali. Skripsi ini bukan hanya milik penulis, tetapi milik kalian juga, sebab tanpa kalian, penulis tidak akan pernah sampai di titik ini.
2. Untuk Ibu Prof. Dr. Ir. Nurhidayati, M.P. dan Ibu Ir. Siti Muslikah, M.P., terima kasih atas bimbingan, kesabaran, dan ilmu yang diberikan dengan tulus. Arahan kedua Ibu menjadi pegangan penulis di setiap langkah penyelesaian skripsi ini.
3. Untuk teman-teman seperjuangan yang telah bersama melewati suka dan duka masa perkuliahan. Kalian hadir di saat semangat mulai goyah dan selalu ada untuk saling menguatkan. Kebersamaan yang kita jalani bersama adalah bagian dari perjalanan hidup yang akan selalu penulis kenang dengan penuh rasa syukur.
4. Untuk Kota Malang, terima kasih telah menjadi tempat penulis bertumbuh, belajar, dan menemukan banyak hal berharga. Kota ini akan selalu memiliki tempat tersendiri dalam ingatan penulis.

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Tulungagung, pada tanggal 27 Maret 2004 sebagai putra tunggal dari pasangan Ayah Muhamad Musaidin dan Ibu Eni Wulandari. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Demuk II, Desa Demuk, Kabupaten Tulungagung lulus pada tahun 2016, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Pucanglaban, Kec. Pucanglaban, Kota Tulungagung lulus tahun 2019, Sekolah Menengah Atas di SMKN 1 Rejotangan, lulus tahun 2022. Pada tahun 2022 diterima di Fakultas Pertanian Universitas Islam Malang, Prodi Agroteknologi hingga selesai. Selama masa perkuliahan penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan salah satunya mengikuti ORMAWA di lingkup Fakultas yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa Agroteknologi selama dua Periode, yaitu Periode (2024-2025 sebagai CEO Divisi Pengembangan Sumberdaya Mahasiswa) dan Periode (2025-2026 sebagai CEO Divisi Ekonomi Kreatif).



KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, saya panjatkan kehadiran ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-NYA sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan tepat waktu.

Adapun judul dari skripsi ini adalah **“Pengaruh Macam Pemupukan Nanokompos Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* jacq.) Fase *Main nursery* Pada Dua Jenis Tanah”** yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan tingkat Strata Satu (S1), pada program studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Islam Malang (UNISMA).

Kesempatan kali ini peneliti mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Anis Rosyidah, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian yang telah membantu hal hal yang dalam menyelesaikan penyusunan skripsi.
2. Ibu Anita Qur'ania, S.P., M.Ling. selaku Ketua Program Studi Agroteknologi sekaligus Dosen Penguji sidang skripsi yang telah berkenan meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam mengarahkan penulis selama proses penyusunan skripsi.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Nurhidayati, M.P. selaku dosen pembimbing I sekaligus penyandang dana penelitian yang telah berkenan meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan dalam menyelesaikan penyusunan skripsi.
4. Ibu Ir. Siti Muslikah, M.P. selaku dosen pembimbing II telah berkenan meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan dalam menyelesaikan penyusunan skripsi.

5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang terlibat dalam kegiatan dan penyusunan skripsi.

Saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini, untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat saya harapkan demi perbaikan pada kegiatan selanjutnya. Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca yang membutuhkannya.



ABSTRAK

Pengaruh Macam Pemupukan Nanokompos Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Fase *Main nursery* Pada Dua Jenis Tanah

Di bawah bimbingan : 1. Prof. Dr. Ir. Nurhidayati, MP.
2. Ir. Siti Muslikah, M.P.

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas strategis yang berkontribusi besar terhadap devisa dan penyerapan tenaga kerja di Indonesia. Peningkatan produktivitas, khususnya pada tahap pembibitan, perlu didukung oleh teknik pemupukan yang efisien dan berkelanjutan. Penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus dapat menurunkan kualitas tanah, sehingga diperlukan alternatif seperti pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan kotoran sapi yang diolah menjadi nanokompos. Nanokompos memiliki ukuran partikel lebih kecil sehingga meningkatkan efektivitas pelepasan hara. Respons tanaman juga dipengaruhi oleh jenis tanah, seperti Ultisol dan Inceptisol, yang memiliki karakteristik berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis interaksi jenis tanah dan kombinasi nanokompos dengan pengurangan pupuk anorganik terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit fase *main nursery*.

Penelitian dilaksanakan di greenhouse Dusun Jewo, Pasuruan, pada Maret–Oktober 2025 menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dua faktor, yaitu jenis tanah (S1 = Ultisol dan S2 = Inceptisol) serta dosis pupuk (T0 = kontrol, T1 = 100% anorganik, T2 = 100% nanokompos, T3 = 50% nanokompos + 50% anorganik, T4 = 75% nanokompos + 25% anorganik). Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, jumlah pelepah, luas daun, panjang pelepah, klorofil, berat segar total, dan berat kering total. Data dianalisis menggunakan ANOVA taraf 5% dan dilanjutkan uji BNJ 5% apabila berbeda nyata.

Hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi nyata antara jenis tanah dan kombinasi pupuk terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit. Perlakuan S1T4 (Ultisol + 75% nanokompos + 25% anorganik) dan S1T3 (Ultisol + 50% nanokompos + 50% anorganik) memberikan pengaruh terbaik, terutama pada parameter jumlah pelepah dan kandungan klorofil. Pengurangan pupuk anorganik hingga 75% melalui kombinasi nanokompos (T4) tetap mampu meningkatkan pertumbuhan dibandingkan T1 (100% anorganik) maupun T2 (100% nanokompos). Secara umum, pertumbuhan bibit sawit pada tanah S1 (Ultisol) menunjukkan respons lebih baik dibandingkan S2 (Inceptisol), dengan penambahan nanokompos dan pengurangan pupuk anorganik, sehingga berpotensi menjadi strategi pemupukan yang lebih efisien dan berkelanjutan pada fase *main nursery* tanaman sawit.

ABSTRACT

The Effect of Nanocompost Fertilization Types on the Growth of Oil Palm Seedlings (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the Main Nursery Phase on Two Soil Types

Under the supervision of: 1. Prof. Dr. Ir. Nurhidayati, MP.

2. Ir. Siti Muslikah, M.P.

Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) is a strategic commodity that contributes significantly to foreign exchange earnings and employment absorption in Indonesia. Improving productivity, particularly at the seedling stage, needs to be supported by efficient and sustainable fertilization techniques. The continuous use of inorganic fertilizers can degrade soil quality, making alternatives such as the utilization of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) and cow manure processed into nanocompost necessary. Nanocompost has smaller particle sizes, thereby enhancing the effectiveness of nutrient release. Plant responses are also influenced by soil type, such as Ultisol and Inceptisol, which have different characteristics. Therefore, this study aims to analyze the interaction between soil type and the combination of nanocompost with reduced inorganic fertilizer on the growth of oil palm seedlings in the main nursery phase.

The study was conducted in a greenhouse in Jewo Hamlet, Pasuruan, from March to October 2025, using a two-factor factorial Randomized Complete Block Design (RCBD), namely soil type (S1 = Ultisol and S2 = Inceptisol) and fertilizer dosage (T0 = control, T1 = 100% inorganic, T2 = 100% nanocompost, T3 = 50% nanocompost + 50% inorganic, T4 = 75% nanocompost + 25% inorganic). Parameters observed included plant height, stem diameter, number of fronds, leaf area, frond length, chlorophyll content, total fresh weight, and total dry weight. Data were analyzed using ANOVA at a 5% significance level, followed by the HSD (Honestly Significant Difference) test at 5% where significant differences were found.

The results showed a significant interaction between soil type and fertilizer combination on the growth of oil palm seedlings. The S1T4 treatment (Ultisol + 75% nanocompost + 25% inorganic) and S1T3 (Ultisol + 50% nanocompost + 50% inorganic) produced the best outcomes, particularly in the parameters of number of fronds and chlorophyll content. A reduction of inorganic fertilizer by up to 75% through nanocompost combination (T4) was still able to enhance growth compared to T1 (100% inorganic) and T2 (100% nanocompost). Overall, oil palm seedling growth on S1 soil (Ultisol) showed a better response than S2 (Inceptisol) with the addition of nanocompost and reduction of inorganic fertilizer, making it a potentially more efficient and sustainable fertilization strategy for the main nursery phase of oil palm.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas strategis yang berkontribusi besar terhadap devisa dan penyerapan tenaga kerja di Indonesia (Rahmawati, 2023). Indonesia saat ini menjadi produsen sekaligus eksportir minyak sawit terbesar di dunia dengan luas areal perkebunan mencapai 15,93 juta hektar pada tahun 2023, di mana Provinsi Riau menjadi sentra produksi terluas sebesar 3,40 juta hektar atau 21,36% dari total luas nasional (BPS, 2024). Ekspor minyak sawit Indonesia tercatat sebesar 27,54 juta ton pada tahun 2023, berkontribusi sekitar 10,18% dari total nilai ekspor non-migas nasional (GAPKI, 2025). Kelapa sawit memiliki produktivitas minyak per hektar jauh lebih tinggi dibandingkan tanaman penghasil minyak nabati lainnya, sehingga menjadikannya unggul secara ekonomi dan berkelanjutan dalam menghadapi persaingan global (Judijanto, 2025). Hal tersebut mengharuskan adanya peningkatan produktivitas di setiap tahapan budidaya, terutama pada fase pembibitan yang menjadi prioritas utama dalam mempertahankan daya saing industri minyak sawit Indonesia.

Kualitas bibit yang dihasilkan pada tahap pembibitan sangat menentukan keberhasilan budidaya kelapa sawit di lapangan (Waruwu *et al.*, 2018). Fase *main nursery* merupakan periode kritis di mana bibit dipindahkan ke polybag yang lebih besar selama 6-9 bulan hingga memenuhi syarat tanam (Purnama & Afrillah, 2022). Pada fase ini terjadi peningkatan pesat aktivitas fotosintesis, pembentukan daun, dan perkembangan sistem perakaran sehingga kebutuhan unsur hara meningkat secara signifikan (Gusmawartati *et al.*, 2025). Pengelolaan pemupukan yang tidak tepat pada fase ini dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman yang terhambat

bahkan hingga masa produksi (Purwosetyoko *et al.*, 2022). Dengan demikian, teknik pemupukan yang efisien pada fase pembibitan menjadi kunci dalam menghasilkan bibit kelapa sawit berkualitas untuk mendukung produktivitas perkebunan secara keseluruhan.

Dalam praktik pembibitan kelapa sawit, pemenuhan kebutuhan hara bibit seringkali masih mengandalkan penggunaan pupuk anorganik sebagai sumber hara utama. Pupuk anorganik yang sering digunakan selama masa pembibitan kelapa sawit meliputi Urea (N), Rock Phosphate (P), MOP (K), Kieserite (Mg), dan HGFB (B) (Prasetyo *et al.*, 2023). Pupuk anorganik selama ini menjadi andalan dalam pembibitan kelapa sawit karena mampu menyediakan unsur hara secara cepat dan terukur (Kasno & Anggria, 2017). Namun, penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus dan berlebihan terbukti merusak struktur tanah dan menurunkan kandungan bahan organik tanah (Ariyanti *et al.*, 2017). Penumpukan pupuk anorganik dapat meningkatkan konduktivitas listrik tanah dan menurunkan aktivitas mikroorganisme, serta menyebabkan kehilangan unsur hara melalui pencucian dan volatilisasi yang berpotensi mencemari lingkungan (Park *et al.*, 2019). Kondisi ini mendorong perlunya inovasi pemupukan yang mampu mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik tanpa mengorbankan kualitas pertumbuhan bibit kelapa sawit, salah satunya pemanfaatan pupuk organik.

Salah satu sumber bahan organik yang potensial adalah pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan kotoran sapi merupakan dua sumber bahan organik potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pemupukan berkelanjutan (Abdulraheem *et al.*, 2023). TKKS mencakup sekitar 20-25% dari berat tandan buah segar dan mengandung sekitar 1,3-1,6%

nitrogen, 0,4-0,6% fosfor, serta 6,5-7,5% kalium per ton bahan kering, menjadikannya bahan organik kaya nutrisi terutama kalium yang penting bagi keseimbangan fisiologis tanaman (Wibowo *et al.*, 2024). Kandungan hara tersebut menjadikan TKKS berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan kompos dalam sistem pembibitan kelapa sawit. Aplikasi kompos TKKS dilaporkan mampu meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit di pembibitan, terutama pada parameter diameter batang dan volume akar melalui perbaikan sifat fisik dan kimia tanah serta peningkatan ketersediaan unsur hara bagi tanaman (Fauzi & Puspita, 2017). Selain TKKS, kotoran sapi juga merupakan sumber pupuk organik yang banyak digunakan karena mengandung sekitar 1,0-1,8% nitrogen, 0,5-1,0% fosfor (P_2O_5), 1,0-2,0% kalium (K_2O), serta bahan organik 45-60% yang berkontribusi pada peningkatan agregasi dan porositas tanah, kemampuan pertukaran kation, serta aktivitas mikroorganisme (Nawir *et al.*, 2025). Pengomposan bersama antara TKKS dan kotoran sapi menghasilkan kompos dengan keseimbangan rasio C/N yang lebih baik dan kualitas nutrisi yang lebih lengkap (Das *et al.*, 2017). Pemanfaatan material organik yang berasal dari limbah industri kelapa sawit sebagai pupuk organik juga diharapkan mampu memperbaiki pertumbuhan bibit sekaligus meningkatkan efektivitas pemupukan secara berkelanjutan (Yaakob *et al.*, 2023). Sejalan dengan hal tersebut, beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa aplikasi kompos tandan kosong kelapa sawit terbukti meningkatkan ketersediaan nutrisi dan merangsang perkembangan bibit kelapa sawit pada tahap pembibitan (Lau *et al.*, 2024).

Namun demikian, kompos konvensional masih memiliki keterbatasan dalam kecepatan pelepasan hara, sehingga mendorong lahirnya inovasi teknologi

berupa nanokompos, Nanokompos merupakan kompos dengan ukuran partikel skala nano (1-100 nm) yang memiliki luas permukaan lebih besar dan reaktivitas kimia lebih tinggi, sehingga mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara sebesar 20-40% dan mengurangi kehilangan hara melalui pelindian sebesar 25-35% dibandingkan kompos konvensional (Pandey *et al.*, 2024). Keunggulan nanokompos tersebut telah dibuktikan oleh Azzarah & Sholihah (2025) yang melaporkan bahwa aplikasi nanokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO dan SiO₂ secara nyata meningkatkan tinggi bibit, diameter batang, dan kandungan klorofil daun kelapa sawit pada fase *main nursery* dibandingkan kompos konvensional. Selain faktor pupuk, respons pertumbuhan bibit juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik jenis tanah yang digunakan sebagai media tanam (Barlóg *et al.*, 2022), di mana Ultisol dan Inceptisol sebagai dua jenis tanah yang umum dijumpai di areal perkebunan kelapa sawit Indonesia memiliki sifat yang berbeda, Ultisol memiliki keasaman tinggi dan kapasitas pertukaran kation yang rendah (Pulunggono *et al.*, 2022), sedangkan Inceptisol memiliki karakteristik kimia yang lebih baik namun tingkat kesuburannya masih bervariasi (Wulandari *et al.*, 2024). Meskipun potensi nanokompos telah dibuktikan, penelitian sebelumnya umumnya masih terfokus pada penggunaan kompos konvensional dengan satu jenis tanah dan satu aspek perlakuan secara terpisah, sehingga belum mampu menggambarkan interaksi antara nanokompos dan karakteristik jenis tanah secara komprehensif. Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya penelitian yang mengintegrasikan nanokompos campuran TKKS dan kotoran sapi, pengurangan pupuk anorganik, serta variasi jenis tanah guna menghasilkan rekomendasi pemupukan yang efisien dan berkelanjutan untuk pembibitan kelapa sawit.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh interaksi antara jenis tanah dan macam pemupukan nanokompos terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery* di tanah Ultisol dan Inceptisol?
2. Bagaimana pengaruh macam pemupukan nanokompos terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery*?
3. Apakah terdapat perbedaan respons pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery* antara tanah Ultisol dan Inceptisol?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh interaksi antara jenis tanah dan macam pemupukan nanokompos terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery*.
2. Menganalisis pengaruh macam pemupukan nanokompos terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery*.
3. Menganalisis perbedaan respons pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery* antara tanah Ultisol dan Inceptisol.

1.4 Hipotesis

1. Diduga terdapat interaksi yang nyata antara jenis tanah dan macam pemupukan nanokompos terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery*.
2. Diduga pemberian pupuk anorganik dengan penambahan nanokompos berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery*.
3. Diduga terdapat perbedaan respons pertumbuhan bibit kelapa sawit pada fase *main nursery* antara tanah Ultisol dan Inceptisol.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh interaksi antara jenis tanah dan macam pemupukan nanokompos terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit fase *main nursery*. Interaksi terbaik ditunjukkan oleh perlakuan S1T4 (tanah Ultisol + 75% nanokompos + 25% pupuk anorganik) dan S1T3 (tanah Ultisol + 50% nanokompos + 50% pupuk anorganik), yang menghasilkan jumlah pelepah dan kandungan klorofil tertinggi. Pada tanah Inceptisol, perlakuan S2T4 (tanah Inceptisol dengan 75% Nanokompos (TKKS + kotoran sapi) dan 25% pupuk anorganik) memberikan pertumbuhan bibit yang lebih baik.
2. Pemupukan nanokompos 75% dan pupuk anorganik 25% memberikan hasil terbaik dibandingkan 100% pupuk anorganik maupun 100% nanokompos.
3. Respons pertumbuhan bibit kelapa sawit berbeda antara tanah Ultisol dan Inceptisol. Tanah Ultisol menunjukkan respons yang lebih baik terhadap aplikasi nanokompos dibandingkan tanah Inceptisol.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini disarankan pembibitan sawit untuk menggunakan tanah Ultisol dengan pemupukan nanokompos 75% dan pupuk anorganik 25%. Selain itu, Perlu dilakukan penelitian lanjutan pada tanaman sawit muda untuk mengetahui konsistensi pengaruh perlakuan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M.H., L.R. Handika, H. Iswahyudi, M. Lukmana, L. Rahmawati, I. Indriani, D.A. Widiyastuti. 2024. Kompos tandan kosong kelapa sawit, hubungannya dengan karakter tanah dan hasil tanaman terong ungu. *Jurnal Pertanian* 15(2): 108–122. <https://doi.org/10.30997/jp.v15i2.13717>
- Abid, M., T. Batool, G. Siddique, S. Ali, R. Binyamin, M.J. Shahid, M. Rizwan, A.A. Alsahli, M.N. Alyemeni. 2020. Integrated nutrient management enhances soil quality and crop productivity in maize-based cropping system. *Sustainability* 12(23): 10214. <https://doi.org/10.3390/su122310214>
- Abubakar, A., M.Y. Ishak, M.K. Uddin, A.A. Bakar, M.U. Mohammed. 2022. What does modelling tells us on the influence of certain weather parameters on oil palm production in Peninsular Malaysia. *Indian Journal of Agricultural Research*. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-715>
- Adame, C.R., R.S. Carlos, L.B. Braos, M.E. Ferreira, M.C.P. da Cruz. 2024. Organic nitrogen forms in soils treated with cattle manure. *Nitrogen* 5(1): 91–105. <https://doi.org/10.3390/nitrogen5010007>
- Adekiya, A.O., T.M. Agbede, T.E. Lawal. 2025. Effects of co-application of animal manures, *Chromolaena odorata* and NPK fertilizer on soil properties, carrot yield and nutrient content in a tropical agroecosystem. *Natural and Life Sciences Communications* 24(4). <https://doi.org/10.12982/NLSC.2025.073>
- Adip, M.E., J.J. Anak Meringgai, N. Abdul Aziz, M.K. Che Lah, N. Yusoff. 2022. Growth performance of oil palm seedlings on different types of organic fertilizer. *Journal of Agrobiotechnology* 13(2): 65–75. <https://doi.org/10.37231/jab.2022.13.2.325>
- Ahmad, I., G. Zhou, G. Zhu, Z. Ahmad, X. Song, G. Hao, Y. Jamal, M.E.H. Ibrahim. 2021. Response of leaf characteristics of BT cotton plants to ratio of nitrogen, phosphorus and potassium. *Pakistan Journal of Botany* 53(3). [https://doi.org/10.30848/PJB2021-3\(33\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(33))
- Ahmed, D.M., G.H. Hamad. 2023. Effects of soil types and mango (*Mangifera indica* L.) humus on growth and survival of some tree seedlings in the nursery. *Universit ofKhartoum Journal of Agricultural Sciences* 23(1). [http s://doi.org/10.53332/uofkjas.v23i1.1843](http://s://doi.org/10.53332/uofkjas.v23i1.1843)
- Aikpokpodion, P.E., B.S. Hsiao, C.O. Dimkpa. 2024. Mitigation of nitrogen losses in a plant–soil system through incorporation of nanocellulose and zinc-modified nanocellulose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 72(31): 17295–17305. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c03997>
- Akmal, M., Z. Maqbool, K.S. Khan, Q. Hussain, S.S. Ijaz, M. Iqbal, I. Aziz, A. Hussain, M.S. Abbas, H.U. Rafa. 2019. Integrated use of biochar and compost to improve soil microbial activity, nutrient availability, and plant

growth in arid soil. *Arabian Journal of Geosciences* 12(7): 232. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4414-0>

- Alibasyah, M.R. 2016. Perubahan beberapa sifat fisika dan kimia ultisol akibat pemberian pupuk kompos dan kapur dolomit pada lahan berteras. *Jurnal Floratek* 11(1).
- Aprilia, R.L., S. Sukur. 2022. Kajian sifat fisik, kimia, dan biologi pada tanah berpasir di beberapa wilayah Indonesia. *Agronu: Jurnal Agroteknologi* 1(02): 71–79. <https://doi.org/10.53863/agronu.v1i02.475>
- Ariyanti, M., G. Natali, C. Suherman. 2017. Respons pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap pemberian pupuk organik asal pelepah kelapa sawit dan pupuk majemuk NPK. *Agrikultura* 28(2). <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v28i2.14955>
- Ariyanti, M., I.R. Dewi, Y. Maxiselly, Y.A. Chandra. 2018. Pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan komposisi media tanam dan interval penyiraman yang berbeda. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit* 26(1): 11–22. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v26i1.58>
- Asih, R., H. Nurdiansah, B. Priyanto, M.A. Baqiya, M. Zainuri, D. Darminto. 2025. Inovasi pupuk nano-grafena/N/P/K cair sebagai upaya pengurangan pupuk kimia pada pertanian padi di Dusun Tegal Rejo, Lembayan Wetan, Magetan. *Sewagati* 9(6): 1600–1609. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i6.9082>
- Ayenew, B.M., N. Satheesh, Z.B. Zegeye, D.A. Kassie. 2025. A review on the production of nanofertilizers and its application in agriculture. *Heliyon* 11(1): e41243. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41243>
- Azzarah, A., A. Sholihah. 2025. Aplikasi nano kompos, nano partikel ZnO dan SiO₂ pada pertumbuhan bibit (*main nursery*) tanaman sawit. *Jurnal Folium* 9(2).
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2024. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2023*. BPS-Statistics Indonesia. Jakarta.
- Bakewell-Stone, P. 2023. *Elaeis guineensis* (African oil palm). *CABI Compendium*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.20295>
- Bao, A.P., U.N. Limbu, M. Lauda Pati, E. Dhey, K. Lalu. 2024. Tissue culture of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq): techniques and applications in genetic breeding. *International Journal of Life Science and Agriculture Research* 3(12). <https://doi.org/10.55677/ijlsar/V03I12Y2024-11>
- Barłóg, P., W. Grzebisz, R. Łukowiak. 2022. Fertilizers and fertilization strategies mitigating soil factors constraining efficiency of nitrogen in plant production. *Plants* 11(14): 1855. <https://doi.org/10.3390/plants11141855>

- Barrow, N.J., A.E. Hartemink. 2023. The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil* 487(1–2): 21–37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Bayda, S., M. Adeel, T. Tuccinardi, M. Cordani, F. Rizzolio. 2020. The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine. *Molecules* 25(1). <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>
- Behera, S.K., K. Suresh, B.N. Rao, K. Manoja, K. Manorama. 2016. Soil nutrient status and leaf nutrient norms in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations grown in the West Coastal Area of India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47(2): 255–262. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1118120>
- Behera, S.K., R.K. Mathur, A.K. Shukla, K. Suresh, C. Prakash. 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. *Catena* 165: 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.008>
- Benaud, P., K. Anderson, M. Evans, L. Farrow, M. Glendell, M.R. James, T.A. Quine, J.N. Quinton, B. Rawlins, R.J. Rickson, R.E. Brazier. 2020. National-scale geodata describe widespread accelerated soil erosion. *Geoderma* 371: 114378. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114378>
- Bhatt, R., K. Kunal, A.K. Garg, D. Majumder, K.K. Verma, M.W. de Oliveira. 2025. Soil texture: unlocking fertility and productivity for better crops. *Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews* 13(3): 396–408. <https://doi.org/10.21276/AATCCReview.2025.13.03.396>
- Cai, S., Y. Ma, Z. Bao, Z. Yang, X. Niu, Q. Meng, D. Qin, Y. Wang, J. Wan, X. Guo. 2024. The impacts of the C/N ratio on hydrogen sulfide emission and microbial community characteristics during chicken manure composting with wheat straw. *Agriculture* 14(6): 948. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060948>
- Cao, J., P. Zhao, D. Wang, Y. Zhao, Z. Wang, N. Zhong. 2023. Effects of a nanonetwork-structured soil conditioner on microbial community structure. *Biology* 12(5): 668. <https://doi.org/10.3390/biology12050668>
- Chiranjeeb, K., S. Kumar, R.S. Rana. 2024. Soil. Dalam *Environmental Nexus for Resource Management* hlm. 287–301. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003358169-14>
- Das, S., D. Liptzin, B. Maharjan. 2023. Long-term manure application improves soil health and stabilizes carbon in continuous maize production system. *Geoderma* 430: 116338. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116338>

- Das, S., S.T. Jeong, S. Das, P.J. Kim. 2017. Composted cattle manure increases microbial activity and soil fertility more than composted swine manure in a submerged rice paddy. *Frontiers in Microbiology* 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01702>
- Delgado, A., J.A. Gómez. 2016. The soil. Physical, chemical and biological properties. Dalam *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* hlm. 15–26. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_2
- Demeke, E.D., N.E. Benti, M.G. Terefe, T.T. Anbessa, W.M. Mengistu, Y.S. Mekonnen. 2025. A comprehensive review on nano-fertilizers: preparation, development, utilization, and prospects for sustainable agriculture in Ethiopia. *Nanoscale Advances* 7(8): 2131–2144. <https://doi.org/10.1039/D4NA01068J>
- Dyah Utami, A., H. Setyawan, H. Kusumatuti, W. Atmaka Aji. 2024. Pengaruh sifat tanah terhadap kejadian dan keparahan penyakit pada kelapa sawit main nursery. *CIWAL: Jurnal Pertanian* 2(2): 1–8. <https://doi.org/10.36928/ciwal.v2i2.1992>
- Eckhardt, D.P., M. Redin, N.A. Santana, L. De Conti, J. Dominguez, R.J.S. Jacques, Z.I. Antonioli. 2018. Cattle manure bioconversion effect on the availability of nitrogen, phosphorus, and potassium in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 42. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170327>
- Ekawati, R., A.H. Romadhoni. 2023. Aplikasi pupuk organik vermikompos sebagai komposisi media tanam pada pertumbuhan bibit kelapa sawit di pre-nursery. *Agrologia: Jurnal Ilmu Budidaya Tanaman* 12(2): 131–140. <https://doi.org/10.30598/ajibt.v12i2.10730>
- Emilia, I., L. Ardila, P. Anggraini. 2024. Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi pupuk kompos di Desa Suka Damai Kecamatan Tunggal Jaya Musi Banyuasin. *Environmental Science Journal (Esjo): Jurnal Ilmu Lingkungan* hlm. 34–39. <https://doi.org/10.31851/esjo.v2i2.15870>
- Erliana, I., A. Karim, Z. Zainabun. 2022. Klasifikasi tanah kebun kopi arabika di Kabupaten Gayo Lues berdasarkan sistem klasifikasi Soil Taxonomy USDA. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian* 7(1): 696–703. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v7i1.19049>
- Ermawati, E., Z. Kusuma, K.S. Wicaksono. 2023. Impact of land use on soil water retention in inceptisols of the upper Konto watershed. *Journal of Tropical Soils* 29(3): 167–177. <https://doi.org/10.5400/jts.2024.v29i3.167-177>
- Fatmawaty, A.A., N.N. Nurmayulis, S.S. Susiyanti, A.H. Sodik. 2024. Pengaruh intensitas cahaya terhadap jumlah klorofil dan laju fotosintesis pada berbagai usia bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal*

Agroekoteknologi 16(2): 88. <https://doi.org/10.33512/jur.agroekotetek.v16i2.22363>

- Fatunla, K., E. Inam, J. Essien, E. Dan, A. Odon, S. Kang, K.T. Semple. 2017. Influence of composting and thermal processing on the survival of microbial pathogens and nutritional status of Nigeria sewage sludge. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 6(4): 301–310. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0177-3>
- Fauzi, A., F. Puspita. 2017. Pemberian kompos TKKS dan pupuk P terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di pembibitan utama. *JOM FAPERTA* 4(2).
- GAPKI. 2025. Indonesia berupaya tingkatkan produksi sawit di 2025. <https://gapki.id/news/2025/01/13/indonesia-berupaya-tingkatkan-produksi-sawit-di-2025>
- Gattupalli, M., K. Dashora, M. Mishra, Z. Javed, G.D. Tripathi. 2023. Microbial bioprocess performance in nanoparticle-mediated composting. *Critical Reviews in Biotechnology* 43(8): 1193–1210. <https://doi.org/10.1080/07388551.2022.2106178>
- Gayduk, V., V. Linchenko. 2025. Circular economy in the regional agricultural industry. *Moscow Economic Journal* 10(4): 154–165. https://doi.org/10.55186/2413046X_2025_10_4_101
- Grossnickle, S. 2018. Seedling establishment on a forest restoration site. *Reforesta* (6): 110–139. <https://doi.org/10.21750/REFOR.6.09.62>
- Gusmawartati, I.R. Rahma Dini, A. Effendi, E. Ariani. 2025. Optimizing oil palm seedling growth (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the main nursery using NPK fertilizer and mycorrhizal biofertilizer. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)* 7(1). <https://doi.org/10.36378/juatika.v7i1.3904>
- Hapsoh, H., I.R. Dini, W. Wawan, A.H. Sianipar. 2020. The growth of oil palm seedlings using a combination medium of organic oil palm empty fruit bunch and NPK fertilizer at main nursery. *Journal of Tropical Soils* 25(2): 61–69. <https://doi.org/10.5400/jts.2020.v25i2.61-69>
- Ho, T.T.K., V.T. Tra, T.H. Le, N.K.Q. Nguyen, C.S. Tran, P.T. Nguyen, T.D.H. Vo, V.N. Thai, X.T. Bui. 2022. Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 6: 100211. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100211>
- Howe, J.A., M.D. McDonald, J. Burke, I. Robertson, H. Coker, T.J. Gentry, K.L. Lewis. 2024. Influence of fertilizer and manure inputs on soil health: a review. *Soil Security* 16: 100155. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100155>

- Iderawumi Abdulraheem, M., J. Hu, S. Ahmed, L. Li, S.M.Z.A. Naqvi. 2023. Advances in the use of organic and organomineral fertilizers in sustainable agricultural production. Dalam *Organic Fertilizers - New Advances and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001465>
- Izydorczyk, G., K. Mikula, D. Skrzypczak, A. Witek-Krowiak, K. Chojnacka. 2022. Granulation as the method of rational fertilizer application. Dalam *Smart Agrochemicals for Sustainable Agriculture* hlm. 163–184. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817036-6.00003-0>
- Jayara, A.S., R. Kumar, P. Pandey, S. Singh, A. Shukla, A.P. Singh, S. Pandey, R.L. Meena, K.I. Reddy. 2023. Boosting nutrient use efficiency through fertilizer use management. *Applied Ecology and Environmental Research* 21(4): 2931–2952. https://doi.org/10.15666/aer/2104_29312952
- Jia, Q., L. Yang, H. An, S. Dong, S. Chang, C. Zhang, Y. Liu, F. Hou. 2020. Nitrogen fertilization and planting models regulate maize productivity, nitrate and root distributions in semi-arid regions. *Soil and Tillage Research* 200: 104636. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104636>
- Judijanto, L. 2025. Palm oil: A choice for balancing economic benefits and environmental sustainability. *Growth* 12(1): 33-40. <https://doi.org/10.20448/growth.v12i1.6955>
- Kamel, W.M. 2025. The role of nano fertilizers and compost in improving agricultural soil properties and their impact on faba bean productivity. *BIO Web of Conferences* 150: 03004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202515003004>
- Karmakar, S., A. Bhattacharyya, B. Ghosh, R. Roy, S. Kumar, B. Kar, G. Saha. 2020. Suitability of coupling application of organic and inorganic fertilizers for crop cultivation. Dalam *Ecological and Practical Applications for Sustainable Agriculture* hlm. 149–177. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3372-3_8
- Karppinen, E.M., J. Payment, S. Chatterton, J.D. Bainard, M. Hubbard, Y. Gan, L.D. Bainard. 2020. Distribution and abundance of *Aphanomyces euteiches* in agricultural soils: effect of land use type, soil properties, and crop management practices. *Applied Soil Ecology* 150: 103470. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103470>
- Kasno, A., L. Anggria. 2017. Peningkatan pertumbuhan kelapa sawit di pembibitan dengan pemupukan NPK. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 22(3): 107–114. <https://doi.org/10.21082/litri.v22n3.2016.107-114>
- Khairani, S., T.H. Purba, J. Sembiring. 2024. Respon pemberian pupuk nitrogen dan media tanam terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di main nursery. *Agroprimatech* 8(2): 14–25. <https://doi.org/10.34012/agroprimatech.v8i2.5598>

- Khalifa, T.H., S.A. Mariey, Z.E. Ghareeb, I.A. Khatab, A. Alyamani. 2022. Effect of organic amendments and nano-zinc foliar application on alleviation of water stress in some soil properties and water productivity of barley yield. *Agronomy* 12(3): 585. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030585>
- Kumari, R. 2024. Effect of zeolite/hydroxyapatite nanofertilizer on soil quality, nutrients status and plant productivity in *Solanum melongena*. *Current Agriculture Research Journal* 12(2): 997–1007. <https://doi.org/10.12944/CARJ.12.2.40>
- Kushwah, N., V. Billore, O.P. Sharma, D. Singh, A.P.S. Chauhan. 2023. Integrated nutrient management for optimal plant health and crop yield. *Plant Science Archives* 8(2): 10–12. <https://doi.org/10.51470/PSA.2023.8.2.10>
- Lasheen, F.F., A.H. Negm, S.E. Hassan, E. Azab, A.A. Gobouri, M. Hewidy. 2021. Nitrogen, phosphorous, and potassium application rate on the young seedling growth of *Salvadora persica*. *Agriculture* 11(4): 291. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040291>
- Lau, G.W., P.J.H. King, J.K. Chubo, I.C. King, K.H. Ong, Z. Ismail, T. Robin, I.H. Shamsi. 2024. The potential benefits of palm oil waste-derived compost in embracing the circular economy. *Agronomy* 14(11): 2517. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112517>
- Lee, C., S. Choi, D.I. Leskovar. 2025. SiO₂ and ZnO nanoparticles and salinity stress responses in hydroponic lettuce: selectivity, antagonism, and interactive dynamics. *Frontiers in Plant Science* 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1634675>
- Legesse, N., W. Sheng, W. Yao, G. Manqin, L. Peishi, H. Yu, X. Hongjun, H. HongXiang, M. Youhua. 2023. Optimal fertilizer rates towards the improvement of nitrogen use efficiency and reduction of nitrogen export in paddy rice wheat intensive farming. *Frontiers in Environmental Science* 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1239785>
- Lubis, W.O. 2016. The effect of fertilizer urea and KCl on Ultisol and Inceptisol toward soil chemical properties on corn (*Zea mays* L.) growth. *Agrotech Journal* 1(1): 50–55. <https://doi.org/10.31327/atj.v1i1.209>
- Madlala, N.C., N. Khanyile, A. Masenya. 2024. Examining the correlation between the inorganic nano-fertilizer physical properties and their impact on crop performance and nutrient uptake efficiency. *Nanomaterials* 14(15): 1263. <https://doi.org/10.3390/nano14151263>
- Mamani, L.Q. 2025. Caracterización morfofisiológica de especies de palmeras en etapa de vivero en la Estación Experimental Sapecho. *Revista Apthapi* 2830. <https://doi.org/10.53287/oueo7678ve55p>

- Mandal, T.K. 2024. ZnO nanoparticles: sustainable plant production hlm. 259–281. https://doi.org/10.1007/978-3-031-41329-2_10
- Mao, Y., W. Hu, Y. Li, Y. Li, B. Lei, Y. Zheng. 2023. Long-term cattle manure addition enhances soil-available phosphorus fractions in subtropical open-field rotated vegetable systems. *Frontiers in Plant Science* 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1138207>
- Maynard, E.T., W. Guan, P. Langenhoven, L. Hoagland. 2025. Tomato seedling performance in five commercial organic growing media with and without supplemental fertilizer. *HortTechnology* 35(4): 455–469. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05594-24>
- Mehta, S., A. Thakur, I. Kurbah, N. Chauhan, R. Thakur. 2024. Nanotechnology in plant nutrition: ensuring sustainable agriculture through nanofertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 187(5): 589–603. <https://doi.org/10.1002/jpln.202300288>
- Mim, J.J., S.M.M. Rahman, F. Khan, D. Paul, S. Sikder, H.P. Das, S. Khan, N.T. Orny, Md.R. Hossain Shuvo, N. Hossain. 2025. Towards smart agriculture through nano-fertilizer - a review. *Materials Today Sustainability* 30: 101100. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2025.101100>
- Mironiuk, M., G. Izydorczyk. 2022. Toward increasing efficiency of fertilization. Dalam *Smart Agrochemicals for Sustainable Agriculture* hlm. 139–162. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817036-6.00005-4>
- Muslim, R.Q., P. Kricella, M.M. Pratamaningsih, S. Purwanto, E. Suryani, S. Ritung. 2020. Characteristics of inceptisols derived from basaltic andesite from several locations in volcanic landform. *Sains Tanah - Journal of Soil Science and Agroclimatology* 17(2): 115. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v17i2.38221>
- Nagaraju, K., T.N.V.K.V. Prasad, M.S. Chari, Y.R. Ramu, B.R. Murthy. 2023. Synthesis and characterization of rice husk nanobiochar-based N and K fertilizers: promoting environmental sustainability in agriculture. *International Journal of Plant and Soil Science* 35(17): 254–261. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i173205>
- Nahriyah, M. 2024. Manajemen berkelanjutan dalam perkebunan kelapa sawit. *Peatland Agriculture and Climate Change Journal* 1(1). <https://doi.org/10.61511/pacc.v1i1.2024.725>
- Nawir, N.W.M., I. Israeni, A. Triana. 2025. Analisis kandungan unsur C-organik, nitrogen, fosfor, kalium pada kompos kotoran sapi dan isi rumen sapi. *Agrovital: Jurnal Ilmu Pertanian* 10(2): 112. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v10i2.6373>

- Netam, U., D. Sharma, A. Dixit, A.S. Bargah, A.K. Rajwade. 2025. A comprehensive review of *Terminalia arjuna* seedling growth dynamics in nursery condition. *Journal of Scientific Research and Reports* 31(8): 916–926. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i83436>
- Ning, S., C. Chen, B. Zhou, Q. Wang. 2019. Evaluation of normalized root length density distribution models. *Field Crops Research* 242: 107604. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107604>
- Noirot, L.M., D.S. Müller-Stöver, R. Wahyuningsih, H. Sørensen, Sudarno, A. Simamora, Pujiyanto, Suhardi, J.P. Caliman. 2022. Impacts of empty fruit bunch applications on soil organic carbon in an industrial oil palm plantation. *Journal of Environmental Management* 317: 115373. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115373>
- Nongbet, A., A.K. Mishra, Y.K. Mohanta, S. Mahanta, M.K. Ray, M. Khan, K.H. Baek, I. Chakrabartty. 2022. Nanofertilizers: a smart and sustainable attribute to modern agriculture. *Plants* 11(19): 2587. <https://doi.org/10.3390/plants11192587>
- Norhalimah, A., J. Jumar, N. S. 2022. Effect of giving tofu dregs bokashi on phosphate dynamics in ultisols. *Agrotech Journal* 7(1): 1–6. <https://doi.org/10.31327/atj.v7i1.1718>
- Novanta, R., Z. Zuraida, S. Sufardi. 2024. Sifat kimia tanah dan ketersediaan N, P, dan K pada perkebunan kelapa sawit di Kecamatan Kuala, Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian* 9(3): 361–368. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v9i3.31864>
- Ochoa-Chaparro, E.H., J.J. Patiño Cruz, J.C. Anchondo Páez, A. Álvarez Monge, C.L. Franco Lagos, E. Sánchez. 2025. Enhancing jalapeño pepper seedling quality for transplantation and potential stress tolerance through seed nanopriming. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202508.1655.v1>
- Oldroyd, G.E.D., O. Leyser. 2020. A plant's diet, surviving in a variable nutrient environment. *Science* 368(6486). <https://doi.org/10.1126/science.aba0196>
- Pandey, A., M. Kumari, M. Kadyan, D. Dhar, S.O. Pathak. 2024. Nano fertilizers: revolutionizing agriculture for a sustainable future. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10(4): 246–260. <https://doi.org/10.9734/ajsspn/2024/v10i4400>
- Park, J.W., J.C. Melgar, M. Kunta. 2019. Plant nutritional deficiency and its impact on crop production. Dalam *Bioactive Molecules in Plant Defense* hlm. 231–258. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27165-7_12
- Parrey, Z.A., S.H. Shah, M. Fayaz, R. Casini, H.O. Elansary, F. Mohammad. 2023. Nitrogen supplementation modulates morphological, biochemical, yield and

quality attributes of peppermint. *Plants* 12(4): 809. <https://doi.org/10.3390/plants12040809>

- Prandana, F., Z. Zaitun, T. Hidayat. 2023. Pengaruh biochar pelepah kelapa sawit dan dosis pupuk fosfat pada pre nursery kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian* 8(1): 1–7. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v8i1.22673>
- Prasetyo, D.W., L. Kurniawan, M. Andriani, S.A. Almatholib, G.I.S. Putra. 2023. Dynamics of nutrient availability of inorganic fertilizers in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) nursery. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1208(1): 012042.
- Priambodo, O.N., N.A.F. Erdiansyah. 2024. Aplikasi tandan kosong kelapa sawit dan limbah cair pabrik kelapa sawit pada tanaman kelapa sawit menghasilkan (*Elaeis guineensis* Jacq). *Gontor Agrotech Science Journal* 10(2): 109–119. <https://doi.org/10.21111/agrotech.v10i2.12175>
- Pulunggono, H.B., V.W. Kartika, D. Nadalia, L.L. Nurazizah, M. Zulfajrin. 2022. Evaluating the changes of Ultisol chemical properties and fertility characteristics due to animal manure amelioration. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 9(3): 3545–3560. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.093.3545>
- Purnama, H., M. Afrillah. 2022. Growth analysis of seeds oil palm on stage pre nursery and main nursery at PT. Socfindo. *Devotion: Journal of Research and Community Service* 3(5): 251–257. <https://doi.org/10.36418/dev.v3i5.127>
- Purwosetyoko, N.S., N. Nasruddin, M. Rafli, F. Faisal, M. Yusuf N. 2022. Pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) fase pre nursery menggunakan ekstrak daun *Muccuna bracteata*. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroekoteknologi* 1(2): 34. <https://doi.org/10.29103/jimatek.v1i2.8463>
- Puspita Sari, D. 2023. Kajian kesuburan tanah pada perkebunan karet di Kecamatan Kupitan Kabupaten Sijunjung. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Nusantara (JIMNU)* 1(2): 103–107. <https://doi.org/10.59435/jimnu.v1i2.138>
- Radulov, I., A. Berbecea. 2024. Nutrient management for sustainable soil fertility. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1006692>
- Rahmawati, A. 2023. Keragaman genetik varietas kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi* 5(01): 35–40. <https://doi.org/10.53863/kst.v5i01.677>
- Rahmawati, R., Y. Akbar, Y. Sabri, D. Desriana. 2023. Optimalisasi pemberian beberapa konsentrasi pupuk organik cair (POC) Jakaba terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Menara Ilmu* 17 (1). <https://doi.org/10.31869/mi.v17i1.4530>

- Rahmayuni, E., S. Anwar, B. Nugroho, L. T. Indriyati. 2023. Characteristics of soil chemical properties associated with inceptisols in various land use in Jasinga, Bogor. *Journal of Tropical Soils* 28(3): 89–97. <https://doi.org/10.5400/jts.2023.v28i3.89-97>
- Rashmi, I., T. Roy, K.S. Kartika, R. Pal, V. Coumar, S. Kala, K.C. Shinoji. 2020. Organic and inorganic fertilizer contaminants in agriculture: impact on soil and water resources. Dalam *Contaminants in Agriculture* hlm. 3–41. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_1
- Riskia, R., I. Ilyas, Y. Jufri. 2024. Pengaruh pemberian kompos daun bambu terhadap perbaikan sifat kimia ultisol. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian* 9(1): 545–553. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v9i1.27673>
- Rizki, S.N., R. Hayati, B. Widiarso. 2025. Pemberian kombinasi pupuk kandang kambing dan pupuk N, P, K terhadap serapan hara N, P, K serta hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.) di tanah ultisol. *Pedontropika: Jurnal Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan* 11(2): 89–98. <https://doi.org/10.26418/pedontropika.v11i2.87876>
- Rosnina, R., S. Sapareng, I. Idawati. 2019. Optimalisasi ukuran dan jenis polybag terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di pre nursery. *Agrovital: Jurnal Ilmu Pertanian* 3(2): 47. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v3i2.204>
- Rout, C., D. Aggarwal. 2024. Nanotechnology in restoration of degraded soil fertility hlm. 1–23. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1471-5.ch001>
- Roy, R., A. Núñez-Delgado, J. Wang, M.A. Kader, T. Sarker, A.K. Hasan, T. Dindaroglu. 2022. Cattle manure compost and biochar supplementation improve growth of *Onobrychis viciifolia* in coal-mined spoils under water stress conditions. *Environmental Research* 205: 112440. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112440>
- Safitri, L. 2019. Manajemen irigasi pembibitan sawit (*Elaeis guineensis*) presisi dengan Cropwat 8.0. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 8(2): 97–106. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v8i2.97-106>
- Sagwal, A., P. Wadhwa, Shubham, S. Kaushal. 2023. Essentiality of micronutrients in soil: a review. *International Journal of Plant and Soil Science* 35(24): 56–65. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i244297>
- Sari, R., Maryam, R.A. Yusmah. 2023. Penentuan C-organik pada tanah untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan keberlanjutan umur tanaman dengan metoda spektrofotometri UV VIS. *Jurnal Teknologi Pertanian* 12(1): 11–19. <https://doi.org/10.32520/jtp.v12i1.2598>
- Saurabh, K., V. Prakash, A.K. Dubey, S. Ghosh, A. Kumari, P.K. Sundaram, P. Jeet, B. Sarkar, A. Upadhyaya, A. Das, S. Kumar, G. Makarana, U. Kumar,

- A. Kumar, R.R. Singh. 2024. Enhancing sustainability in agriculture with nanofertilizers. *Discover Applied Sciences* 6(11). <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06267-5>
- Sethi, S.K., S.R. Dalei, A.O. Oko, A. Kumar, A. Kindo. 2024. Effect of nano-fertilizer on crop plant growth and its effect on rhizospheric microorganism and its application hlm. 177–202. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6240-2.ch007>
- Sharma, S., N. Gupta, S. Kaur, K.C. Kumawat, A.S. Chakkal. 2025. Soil microbial resources: unlocking sustainable strategies for crop productivity and soil health. *Current Research in Microbial Sciences* 9: 100468. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100468>
- Shweta, R.P.S. Dalal, P. Kumar, S. Sabharwal, Renu. 2024. Effect of different growing media and polybag sizes on seeds germination and root system of rough lemon (*Citrus jambhiri* Lush.) in nursery condition. *International Journal of Plant and Soil Science* 36(10): 20–30. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i105051>
- Şimşek, E., E. Tiryaki, B. Tataş, S. Çevik. 2025. Exogenous application of SiO₂ nanoparticles enhances drought stress tolerance in wild and cultivated chickpea plants. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 28(3): 807–819. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1505275>
- Singh, S., T. Boli, B.D., S. Kumar, C.R. Palwe. 2020. Release pattern of ammonical and nitrate nitrogen in inceptisol by the use of different organic manures. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9(1): 1260–1265. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.139>
- Siqueira, J.A., W.C. Otoni, W.L. Araújo. 2022. The hidden half comes into the spotlight: peeking inside the black box of root developmental phases. *Plant Communications* 3(1): 100246. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2021.100246>
- Soemarno, S., G.A. Pramesti, A.A. Putrideny, N.F. Ifadah. 2024. The effect of compost, cow, and goat manure on inceptisols soil characteristics from smallholder plantation, Karangploso District, Malang Regency. *Journal of Coffee and Sustainability* 1(2): 56–65. <https://doi.org/10.21776/ub.jcs.2024.01.02.02>
- Suhadi, S., A. Hasibuan, S. Amir, R. Syofiani, D. Puspita S. 2025. Respon pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) terhadap pemberian kompos batang pisang. *Jurnal Agrium* 22(3): 292–301. <https://doi.org/10.29103/agrium.v22i3.24490>
- Sukmawan, Y., R. Dewi, D. Riniarti, H. Agusta, S. Sudradjat. 2024. Evaluasi dampak lingkungan pada pembibitan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan pendekatan penilaian daur hidup. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 11(2): 64–72. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2024.011.02.2>

- Sulok, K.M.T., O.H. Ahmed, C.Y. Khew, J.A.M. Zehnder, P.S. Lai, M.B. Jalloh, A.A. Musah, A. Awang, A. Abdu. 2021. Effects of organic amendments produced from agro-wastes on sandy soil properties and black pepper morpho-physiology and yield. *Agronomy* 11(9): 1738. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091738>
- Suvendran, S., M.F. Acevedo, B. Smithers, S.J. Walker, P. Xu. 2025. Soil fertility and plant growth enhancement through compost treatments under varied irrigation conditions. *Agriculture* 15(7): 734. <https://doi.org/10.3390/agriculture15070734>
- Syamsuwirman, Meriati, H. Kaumi. 2023. Pengaruh pemberian pupuk NPK 16:16:16 Yaramila terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) pada fase main-nursery. *Jurnal Research Ilmu Pertanian* 3(1): 52–59. <https://doi.org/10.31933/wnw15x89>
- Syed, S., A. Kumar, R. Singh, D. Singh, K. Yadav, N. Karotiya. 2024. Effect of nano-fertilizers in wheat crop nutrition: a review. *Journal of Experimental Agriculture International* 46(10): 920–928. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i103018>
- Taberna, J.R.A., J.D.P. Candelaria, F.S. Flores, G.C. Estorico. 2025. Systematic review: the effect of macronutrient levels on the flowering development of the Rosacea family. *International Journal of Innovative Science and Research Technology* hlm. 1149–1157. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/25apr127>
- Tao, W.Q., Q.Q. Wu, J. Zhang, T.T. Chang, X.N. Liu. 2024. Effects of applying organic amendments on soil aggregate structure and tomato yield in facility agriculture. *Plants* 13(21): 3064. <https://doi.org/10.3390/plants13213064>
- Toksha, B., S. Joshi, A. Chatterjee. 2024. The potential of nanocomposite fertilizers for sustainable crop production hlm. 99–124. https://doi.org/10.1007/978-3-031-41329-2_4
- Vance, G.F., F.J. Stevenson, F.J. Sikora. 2020. Environmental chemistry of aluminum–organic complexes. Dalam *The Environmental Chemistry of Aluminum* hlm. 169–220. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780138736781-5>
- Voltr, V., L. Menšík, L. Hlisnikovský, M. Hruška, E. Pokorný, L. Pospíšilová. 2021. The soil organic matter in connection with soil properties and soil inputs. *Agronomy* 11(4): 779. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040779>
- Wahyuningsih, A., D. Sugiono, Y.S. Rahayu. 2025. Respon pemberian dosis pupuk kieserite terhadap karakter fisiologis bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) varietas Yangambi dan Dumpy pada fase main nursery. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia* 10(1): 52. <https://doi.org/10.32503/hijau.v10i1.5481>

- Wandani, B., U.K. Rusmarini, B. Yuniasih. 2025. Pengaruh intensitas penyiranan dan frekuensi penyiraman terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di pre nursery. *Agroista: Jurnal Agroteknologi* 9(1): 15–20. <https://doi.org/10.55180/agi.v9i1.1679>
- Wang, Y., Q. Li, C. Li. 2023. Organic fertilizer has a greater effect on soil microbial community structure and carbon and nitrogen mineralization than planting pattern in rainfed farmland of the Loess Plateau. *Frontiers in Environmental Science* 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1232527>
- Waruwu, F., B.W. Simanihuruk, P. Prasetyo, H. Hermansyah. 2018. Pertumbuhan bibit kelapa sawit di pre-nursery dengan komposisi media tanam dan konsentrasi pupuk cair *Azolla pinnata* berbeda. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 20(1): 7–12. <https://doi.org/10.31186/jipi.20.1.7-12>
- Wibowo, V.A., H. Santoso, A. Sutanto. 2024. Penggunaan pupuk kompos tandan kosong kelapa sawit terhadap pertumbuhan tanaman dan kualitas tanah: studi literatur. *Biolova* 5(2): 141–151. <https://doi.org/10.24127/biolova.v5i2.6480>
- Wiranata, N., W. Warganda, A. Ruliyansyah. 2022. Respon pertumbuhan bibit kelapa sawit di *main nursery* akibat kombinasi pupuk kotoran ayam dan NPK pada tanah PMK. *Perkebunan dan Lahan Tropika* 12(2): 67. <https://doi.org/10.26418/plt.v12i2.60051>
- Wulandari, T., I. Mowidu, A.A. Managanta. 2024. Kajian sifat kimia tanah inceptisol yang diaplikasikan kompos daun johar sebagai media tanam bibit kopi arabika. *Agropet* 21(2): 16. <https://doi.org/10.71127/2828-9250.658>
- Xu, J., X. Li, S. Chen, L. Chen, J. Tang, P. Chen, N. Cai, Y. Xu. 2025. Integrative analyses of morpho-physiological, biochemical, and transcriptomic reveal the seedling growth response of *Pinus yunnanensis* to nitrogen and phosphorus fertilization. *Frontiers in Plant Science* 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1405638>
- Yaakob, M.S., R. Ishak, A.R. Tajuddin, E.S. Tugiman, C.C. Tan, Z.H. Saadul Kurzi. 2023. Assessment of slow release organic fertiliser in oil palm seedling growth. *The Planter* 99(1162). <https://doi.org/10.56333/tp.2022.015>
- Yadav, A., K. Yadav, K. Abd-Elsalam. 2023. Nanofertilizers: types, delivery and advantages in agricultural sustainability. *Agrochemicals* 2(2): 296–336. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals2020019>
- Yang, Z.J., X.H. Wu, L.M. Huang, W.W. Xie, Y. Chen, Y.A. El-Kassaby, J.L. Feng. 2021. Soil bacteria to regulate *Phoebe bournei* seedling growth and sustainable soil utilization under NPK fertilization. *Plants* 10(9): 1868. <https://doi.org/10.3390/plants10091868>

- Ye, C., G. Zheng, Y. Tao, Y. Xu, G. Chu, C. Xu, S. Chen, Y. Liu, X. Zhang, D. Wang. 2024. Effect of soil texture on soil nutrient status and rice nutrient absorption in paddy soils. *Agronomy* 14(6): 1339. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061339>
- Yu, J., C. Zhang, X. Wang, H. Li, Y.K. Kalkhajah, H. Hu. 2024. Partial substitution of chemical N with solid cow manure improved soil ecological indicators and crop yield in a wheat–rice rotation system. *Agronomy* 14(4): 700. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040700>
- Yulianti, N.D., A.L. Ariessandi, N.K. Dewi Purwanti, A.A. Meidina, E.P. Septiani. 2025. Kompos dan pupuk kandang memperbaiki karakteristik subsoil di kebun lemon Bsip Jestro, Desa Tlekung, Kota Batu. *Agroinotek Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat* 6(1): 73–89. <https://doi.org/10.21776/ub.agroinotek.2025.006.01.07>
- Zhao, Y., Q. Meng. 2022. Distribution and stability of water-stable aggregates as affected by long-term cattle manure application to saline-sodic soil in the black soil region of northeastern China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 15(3): 139–145. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221503.6800>
- Zhi, X., S. Gao, X. Zhi, J. Zou, N. Ma, T. Liu, Y. Hu, Y. Yao, W. Hong Rui. 2022. Responses of the growth and nutrient stoichiometry in *Ricinus communis* seedlings on four soil types. *Journal of Elementology* (2/2022). <https://doi.org/10.5601/jelem.2022.27.2.2224>
- Zuliaty, S., J. Jamidi, M. Nazaruddin, I. Irmawan. 2020. Peningkatan pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di pre-nursery dengan aplikasi biochar dan pupuk NPK. *Jurnal Agrium* 17(1): 356. <https://doi.org/10.29103/agrium.v20i4.14340>