

Pengaruh Pemberian Pembenh Tanah (Abu Boiler) dan Pupuk NPK terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) pada Tanah Ultisol di Polybag

*¹Hayata, ²Rudi Hartawan, dan ¹Kevin Immanuel Saragi

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Univ. Batanghari
Jl. Slamet Riyadi-Broni, Jambi. 36122 Telp +62074160103

²Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Adiwangsa,
Jl. Sersan Muslim No. 24, Jambi. 36138 Telp. +62741575510

*e-mail korespondensi : hayata@unbari.ac.id

Abstract. Applying boiler ash as a soil alongside NPK fertilizer to Ultisol soil is a strategy to reduce an inorganic fertilizers usage without redusing on crop productivity. This study had conducted both at the Experimental field of Agriculture Faculty and Basic Laboratory of Batanghari University, Jambi, from October 2025 to January 2026. The objective was to determine the effect of boiler ash and NPK fertilizer applications on the growth of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedling in Ultisol soil within polybags. A Completely Randomized Design (CRD) was applied, featuring a single factor with six treatment levels and three replications: (k0) control (no boiler ash and NPK fertilizer); (k1) 100% boiler ash (75 g); (k2) 100% NPK (10 g); (k3) 75% boiler ash (56.25 g) + 25% NPK (2.5 g); (k4) 50% boiler ash (37.5 g) + 50% NPK (5 g); and (k5) 25% boiler ash (18.75 g) + 75% NPK (7.5 g). Observed parameters included plant height, stem diameter, total leaf area, shoot dry weight, root dry weight, growing medium moisture content, seedling quality index, and leaf color. Data were analyzed by Analysis of Variance (ANOVA) followed by DNMRT post-hoc testing at the 5% significance level. The application of boiler ash soil Improvement and NPK fertilizer in treatment k5 (25% boiler ash [18.75 g] + 75% NPK [7.5 g]) which resulted 45.26 cm of plant height (30% increase), stem diameter of 27.00 mm (108% increase), total leaf area of 834.99 cm² (209% increase), shoot dry weight of 23.51 g (202% increase), root dry weight of 5.87 g (215% increase), and seedling quality index of 5.28 (277% increase), all compared to the untreated one (control). Treatment k5, involving the application of 25% boiler ash, allowed for a 25% reduction in NPK fertilizer usage.

Keywords: Boiler ash; Oil palm seedlings; NPK fertilizer; Ultisol soil.

Abstract. Pemberian pembenh tanah abu boiler dan ditambahkan pupuk NPK pada tanah ultisol merupakan salah satu cara untuk mengurangi pemakaian pupuk anorganik, sehingga penggunaan pupuk anorganik bisa ditekan tanpa mengurangi produktivitas tanaman. Penelitian ini telah dilaksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian dan Laboratorium Dasar Universitas Batanghari Jambi, pada bulan Oktober 2025 sampai Januari 2026. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian pembenh tanah abu boiler dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) pada tanah ultisol di polybag. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dengan enam taraf perlakuan serta 3 ulangan yaitu: (k0) kontrol tanpa pemberian abu boiler dan pupuk NPK, (k1) 100% abu boiler 75g, (k2) 100% NPK 10g, (k3) 75% abu boiler 56,25g+25% NPK 2,5g, (k4) 50% abu boiler 37,5g+50% NPK 5g, (k5) 25% abu boiler 18,75g+75% NPK 7,5g. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, luas daun total, bobot kering tajuk, bobot kering akar, kadar air media tanam, indeks kualitas bibit, warna daun. Data analisis menggunakan analisis ragam dan uji lanjut DNMRT pada taraf 5%. Pemberian pembenh tanah abu boiler dan pupuk NPK pada perlakuan k5 (25% abu boiler 18,75g+75% NPK 7,5g) yang menghasilkan tinggi tanaman 45,26 cm meningkat 30 %, diameter batang 27,00 mm meningkat 108 %, luas daun total 834,99 cm² meningkat 209 %, bobot kering tajuk 23,51g meningkat 202 %, bobot kering akar 5,87g meningkat 215 %, indeks kualitas bibit 5,28 meningkat 277 %, semua itu bila dibandingkan dengan tanpa perlakuan (kontrol). Perlakuan k5 pemberian Abu Boiler sebanyak 25 % dapat ,mengurangi pemakaian pupuk NPK sebanyak 25%.

Kata kunci: Abu boiler; Bibit kelapa sawit; Pupuk NPK; Tanah ultisol.

PENDAHULUAN

Pengembangan usaha perkebunan kelapa sawit di Provinsi Jambi secara umum bertumpu pada pemanfaatan tanah Ultisol (Podsolik Merah Kuning). menjadikannya satu-satunya pilihan lahan kering terluas yang tersedia untuk perluasan komoditas strategis ini. Tanah ultisol memiliki sifat fisik berupa tekstur tanah dengan kandungan liat yang tinggi dan debu rendah, kondisi tersebut dapat menyebabkan permasalahan lain seperti terhambatnya penetrasi akar dan meningkatkan kepadatan tanah. Ultisol adalah tanah dengan masalah kemasaman tanah, material sedikit bahan organik dan nutrisi makro rendah sehingga sangat berpengaruh terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit. Tanah ultisol masih dapat menentukan keberhasilan pada budidaya tanaman kelapa sawit walaupun bahan organik yang rendah dengan adanya penambahan bahan organik tanah ultisol akan menjadi baik bagi tanaman kelapa sawit (Fitrianti et al., 2014 dan Nasamsir, Nengsih dan Purba, 2022)

Untuk meningkatkan kandungan unsur hara pada tanah ultisol diperlukan pemberian bahan organik. Bahan organik berperan penting dalam memperbaiki sifat fisik tanah dengan meningkatkan agregasi, porositas, dan kapasitas menahan air, sehingga mendukung pertumbuhan akar. Dari sisi kimia, bahan organik mampu meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), menyediakan unsur hara makro dan mikro secara bertahap melalui mineralisasi, serta mengurangi fiksasi fosfor akibat ikatan dengan Al dan Fe pada tanah masam seperti ultisol (Anas Satria, Nurhayati, 2023). Selain itu, bahan organik juga berperan biologis dengan mendukung perkembangan populasi mikroba tanah yang berfungsi dalam proses dekomposisi, fiksasi nitrogen, dan pelarutan fosfat, sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara (Zulfahmi, Pratama, Yuliani, 2024). Oleh karena itu, penggunaan bahan organik seperti kompos, pupuk kandang, abu boiler, solid decanter, dan biochar menjadi strategi penting dalam meningkatkan produktivitas kelapa sawit di lahan marginal.

Salah satu pendekatan yang mulai banyak dikaji adalah pemanfaatan abu boiler sebagai bahan amelioran. Abu boiler merupakan limbah padat dari proses pembakaran cangkang, serat, dan tandan kosong kelapa sawit di pabrik kelapa sawit. Menurut Maulana (2024), aplikasi abu boiler pada tanah ultisol dapat meningkatkan pH tanah, kadar C-organik, serta kandungan P-tersedia dan K-total secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa abu boiler memiliki potensi untuk memperbaiki kesuburan tanah ultisol yang awalnya tergolong rendah.

Industri kelapa sawit menghasilkan beragam limbah, termasuk padat, cair, dan gas. Limbah cair, dikenal sebagai Palm Oil Mills Effluent (POME), berasal dari proses pengolahan sawit, sedangkan limbah padat mencakup tandan kosong, cangkang, sabut, dan bungkil sawit, yang merupakan 35- 40% dari total Tandan Buah Segar (TBS) yang diolah. Tandan kosong, sekitar 23% dari setiap ton TBS, masih kurang dimanfaatkan. Setiap 100 ton TBS yang diproses dapat menghasilkan 250-400 kg abu boiler, sementara pembakaran cangkang menghasilkan sekitar 100 kg abu layang dan 3-5 ton abu kerak boiler dalam seminggu. Pengelolaan dan pemanfaatan optimal limbah-limbah ini masih menjadi tantangan besar dalam industri kelapa sawit (Rangkuti, Sitorus, Lubis, 2021)

Namun demikian, penggunaan abu boiler secara tunggal belum tentu mencukupi kebutuhan nutrisi tanaman. Penelitian oleh Hidayat dan Robbi, (2022) menunjukkan bahwa pemberian abu boiler pada media tanam tidak memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit, meskipun terdapat peningkatan pada beberapa parameter fisiologis. Sebaliknya, kombinasi dengan bahan lain seperti zeolit justru memberikan hasil yang lebih baik. Abu boiler yang digunakan adalah abu boiler yang mengandung unsur hara C organik (3,35 %), N (0,29 %), P₂O₅ (0,63 %), K₂O (2,01 %), Mg (4,52%), C/N, PH (11,51). Oleh karena itu, untuk meningkatkan efektivitasnya, pemberian abu boiler sebaiknya di tambahkan dengan pupuk anorganik seperti NPK, yang secara langsung menyediakan unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman.

Pupuk NPK dikenal efektif dalam mendorong pertumbuhan vegetatif tanaman karena mengandung nitrogen untuk pembentukan daun, fosfor untuk perkembangan akar, dan kalium untuk penguatan jaringan tanaman. Menurut Kurniawan (2024), abu boiler dan pupuk NPK pada media tanam menunjukkan hasil yang signifikan terhadap parameter pertumbuhan bibit kelapa sawit, seperti tinggi tanaman, jumlah pelepah, diameter batang, serta bobot segar dan kering tajuk dan akar.

Penelitian Tarigan, Pebrisa, Ginting (2024) menunjukkan bahwa pemberian abu boiler pada pembibitan utama kelapa sawit dengan dosis berbeda memberikan hasil pertumbuhan yang bervariasi. Perlakuan terbaik diperoleh pada dosis abu boiler 60 g per polybag, yang mampu menghasilkan pertumbuhan kelapa sawit.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pemberian pupuk NPK 16:16:16 dengan dosis 10 g per bibit mampu meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit secara signifikan. Telaumbanua, Lahagu, Sirait (2023) melaporkan bahwa dosis 10 g NPK memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang daun bibit kelapa sawit pada tahap pre-nursery. Hasil serupa juga ditemukan oleh Tumanggor (2022), yang menyatakan bahwa kombinasi pupuk hayati Bionensis 9 g/seedling dengan NPK 16:16:16 10 g/seedling memberikan pertumbuhan terbaik pada tanah gambut. Selain itu, penelitian Badal, Putra, Mawarni (2021) menunjukkan bahwa perlakuan NPK 100% setara dengan 10 g per tanaman menghasilkan respons positif terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di main nursery. Dengan demikian, penggunaan 10 g NPK 16:16:16 per bibit dapat direkomendasikan sebagai dosis optimal untuk mendukung pertumbuhan awal kelapa sawit.

Pemberian pupuk organik yang dikombinasikan dengan pupuk NPK merupakan salah satu cara untuk mengurangi pemakaian pupuk anorganik, sehingga penggunaan pupuk anorganik bisa ditekan tanpa mengurangi produktivitas tanaman. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa integrasi pupuk organik dengan NPK pada tanah Ultisol dapat memperbaiki ketersediaan hara serta meningkatkan pertumbuhan tanaman, sekaligus memungkinkan pengurangan dosis NPK hingga level tertentu (Musa dan Rahma, 2025; Syafruddin dan Harahap, 2021). Dengan demikian, kombinasi kedua sumber hara ini berpotensi menjadi solusi pemupukan yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan bagi lahan Ultisol. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian abu boiler dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan tanaman bibit kelapa sawit pada tanah Ultisol di dalam polibag.

METODE PENELITIAN

Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Batanghari Jambi, Kel Mayang Mangurai, Kota Jambi, dan Laboratorium dasar Universitas Batanghari yang dilakukan selama selama 3 bulan, yaitu bulan Oktober - Desember 2025.

Bahan Dan Alat

Bahan yang digunakan, tanaman bibit kelapa sawit yang berumur 3 bulan dengan jenis D×P PPKS 540 (Hibrida) yang di dapat dari penangkaran Tri, Kecamatan Mestong, Kabupaten Muaro Jambi. Tanah ultisol yang diambil dari Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Batanghari Jambi, Kel Mayang Mangurai, Kota Jambi. Abu boiler yang di dapat dari CV. Artha Karya Usaha yang berlokasi di jalan poros Sido Mukti – perumahan Jambi, Desa Sido Mukti, RT.05 Rw. 01, Kecamatan Sungai Gelam, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi dan pupuk NPK dari toko pertanian.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah polybag ukuran 4 kg (30 × 25 cm), cangkul, meteran, timbangan analitik, oven, jangka sorong, ember, kamera, gelas takaran literan, kayu penanda, dan buku (ATK).

Rancangan Penelitian

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan acak lengkap (RAL). Rancangan perlakuan yang ditentukan abu boiler dan ditambahkan pupuk NPK, taraf perlakuan sebagai berikut:

k_0 = Kontrol (tanpa pemberian abu boiler dan NPK)

k_1 = 100 % Abu boiler (75 g / polybag)

k_2 = 100 % NPK (10 g / polybag)

k_3 = 75 % abu boiler (56,25g) + (25 % NPK 2,5 g / polybag)

k_4 = 50 % abu boiler (37,5 g) + (50 % NPK 5 g / polybag)

k_5 = 25 % abu boiler (18,75 g) + (75 % NPK 7,5 g / polybag)

Perlakuan pada penelitian ini terdiri dari 3 ulangan maka diperoleh 18 plot percobaan, jumlah tanaman disetiap perlakuan sebanyak 4 tanaman maka total perlakuan keseluruhan adalah 72 tanaman. Pada setiap perlakuan di ambil 3 tanaman sebagai sampel percobaan. Denah percobaan dapat di lihat pada Lampiran 1.

Pelaksanaan Penelitian

Persiapan Area Penelitian

Pada area yang akan dijadikan sebagai tempat penelitian terlebih dahulu dibersihkan dari semua kotoran dan gulma, kemudian tanah yang akan digunakan sebagai tempat didatarkan serta dipastikan dekat dengan sumber air supaya mempermudah pada saat penyiraman.

Persiapan Media Tanam Dan Pemberian Perlakuan

Media tanam menggunakan tanah ultisol yang di ambil dari sekitar lokasi penelitian kemudian tanah ultisol tersebut digemburkan dan dibersihkan dari kayu, gulma, batu maupun sampah yang terdapat pada tanah tersebut.

Tanah dicampur dengan abu boiler sesuai dengan perlakuan yang telah direncanakan. Contoh perlakuan k_1 pemberian 100% abu boiler sebanyak 75 g diaduk dalam wadah dengan 4 kg media tanam tanah ultisol, setelah dilakukan pencampuran abu boiler kemudian dimasukkan kedalam polybag dan di inkubasi selama 1 minggu. Abu boiler hanya di berikan sekali pada awal penelitian. Pemberian pupuk NPK dilakukan pada 1 minggu setelah tanam dengan cara di taburkan pada sekitar bibit kelapa sawit lalu di tutup kembali menggunakan tanah, dengan dosis sesuai dengan perlakuan.

Persiapan Bibit Kelapa Sawit

Bibit kelapa sawit yang digunakan merupakan bibit yang sehat dengan pertumbuhan yang seragam memiliki 3-4 helai daun serta bebas dari serangan hama dan penyakit. Bibit kelapa sawit yang di gunakan adalah bibit dengan jenis D × P PPKS 540 (Hibrida) yang di dapat dari penangkaran Tri, Kecamatan Mestong, Kabupaten Muaro Jambi yang berumur 3 bulan.

Penanaman

Setelah 1 minggu masa inkubasi pada tanah ultisol dengan abu boiler, dilakukan penanaman bibit kelapa sawit dengan cara melubangi titik tengah polybag dan bibit kelapa sawit dimasukkan ke dalam lubang tersebut dan ditutup kembali menggunakan tanah bekas pembuatan lobang tersebut. Setelah dilakukan penanaman maka dilakukan penyiraman dengan jumlah yang sama untuk seriap polybag

Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan dilakukan antara lain penyiraman, penyiangan gulma, dan pengendalian hama penyakit. Penyiraman dilakukan secara rutin pada pagi hari pukul 08:00 WIB dan pada sore hari pukul 16:00 WIB setiap hari, kecuali hujan turun dan kondisi media tanah dalam keadaan lembab maka tidak dilakukan penyiraman. Jumlah air yang diberikan sama untuk semua polybag.

Penyiangan gulma dilakukan secara manual dengan menggunakan tangan mencabut gulma yang berada di sekeliling area tanaman, sedangkan pengendalian hama penyakit dilakukan secara mekanis dan kimiawi bila dibutuhkan.

Parameter Yang Diamati

Tinggi Tanaman (cm)

Pengukuran tinggi bibit kelapa sawit dari pangkal batang sampai ujung daun tanaman yang tertinggi telah dikumpulkan menggunakan meteran. Pengukuran tinggi tanaman dilakukan di awal dan di akhir penelitian.

Diameter Batang (mm)

Pengukuran diameter batang bibit kelapa sawit dilakukan dengan cara mengukur diameter batang pada ketinggian 3 cm dari leher akar menggunakan jangka sorong, pengukuran dilakukan di awal dan di akhir penelitian.

Luas Daun Total (cm²)

Untuk mengukur luas daun dilakukan dengan cara mengukur panjang dan lebar daun bibit kelapa sawit. Pengukuran daun yang sudah membelah dan belum membelah diukur menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Luas Daun Total} = (P \times L \times \text{Konstanta})$$

Keterangan: P = Panjang Daun
L = Lebar Daun

Untuk daun yang sudah membelah menggunakan konstanta 0,57, Untuk daun yang belum membelah menggunakan Konstanta 0,51 .

Bobot Kering Tajuk (g)

Untuk pengukuran berat kering tajuk dilakukan dengan cara memisahkan tajuk dari akar yang telah dibersihkan. Selanjutnya bagian tajuk di anginkan kemudian di masukkan kedalam oven dengan suhu 80°C selama 2 × 24 jam. Setelah pengovenan tajuk tersebut dimasukkan kedalam desikator, kemudian dilakukan penimbangan dengan menggunakan timbangan analitik. Pengeringan dilakukan sampai diperoleh bobot konstan. Pengeringan ini dilakukan pada akhir penelitian.

Volumer Akar (ml³)

Untuk mengukur volume akar pada bibit kelapa sawit dilakukan pembersihan terlebih dahulu pada akar bibit lalu di anginkan. Selanjutnya akar dimasukkan ke dalam gelas ukur yang telah lebih dahulu di isi dengan volume air yang sudah di tentukan untuk mengetahui volume akar : volumer akhir air – volume awal air. Pengukuran volume akar dilakukan pada saat akhir penelitian.

Bobot Kering Akar (g)

Untuk mengukur bobot kering akar, diukur dengan cara membersihkan dari kotoran dengan menggunakan air lalu di kering anginkan. Kemudian akar dimasukkan kedalam oven pada suhu 80°C selama 2 × 24 jam. Setelah pengovenan, akar dimasukkan kedalam desikator. Pengeringan ini dilakukan di akhir penelitian.

Kadar air Media Tanam (%)

Pengukuran kadar air tanah dilakukan dengan cara yaitu: media tanah pada setiap polybag yang akan diukur kadar airnya, tidak dilakukan penyiraman kurang lebih selama 5 hari dan di beri naungan agar saat hujan tidak terkena air. Selanjutnya media tanam dari setiap polybag pada perlakuan di campur rata. Lalu diambil 10 g lalu dioven pada suhu 80°C selama 2 x 24 jam, penghitungan kadar air media tanam menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W = \frac{(W2 - W3)}{(W3 - W1)} \times 100\%$$

Keterangan:

W : Kadar Air %

W1 : Berat Cawan (g)

W2 : Berat Tanah Basah + Berat Cawan (g)

W3 : Berat Tanah Kering + Berat Cawan (g)

Indeks kualitas Bibit

Perhitungan indeks kualitas (IK) dilakukan pada akhir penelitian dengan menggunakan data bobot kering tajuk, bobot kering akar, tinggi tanaman dan diameter batang, kemudian dihitung dengan menggunakan rumus yang dijelaskan Hendromono (1989) sebagai berikut:

$$IK = \frac{\text{Bobot Kering Tajuk} + \text{Bobot Kering Akar}}{\left(\frac{\text{Tinggi Tanaman}}{\text{Diameter Tanaman}}\right) + \left(\frac{\text{Bobot Kering Tajuk}}{\text{Bobot Kering Akar}}\right)}$$

Nilai indeks kualitas sebagai syarat bibit saat dipindahkan kelapangan adalah 0,09 dan diindikasikan bibit semakin baik bila nilai indeks kualitas bibit terus meningkat.

Warna Daun

Untuk menentukan warna daun bibit tanaman kelapa sawit, menggunakan Bagan Warna Daun (BWD). Pada setiap sampel, ambil daun teratas yang telah membuka penuh. Bagian tengah daun yang akan dibandingkan dengan bagan warna. Pengamatan warna daun dilakukan pada akhir penelitian.

Analisis Data

Data pengamatan terakhir dianalisa secara statistic dengan menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA). Apabila F hitung yang diperoleh lebih besar dari F Tabel, maka dilanjutkan dengan melakukan uji lanjut Duncan (DNMRT) pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman (cm), Diameter Batang (mm), dan Luas daun Total (cm²)

Pemberian perlakuan abu boiler dan pupuk NPK terhadap tinggi tanaman, diameter batang dan luas daun total bibit kelapa sawit, hasilnya dapat dilihat pada Tabel dibawah ini;

Tabel 1. Rata-rata tinggi tanaman, diameter batang, dan luas daun total bibit kelapa sawit dengan perlakuan abu boiler dan pupuk NPK.

Perlakuan	Rata-rata tinggi tanaman (cm)	Rata-rata Diameter batang (mm)	Rata-rata Luas Daun Total	
			Data asli (cm ²)	Transformasi $\sqrt{x}$
k5 (25% abu boiler 18,75g + 75% NPK 7,5g)	42,26 a	27,00 a	834,99	28,84 a
k4 (50% abu boiler 37,5g + 50% NPK 5g)	40,80 ab	24,78 a	663,10	25,75 ab
k2 (100% NPK 10g)	39,01 ab	20,23 b	619,80	24,87 ab
k3 (75% abubailer 56,25g + 25% NPK 2,5g)	36,48 bc	22,56 ab	592,43	24,14 ab
k1 (100% abu boiler 75g)	35,12 bc	19,09 b	540,69	23,22 b
k0 (Tanpa abu boiler dan NPK)	32,29 c	12,94 c	269,40	16,16 c

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut DNMRT α 5%

Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan k5 menghasilkan rata-rata tinggi tanaman yang tertinggi yaitu 42,26 cm, dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan k4 dan k2, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan k3, k1, k0. Rata-rata tinggi tanaman yang terendah terdapat pada perlakuan k0 yaitu 32,29 cm. Tinggi tanaman pada perlakuan k5 mengalami peningkatan sebesar 30% dibandingkan perlakuan k0. Tingginya pertumbuhan tanaman pada perlakuan k5 diduga karena kombinasi abu boiler dan pupuk NPK mampu memperbaiki kondisi media tanam serta menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang cukup. Abu boiler memperbaiki kondisi tanah, pupuk NPK juga berperan dalam menyediakan unsur nitrogen, fosfor, dan kalium yang dibutuhkan selama pertumbuhan vegetatif tanaman. Nitrogen berfungsi dalam pembentukan klorofil, asam amino, dan protein yang berperan dalam proses pembelahan dan pemanjangan sel. Fosfor berfungsi dalam pembentukan energi yang diperlukan tanaman untuk aktivitas metabolisme, sedangkan kalium berperan dalam aktivasi enzim dan translokasi hasil fotosintesis ke seluruh bagian tanaman. Peningkatan tinggi tanaman pada perlakuan k5 menunjukkan bahwa kombinasi abu boiler dan pupuk NPK mampu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh akar sehingga pertumbuhan tanaman berlangsung lebih optimal dibandingkan perlakuan lainnya. Dengan demikian, perlakuan k5 mampu meningkatkan tinggi tanaman sebesar 30% dibandingkan kontrol. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan

Kurniawan (2024) yang menyatakan bahwa aplikasi kombinasi abu boiler dan pupuk NPK pada media tanam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan tinggi tanaman bibit kelapa sawit

Dari Tabel 1 juga dapat dilihat bahwa perlakuan k5 menghasilkan rata-rata diameter batang yang tertinggi yaitu 27,00 mm, dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan k4 dan k3, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan k2, k1, k0. Rata-rata diameter batang yang terendah terdapat pada perlakuan k0 yaitu 12,94 mm. Diameter batang pada perlakuan k5 mengalami peningkatan sebesar 108% dibandingkan perlakuan k0. Besarnya diameter batang menunjukkan bahwa tanaman memperoleh unsur hara yang cukup untuk mendukung pembentukan jaringan baru. Pertumbuhan diameter batang sangat erat kaitannya dengan aktivitas kambium dalam membentuk sel-sel baru yang menyebabkan batang menjadi lebih besar. Aktivitas tersebut memerlukan unsur hara dalam jumlah yang cukup terutama nitrogen, fosfor, dan kalium.

Meningkatnya diameter batang pada perlakuan k5 menunjukkan bahwa kondisi media tanam yang lebih baik akibat pemberian abu boiler mampu meningkatkan efektivitas pupuk NPK. Unsur hara yang tersedia dapat dimanfaatkan tanaman secara optimal sehingga pertumbuhan batang menjadi lebih baik. Diameter batang yang besar juga menunjukkan bahwa bibit memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menopang pertumbuhan tajuk dan mendukung proses transportasi air serta unsur hara. Peningkatan diameter batang yang sangat signifikan ini didukung oleh hasil penelitian Tarigan, Pebrisa, Ginting (2024) yang menjelaskan bahwa pemberian pembenh tanah berupa abu boiler pada pembibitan utama kelapa sawit memberikan respons pertumbuhan vegetatif yang bervariasi dan positif. Peningkatan ukuran diameter ini erat kaitannya dengan perbaikan sifat fisik tanah marginal. Sebagaimana dilaporkan oleh Saragih, Sitorus, Ginting (2022), pengaplikasian pembenh tanah organik pada media ultisol terbukti berpengaruh nyata terhadap peningkatan diameter batang bibit karena tanah menjadi lebih remah sehingga translokasi unsur hara berjalan lancar. Selain itu, Kurniawan (2024) juga menegaskan bahwa kombinasi abu boiler dengan pupuk NPK menghasilkan pertumbuhan diameter batang yang jauh lebih optimal dibandingkan dengan kontrol tanpa perlakuan.

Pada pengamatan luas daun total perlakuan k5 menghasilkan rata-rata luas daun total yang tertinggi yaitu 834,99 cm², dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan k4, k2 dan k3, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan k1 dan k0. Rata-rata luas daun total yang terendah terdapat pada perlakuan k0 yaitu 269,40 cm². Luas daun total pada perlakuan k5 mengalami peningkatan sebesar 209% dibandingkan perlakuan k0. Peningkatan luas daun pada perlakuan k5 menunjukkan bahwa tanaman memperoleh unsur hara yang cukup untuk mendukung pembentukan jaringan daun. Nitrogen merupakan unsur yang sangat berperan dalam pembentukan klorofil dan perkembangan daun sehingga semakin tinggi ketersediaan nitrogen maka luas daun yang terbentuk juga semakin besar.

Telaumbanua, Lahagu, Sirait (2023), pemberian pupuk NPK terbukti meningkatkan jumlah dan luas daun bibit kelapa sawit secara signifikan. Luas daun yang optimal ini sangat penting untuk memaksimalkan laju fotosintesis. Fenomena pertumbuhan daun yang positif akibat pasokan nutrisi seimbang ini juga selaras dengan kajian Najihah, Syarifuddin, Amri (2025) yang menyatakan bahwa kecukupan unsur hara makro berkontribusi langsung dalam memperbaiki vitalitas daun, mengatur tekanan osmotik sel, serta mencegah penyusutan luas daun pada bibit tanaman kelapa sawit.

Bobot Kering Tajuk (g), Bobot kering akar (g), Volume akar (ml),

Pemberian perlakuan abu boiler dan pupuk NPK terhadap bobot kering tajuk, bobot kering akar dan volume akar bibit kelapa sawit, hasilnya dapat dilihat pada Tabel dibawah ini;

Tabel 2. Rata-rata berat kering tajuk, bobot kering akar dan volume akar bibit kelapa sawit dengan perlakuan abu boiler dan pupuk NPK.

Perlakuan	Rata-rata bobot kering tajuk (g)	Rata-rata berat kering akar (g)	Rata-rata volume akar	
			Data asli (cm ³)	Transformasi $\sqrt{x}$
k5 (25% abu boiler 18,75g + 75% NPK 7,5g)	23,51 a	5,87 a	43,33	2,53 a
k1 (100% abu boiler 75g)	21,41 a	5,35 a	27,78	2,29 a
k3 (75% abuboter 56,25g + 25% NPK 2,5g)	19,89 a	4,97 a	42,22	2,53 a
k2 (100% NPK 10g)	17,92 a	4,48 a	35,56	2,44 a
k4 (50% abu boiler 37,5g + 50% NPK 5g)	17,75 a	4,43 a	45,56	2,57 a
k0 (Tanpa abu boiler dan NPK)	7,76 b	1,86 b	14,44	1,94 b

Keterangan: Angka-angka pada kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut DNMRT α 5%

Tabel 2 menunjukan bahwa perlakuan k5 menghasilkan rata-rata bobot kering tajuk yang tertinggi yaitu 23,51g, dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan k1, k3, k2, k4, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan k0. Rata-rata bobot kering tajuk yang terendah terdapat pada perlakuan k0 yaitu 7,76 g. Bobot kering tajuk pada perlakuan k5 mengalami peningkatan sebesar 202% dibandingkan perlakuan k0. Bobot kering tajuk merupakan hasil akumulasi

fotosintat yang tersimpan dalam jaringan tanaman. Semakin tinggi bobot kering tajuk menunjukkan bahwa tanaman mampu menghasilkan biomassa yang lebih besar. Tingginya bobot kering tajuk pada perlakuan yang diberikan abu boiler menunjukkan bahwa perbaikan sifat fisik dan kimia tanah berpengaruh terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman.

Peningkatan bobot kering tajuk yang merepresentasikan penyimpanan hasil makanan yang baik ini sejalan dengan hasil penelitian Kurniawan (2024), yang membuktikan bahwa pemanfaatan abu boiler yang dikombinasikan dengan pupuk NPK memberikan hasil yang signifikan terhadap parameter bobot segar maupun bobot kering tajuk bibit kelapa sawit. Perbaikan sifat kimia tanah ultisol oleh abu boiler, membuat penyerapan unsur hara esensial menjadi lebih efisien sehingga mendukung pembentukan biomassa tajuk tanaman yang lebih besar.

Dari Tabel 2 juga dapat dilihat perlakuan k5 menghasilkan rata-rata bobot kering akar yang tertinggi yaitu 5,87 g, dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan k3, k2, k1, k4, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan k0. Rata-rata bobot kering akar yang terendah terdapat pada perlakuan k0 yaitu 1,86 g. Bobot kering akar pada perlakuan k5 mengalami peningkatan sebesar 215% dibandingkan perlakuan k0. Bobot kering akar menggambarkan perkembangan sistem perakaran tanaman. Semakin tinggi bobot kering akar maka semakin baik kemampuan tanaman dalam menyerap air dan unsur hara. Peningkatan bobot kering akar pada perlakuan k5 menunjukkan bahwa kombinasi abu boiler dan pupuk NPK mampu menciptakan kondisi media tanam yang lebih baik bagi pertumbuhan akar. Perkembangan akar yang baik akan mendukung pertumbuhan tajuk karena penyerapan unsur hara berlangsung lebih efektif. Oleh karena itu, peningkatan bobot kering akar pada penelitian ini sejalan dengan peningkatan tinggi tanaman, diameter batang, dan berat kering tajuk.

Pengamatan volume akar, perlakuan k4 menghasilkan rata-rata volume akar yang tertinggi yaitu 45,56 ml, dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan k5, k3, k2, k1, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan k0. Rata-rata volume akar yang terendah terdapat pada perlakuan k0 yaitu 14,44 ml. Volume akar pada perlakuan k4 mengalami peningkatan sebesar 215% dibandingkan perlakuan k0. Tingginya volume akar menunjukkan bahwa sistem perakaran berkembang dengan baik. Perkembangan akar yang optimal memungkinkan tanaman menyerap air dan unsur hara dalam jumlah lebih banyak. Abu boiler yang diberikan mampu memperbaiki struktur tanah sehingga tanah menjadi lebih gembur dan memudahkan pertumbuhan akar. Selain itu, fosfor yang tersedia dari pupuk NPK berperan penting dalam merangsang pertumbuhan akar. Fosfor membantu pembentukan jaringan akar baru sehingga volume akar meningkat dan kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara menjadi lebih baik. Perkembangan volume dan bobot kering akar yang baik pada media ultisol ini didukung oleh penjelasan Rusdi, Alibasa, Karim (2019), yang menyatakan bahwa aplikasi bahan amelioran/pembenh tanah pada tanah ultisol mampu menurunkan kepadatan tanah dan meningkatkan mikro maupun makro, sehingga memberikan ruang yang ideal bagi kemampuan akar tanaman dan perkembangan sistem perakaran serabut kelapa sawit. Kondisi tanah yang lebih gembur memicu pertumbuhan akar lateral secara maksimal. Hal ini juga diperkuat oleh temuan Kurniawan (2024) yang menyimpulkan bahwa kombinasi abu boiler dan pupuk NPK secara nyata merangsang peningkatan volume serta berat kering akar karena kebutuhan unsur fosfor (P) untuk merangsang pertumbuhan akar awal terpenuhi dengan baik di dalam tanah.

Warna daun, indeks kualitas bibit, dan kadar air media tanaman

Pemberian perlakuan abu boiler dan pupuk NPK terhadap Warna daun, Indeks kualitas bibit, dan kadar air media tanaman bibit kelapa sawit, hasilnya dapat dilihat pada Tabel dibawah ini;

Tabel 3. Rata-rata Warna daun, Indeks kualitas bibit, dan kadar air media tanaman bibit kelapa sawit dengan perlakuan abu boiler dan pupuk NPK.

Perlakuan	Indeks warna daun	Rata-rata indeks kualitas bibit	Kadar air media tanam	
			Data asli (cm ²)	Transformasi $\sqrt{x}$
k5 (25% abu boiler 18,75g + 75% NPK 7,5g)	3,11 (hijau tua)	5,28 a	9,18	3,03a
k2 (100% NPK 10g)	3,00 (hijau tua)	4,52 a	7,61	2,75a
k3 (75% abu boiler 56,23g + 25% NPK 2,5g)	2,78 (hijau muda)	4,43 a	8,31	2,84a
k1 (100% abu boiler 75g)	2,78 (hijau muda)	4,50 a	9,18	3,03a
k4 (50% abu boiler 37,5g + 50% NPK 5g)	2,67 (hijau muda)	3,93 a	6,20	2,49a
k0 (Tanpa abu boiler dan NPK)	2,11 (hijau muda)	1,40 b	8,04	2,83a

Keterangan : Angka-angka pada kolom yang diikuti oleh huruf kecil yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut DNMR α 5%

Berdasarkan data pengamatan visual menggunakan Bagan Warna Daun (BWD), perlakuan k5 dan k2 menghasilkan visual warna daun berkisar pada angka 3-4 (Hijau Tua), sedangkan pada perlakuan k3, k1, k4, dan k0 menghasilkan visual warna daun pada kisaran 2-3 (Hijau Muda). Meskipun secara visual terdapat gradasi perbedaan

kehijauan daun. Pengaruh perlakuan terhadap warna daun ini diduga karena ketersediaan hara Nitrogen (N) awal dari tanah ultisol maupun ketersediaan dari perlakuan pupuk secara fungsional telah mencukupi kebutuhan minimal bibit untuk sintesis klorofil dasar pada daun teratas yang membuka penuh. Warna daun sangat erat kaitannya dengan kandungan klorofil, di mana unsur Nitrogen berperan sebagai penyusun utamanya. Karena seluruh bibit (termasuk kontrol) masih memiliki cadangan makanan atau mendapatkan hara minimal dari tanah ultisol untuk mempertahankan metabolisme klorofil pada fase utama ini, intensitas pembentukan warna hijau daun tidak menunjukkan lonjakan perbedaan yang signifikan antarperlakuan.

Temuan yang berpengaruh tidak nyata ini didukung oleh penelitian terdahulu dari Fajri, Febriani, dan Sari (2020) serta Hidayat dan Robbi (2022), yang melaporkan bahwa aplikasi material amelioran abu boiler kelapa sawit pada fase pembibitan utama sering kali memberikan pengaruh tidak nyata terhadap parameter warna daun dan kandungan klorofil total secara statistik. Hal tersebut dikarenakan pembentukan zat warna daun lebih sensitif terhadap faktor genetika bibit dan intensitas cahaya matahari harian di area pembibitan dibandingkan dengan penambahan dosis pupuk di dalam media tanam yang terbatas. Selain itu, Tarigan, Pebrisa, dan Ginting (2024) juga menyatakan bahwa respons warna daun bibit kelapa sawit di main nursery cenderung stabil dan homogen pada beberapa tingkat dosis amelioran karena tanaman fokus mengalokasikan serapan nitrogen untuk pemanjangan pelepah dan perluasan area fotosintesis (luas daun total) ketimbang pekatan zat klorofil.

Pengamatan indeks kualitas bibit perlakuan k5 menghasilkan rata-rata bobot indeks kualitas bibit yang tertinggi yaitu 5,28, hasil ini berbeda tidak nyata dengan perlakuan k2, k3, k1, k4, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan k0. Rata-rata indeks kualitas bibit yang terendah terdapat pada perlakuan k0 yaitu 1,40. Tingginya nilai indeks kualitas bibit pada perlakuan k5 menunjukkan bahwa kombinasi abu boiler dan pupuk NPK mampu meningkatkan pertumbuhan bibit secara seimbang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa bibit memiliki vigor yang baik berpotensi tumbuh lebih optimal setelah dipindahkan ke lapangan.

Tingginya nilai indeks kualitas bibit pada perlakuan kombinasi ini membuktikan adanya keseimbangan pertumbuhan antara organ atas (tajuk) dan organ bawah (akar) tanaman. Keberhasilan pencapaian standar kualitas bibit siap salur ini didukung oleh teori dari Musa *et al.* (2025) serta Syafruddin, Nurhayati, Hidayat (2021), yang mengemukakan bahwa integrasi antara pembenah tanah organik/limbah pabrik kelapa sawit dengan pupuk anorganik (NPK) pada tanah marginal seperti ultisol merupakan strategi pemupukan terbaqik untuk menghasilkan bibit yang sehat, kokoh, dan memiliki kesiapan adaptasi yang tinggi sebelum dipindahkan ke lapangan (main nusery maupun lapangan produksi).

Pengamatan kadar air media tanam menunjukkan bahwa perlakuan k1 menghasilkan rata-rata kadar air media tanam yang tertinggi yaitu 9,18, dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan lainnya. Rata-rata kadar air media tanam terendah terdapat pada perlakuan k4 yaitu 6,20. Kadar air media tanam pada perlakuan k1 mengalami peningkatan sebesar 48% dibandingkan perlakuan k4. Pemberian abu boiler bertindak sebagai pembenah tanah yang bekerja memperbaiki lingkungan tempat tumbuh akar secara fisik yang membuat tanah menjadi lebih gembur, meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air, mempermudah penetrasi dan pernapasan akar. Sifat fisik tanah yang sudah membaik dan gembur kemudian menjadi pintu masuk yang sempurna bagi pupuk NPK yang menyediakan unsur nitrogen, fosfor dan kalium yang dapat langsung diserap oleh akar. Kombinasi pada perlakuan k5 (25% abu boiler + 75% pupuk NPK) mampu menghasilkan pertumbuhan bibit kelapa sawit secara optimal. Abu boiler bertugas sebagai memperbaiki fisik tanah, sementara pupuk NPK bertugas memberi nutrisi makannya.

Hal ini sejalan dengan teori dari Anas, Satria, Nurhayati (2023) serta Zulfahmi, Pratama, Yuliani (2024) yang mengemukakan bahwa kombinasi bahan organik amelioran mampu meningkatkan ketersediaan air tanah dan memperlancar proses penguraian bahan organik menjadi unsur hara makro secara bertahap. Sebaliknya, pada perlakuan kontrol (k0) tanpa pembenah tanah, meskipun kadar airnya tercatat 8,04%, keterbatasan ruang pori dan padatnya struktur tanah ultisol membatasi pergerakan air yang bertahan di dalam pori-pori kecil menuju akar, sehingga menghambat transportasi hara dan menghasilkan pertumbuhan vegetatif terendah di semua parameter.

KESIMPULAN

Pemberian abu boiler dan pupuk NPK berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, diameter batang, luas daun total, bobot kering tajuk, volume akar, bobot kering akar, indeks kualitas bibit serta memperbaiki sifat kimia tanah Ultisol. Perlakuan k5 (25% abu boiler 18,75 g/polybag + 75% pupuk NPK 7,5 g/polybag) merupakan perlakuan terbaik dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan k4 dan k3 dalam meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit pada media tanah ultisol di polybag. Perlakuan k5 pemberian Abu Boiler sebanyak 25 % dapat mengurangi pemakaian pupuk NPK sebanyak 25%.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, M., Satria, D., & Nurhayati, R. 2023. Application of organic amendments to improve Ultisol fertility for oil palm cultivation. *Journal of Soil and Plant Science*, 10(2), 85–94.
- Badal, B., Putra, D. P., & Mawarni, L. 2021. Respon pertumbuhan dan perkembangan bibit kelapa sawit di main-nursery terhadap pemberian limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) + NPK (16:16:16). *Jurnal Research Ilmu Pertanian*.
- Fajri, H., Febriani, F., & Sari, P. N. 2020. Pengaruh pemberian abu boiler dan pupuk SP-36 terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di tanah ultisol pada tahap pre-nursery. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 48(2), 150–158.
- Fitrianti, B. N., Yuniarti, A., Turmuktini, T., & Ruswandi, F. K. (2014). The effect of phosphate solubilizing microbe producing growth regulators on soil phosphate, growth and yield of maize and fertilizer efficiency on Ultisol. *Eurasian Journal of Soil Science (Ejss)*, 3(2), 101
- Hidayat, A., & Robbi, M. 2022. Efektivitas abu boiler dan zeolit terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit pada media tanam ultisol. *Jurnal Ilmiah Agroekoteknologi*, 14(1), 25–32.
- Kurniawan, A. 2024. Sinergisme pembenah tanah organik dan pupuk anorganik terhadap pertumbuhan vegetatif kelapa sawit di main nursery.
- Maulana, A. 2024. Potensi abu boiler sebagai amelioran pada tanah ultisol untuk mendukung pertumbuhan kelapa sawit. *Jurnal Ilmu Tanah Tropika*, 12(1), 33–42.
- Musa, A., Kolo, I. N., Yusuf, A. A., Umar, M., & Abubakar, L. 2025. Integrated organic–inorganic amendments enhance sorghum productivity and soil fertility in degraded Ultisols. *Discover Sustainability*, 6(1), 1–12.
- Musa, H., & Rahma, S. 2025. Strategi pengurangan pupuk kimia melalui integrasi bahan organik pada tanah marginal Sumatera.
- Najihah, N., Syarifuddin, M., & Amri, I. 2025. Potassium fertilizer application mitigates drought and heat stress impacts on oil palm seedlings vital functions.
- Nasamsir, N., Nengsih, Y., & Purba, H. P. (2022). Kandungan Pospor-tersedia Pada Berbagai Kondisi Lahan Yang Berbeda dan Produktivitas Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Afdeling IV Rimsa PTPN VI Persero Rimbo Bujang Kabupaten Tebo Jambi. *Jurnal Media Pertanian*, 7(1), 11.
- Rangkuti, M., Sitorus, S., & Lubis, Z. 2021. Karakteristik limbah padat dan cair pabrik kelapa sawit serta strategi pemanfaatannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(3), 301–312
- Rusdi, M., Alibasa, I., & Karim, A. 2019. Pengaruh pemberian biochar limbah kelapa sawit terhadap perbaikan sifat fisik tanah Ultisol dan pertumbuhan perakaran.
- Saragih, Y., Sitorus, S., & Ginting, R. 2022. Aplikasi biochar batang kelapa sawit pada tanah ultisol terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit. *Jurnal Method Agro*, 4(1), 55–63.
- Syafruddin, S., Nurhayati, N., & Hidayat, R. 2021. The effect of chicken manure and NPK fertilizer on chemical properties of Ultisol and maize yield. *Journal of Tropical Soils*, 26(3), 155–164.
- Tarigan, R., Manurung, R., & Silalahi, M. 2023. Respon pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap pemberian abu boiler pada media polybag. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 11(1), 44–52.
- Tarigan, R., Pebrisa, R., & Ginting, J. 2024. Pengaruh berbagai dosis abu boiler terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di main nursery.
- Telaumbanua, F. S., Lahagu, F., & Sirait, B. A. 2023. Pengaruh pemberian pupuk NPK 16:16:16 dan pupuk Gandasil D terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di pre-nursery. *Jurnal Agrotekda*, 7(1), 13–29.
- Tumanggor, J. 2022. Pengaruh pupuk hayati Bionensis dan NPK 16:16:16 terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di pre-nursery pada tanah gambut [Tesis, Universitas Islam Riau]. Repository Universitas Islam Riau.
- van Kanten, R., Slingerland, M., & Woittiez, L. S. 2021. Zonation-based nutrient management improves oil palm productivity. *Plant and Soil*, 465(1–2), 397–414.
- Zulfahmi, M., Pratama, H., & Yuliani, D. 2024. Effect of organic matter and liming on Ultisol productivity for oil palm replanting. *Journal of Sustainable Plantation Science*, 12(1), 25–